



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE LADRILLO ECOLÓGICO DE
CONCRETO INCORPORANDO POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD
PROCEDENTE DE DESECHO**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ciencias

Presenta

Ing. Hugo Martínez Ángeles

Dirigido por:

Dra. María De La Luz Pérez Rea

Querétaro, Qro. Mayo de 2023.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Desarrollo y caracterización de ladrillo ecológico de
concreto incorporando polietileno de baja densidad
procedente de desecho

por

Hugo Martínez Ángeles

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGMAC-246887



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS (CONSTRUCCIÓN)

**DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE LADRILLO ECOLÓGICO DE
CONCRETO INCORPORANDO POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD
PROCEDENTE DE DESECHO**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ciencias

Presenta

Ing. Hugo Martínez Ángeles

Dirigido por:

Dra. María De La Luz Pérez Rea

Dra. María De La Luz Pérez Rea
Presidente

Dr. Jaime Moisés Horta Rangel
Secretario

Mtro. Rubén Ramírez Jiménez
Vocal

Mtro. Gerardo Medellín Aguilar
Suplente

Dr. Eduardo Rojas González
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Mayo de 2023
México

Resumen

El empleo desmedido de los recursos naturales del medio ambiente ha ocasionado el uso sostenible de los materiales constructivos ya que, en la actualidad, los elementos empleados en la industria de la construcción, tienen gran demanda a nivel mundial. Por otro lado, la utilización de plásticos reciclados, como el polietileno de baja densidad (LDPE), agregado en las mezclas de concreto ha sido una alternativa para el desarrollo de nuevos materiales, pues la disposición de este material es un desafío mundial, ya que solo el 9% de los 9 mil millones de toneladas generados hasta este momento ha sido reciclado. En México, anualmente se generan 8 millones de toneladas y solo se recicla el 14%. Se realizó el diseño y caracterización de ladrillos ecológicos elaborados con mezclas de concreto modificadas incorporando porcentajes de 5, 10 y 15 % de LDPE procedente de desecho; además, las partículas de polímero fueron desmenuzadas en tamaños promedio de 0.30 y 0.60 milímetros. Ladrillos de mezcla de concreto con LDPE fueron sometidos a ensayos de: resistencia a la compresión, absorción de agua (inicial y total) y resistencia al fuego, esto con el objetivo de comparar el desempeño de estos elementos con los parámetros recomendados en las normativas vigentes para mampostería. En los resultados se observaron valores óptimos al incorporar un 5% de LDPE ya que, en la prueba de compresión se obtuvo un valor promedio de 11.24 Mpa; para la prueba de absorción inicial se obtuvo un valor de 7.67 unidades; en la prueba de absorción total se obtuvo un valor promedio de 12.49 %; en la prueba de resistencia al fuego, se encontró que los ladrillos tienen una buena capacidad calorífica ya que, pueden ser sometidos a temperaturas aproximadas de 100 °C durante 3 horas, sin sufrir algún tipo de daño en la parte expuesta. Por lo tanto, y con base en los resultados favorables encontrados en esta investigación, se puede concluir que, los ladrillos con incorporación de 5% de LDPE, pueden ser usados de manera constructiva y, además, esto justifica la idoneidad de uso de los mismos.

(Palabras clave: tabique ecológico; agregado de polietileno de baja densidad; residuos plásticos; industria de la construcción, sustentabilidad).

Summary

The excessive use of the natural resources of the environment has caused the sustainable use of construction materials since, at present, the elements used in the construction industry are in great demand worldwide. On the other hand, the use of recycled plastics, such as low-density polyethylene (LDPE), added to concrete mixes, has been an alternative for the development of new materials, since the disposal of this material is a global challenge, since it only 9% of the 9 billion tons generated so far has been recycled. In Mexico, 8 million tons are generated annually and only 14% is recycled. The design and characterization of ecological bricks made with modified concrete mixtures incorporating percentages of 5, 10 and 15% of LDPE from waste was carried out; in addition, the polymer particles were minced in average sizes of 0.30 and 0.60 millimeters. Bricks mixed with concrete with LDPE were subjected to tests of: compressive strength, water absorption (initial and total) and fire resistance, this with the aim of comparing the performance of these elements with the parameters recommended in current regulations. for masonry. In the results, optimal values were observed when incorporating 5% LDPE since, in the compression test, an average value of 11.24 Mpa was obtained; for the initial absorption test, a value of 7.67 units was obtained; in the total absorption test an average value of 12.49 % was obtained; In the fire resistance test, it was found that the bricks have a good heat capacity since they can be subjected to temperatures of approximately 100 °C for 3 hours, without suffering any type of damage to the exposed part. Therefore, and based on the favorable results found in this investigation, it can be concluded that bricks with 5% LDPE incorporation can be used constructively and, furthermore, this justifies their suitability for use.

(Keyword: ecological brick; low-density polyethylene aggregate; plastic waste; construction industry, sustainability).

Dedicatorias

A Dios, por ayudarme siempre a conseguir mis objetivos personales y profesionales.

A mis Padres, que siempre me han inculcado el valor de la superación y el trabajo.

A mis Hermanos, por apoyarme económica y emocionalmente en esos momentos que más lo he necesitado.

A mi familia, por su apoyo, empoderamiento y, sobre todo, su motivación.

A mis profesores, por transmitirme todo el conocimiento que tienen, para hacer de mi un mejor profesionista.

Agradecimientos

A mi Universidad, por permitirme estudiar en sus instalaciones, y por darme la oportunidad de superarme académicamente.

Al CONACYT, por la beca nacional que me otorgo de enero del 2021 a diciembre del 2022, para poder contar con un apoyo económico que me ayudó a realizar mi investigación, y así, poder dedicarme de tiempo completo a la realización de este trabajo.

A la Dra. María De La Luz Pérez Rea, por ser mi directora de tesis y por el apoyo que me brindo para poder realizar esta investigación.

Al Dr. Jaime Moisés Horta Rangel, por sus observaciones durante la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Eduardo Rojas González, por su apoyo como parte de mi comité sinodal.

Al Mtro. Gerardo Medellín Aguilar, por sus consejos y aportaciones realizadas en la revisión de este trabajo de tesis.

Al Mtro. Rubén Ramírez Jiménez, por su apoyo brindado en la revisión de este trabajo.

A mis compañeros de la Maestría en Construcción, por ser mis amigos y apoyarme como grupo en diversas actividades de investigación para poder culminar mi tesis.

Gracias

Índice

Resumen	3
Summary	4
Dedicatorias	5
Agradecimientos	6
Índice	7
Índice de tablas	12
Índice de figuras	15
1. INTRODUCCIÓN.....	20
1.1 Antecedentes.....	20
1.1.1 Contaminación generada debido al uso de plásticos.....	20
1.1.2 Uso de materiales plásticos como agregado en elementos constructivos ...	21
1.1.3 El LDPE como agregado en ladrillos ecológicos	23
1.1.4 El LDPE como agregado en elementos constructivos	25
1.2 Descripción del problema	27
1.3 Justificación	30
1.3.1 Ecológica.....	30
1.3.2 Social.....	31
1.3.3 Constructiva	32
1.4 Hipótesis	32
1.4.1 Variables independientes	32
1.4.2 Variable dependiente	32
1.5 Objetivo general.....	32
1.6 Objetivos específicos	33
2. FUNDAMENTACION TEÓRICA	34
2.1 Cemento y cemento Portland.....	34
2.2 Agregados pétreos para tabiques de concreto (arena)	34
2.3 Pieza de mampostería	34

2.4	Pieza de mampostería para uso estructural	34
2.5	Muros no estructurales.....	35
2.6	Pruebas de laboratorio típicas para caracterizar a la mampostería	35
2.6.1	Prueba de resistencia al fuego para mampostería	38
2.7	El polietileno	38
3.	METODOLOGÍA.....	41
3.1	Materiales y equipos	41
3.1.1	Materiales y equipos para la elaboración de ladrillos	41
3.1.2	Materiales y equipos para pruebas de laboratorio.....	42
3.2	Metodología general	44
3.3	Recolección de LDPE procedente de desecho.....	45
3.3.1	Localización de los sitios de recolección de bolsas de plástico.....	45
3.4	Desmenuzamiento y caracterización de LDPE procedente de desecho	48
3.4.1	Desmenuzamiento de LDPE	48
3.4.2	Caracterización de LDPE.....	49
3.5	Caracterización del agregado fino empleado en la elaboración de tabiques	50
3.5.1	Determinación de la densidad y absorción de la arena	50
3.5.2	Determinación de la granulometría de la arena	53
3.6	Características del cemento Portland empleado en la elaboración de tabiques de cemento	54
3.7	Elaboración de tabiques.....	55
3.7.1	Elaboración de prototipos de prueba o mini bloques.....	55
3.7.2	Diseño de ladrillos	57
3.7.3	Diseño de mezcla (proporcionamientos)	58
3.7.4	Mezclado y cimbrado de ladrillos.....	60
3.8	Pruebas de laboratorio realizadas a tabiques	63
3.8.1	Dimensiones estándar para mampostería.....	63
3.8.2	Prueba de resistencia a la compresión para mampostería.....	64
3.8.3	Prueba de absorción inicial y absorción total de agua para mampostería... 66	
3.8.3.1	Absorción inicial de agua para mampostería.....	66

3.8.3.2	Absorción total de agua para mampostería.....	69
3.8.4	Prueba de resistencia al fuego para mampostería	71
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	76
4.1	Caracterización de LDPE	76
4.2	Caracterización del agregado fino empleado en la elaboración de tabiques	77
4.2.1	Densidad y absorción de agregado fino	77
4.2.2	Granulometría de agregado fino	78
4.2.2.1	Tabla con porcentajes de material fino retenido	78
4.2.2.2	Curva granulométrica de agregado fino.....	78
4.2.3	Porcentaje de limos y arcillas de agregado fino.....	80
4.3	Prueba de resistencia a la compresión	80
4.3.1	Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %	80
4.3.1.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	80
4.3.1.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60mm	82
4.3.2	Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %	83
4.3.2.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	83
4.3.2.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm	84
4.3.3	Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %	86
4.3.3.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	86
4.3.3.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm	87
4.3.4	Comparación de resultados promedio con valores especificado en normativa 88	
4.4	Prueba de absorción inicial de agua.....	90
4.4.1	Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %	90
4.4.1.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	90
4.4.1.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm	92
4.4.2	Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %	93
4.4.2.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	93
4.4.2.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60mm	95
4.4.3	Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %	96
4.4.3.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	96

4.4.3.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60mm	97
4.4.4	Comparación de resultados promedio con valor especificado en normativa	98
4.5	Prueba de absorción total de agua	101
4.5.1	Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %	101
4.5.1.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	101
4.5.1.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60mm	102
4.5.2	Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %	103
4.5.2.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	103
4.5.2.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60mm	105
4.5.3	Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %	106
4.5.3.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	106
4.5.3.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60mm	107
4.5.4	Comparación de resultados promedio con valores especificado en normativa	109
4.6	Prueba de resistencia al fuego.....	111
4.6.1	Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %	111
4.6.1.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	111
4.6.1.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm	113
4.6.2	Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %	114
4.6.2.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	114
4.6.2.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm	116
4.6.3	Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %	117
4.6.3.1	Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm	117
4.6.3.2	Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm	119
4.6.4	Comparación de resultados promedio.....	120
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
6.	REFERENCIAS	129
7.	ANEXOS	135
7.1	Anexo I. Datos generales para calculos en prueba de resistencia a la compresión	135
7.2	Anexo II. Datos generales para calculos en prueba de absorción inicial de agua .	138
7.3	Anexo III. Datos para calculos en prueba de absorción total de agua.....	141

7.4 Anexo IV. Datos para calculos en prueba de resistencia al fuego..... 144

Índice de tablas

Tabla 1.1 Tipos y cantidades de plástico de desecho generados en Estados Unidos en el siglo 21	21
Tabla 1.2 Composición plástica, sus propiedades físicas y sus posibles usos constructivos.....	26
Tabla 2.1 Resistencia a la compresión para elementos de mampostería para uso estructural.....	36
Tabla 2.2 Resistencia a la compresión para elementos de mampostería para uso no estructural	36
Tabla 2.3 Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 horas de mampostería para uso estructural	37
Tabla 2.4 Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 horas de mampostería para uso no estructural	38
Tabla 3.1 Especificaciones físicas del cemento CPC empleado en la elaboración de tabiques.....	54
Tabla 3.2 Resumen sobre el diseño experimental de la investigación.....	58
Tabla 3.3 Dosificación de agregados para tabique con sustitución de concreto por LDPE al 5%.....	59
Tabla 3.4 Dosificación de agregados para tabique con sustitución de concreto por LDPE al 10 %	59
Tabla 3.5 Dosificación de agregados para tabique con sustitución de concreto por LDPE al 15%.....	59
Tabla 3.6 Dimensiones recomendadas para mampostería según normativa mexicana	64
Tabla 4.1 Cantidades de LDPE totales empleadas en ladrillos.....	76
Tabla 4.2 Granulometría de agregado fino empleado en la elaboración de ladrillos	78

Tabla 4.3 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.	81
Tabla 4.4 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60mm de tamaño de partículas.	82
Tabla 4.5 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.	83
Tabla 4.6 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.	85
Tabla 4.7 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.	86
Tabla 4.8 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.	87
Tabla 4.9 Resumen de resultados promedio de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE comparados con normativa, en prueba de compresión.	89
Tabla 4.10 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.	91
Tabla 4.11 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.	92
Tabla 4.12 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.	94
Tabla 4.13 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.	95
Tabla 4.14 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.	96
Tabla 4.15 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.	97

Tabla 4.16 Resumen de resultados promedio de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE comparados con normativa, en prueba de absorción inicial.....	99
Tabla 4.17 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.....	101
Tabla 4.18 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.....	102
Tabla 4.19 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.....	104
Tabla 4.20 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.....	105
Tabla 4.21 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.....	106
Tabla 4.22 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.....	108
Tabla 4.23 Resumen de resultados promedio de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE comparados con normativa, en prueba de absorción total.....	109
Tabla 4.24 Resumen de resultados promedio del tiempo máximo de exposición en prueba de resistencia al fuego de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE.....	121
Tabla 4.25 Resultados promedio de medición de temperatura en periodo de 1 hora en prueba de resistencia al fuego de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE.....	123

Índice de figuras

Figura 1.1 Aspectos que interactúan en el concepto de sustentabilidad	30
Figura 2.1 Composición atómica del polietileno	40
Figura 2.2 Molécula de polietileno ramificado o LDPE	40
Figura 2.3 Símbolo de identificación del LDPE	40
Figura 3.1 Diagrama de flujo de actividades seguidas para el trabajo de investigación	45
Figura 3.2 Mercado de abastos ubicado en la zona centro del municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, México	46
Figura 3.3a Vía pública del municipio Cadereyta de Montes, Querétaro, México	47
Figura 3.3b Vía pública del municipio Cadereyta de Montes, Querétaro, México	47
Figura 3.4 Relleno público sanitario ubicado en la cabecera municipal del municipio Cadereyta de Montes, Querétaro, México	48
Figura 3.5 LDPE desmenuzado en diferentes tamaños de partículas.....	49
Figura 3.6 Procedimiento de caracterización adoptado con el LDPE	50
Figura 3.7 Diseño de mezcla de prototipos de mini bloques de concreto y LDPE	55
Figura 3.8 Mezcla de LDPE y concreto introducida en molde de mini bloque	56
Figura 3.9a Prueba de absorción inicial	57
Figura 3.9b Prueba de absorción total en ladrillos	57
Figura 3.9c Ensayo a la compresión en mini bloques	57
Figura 3.10 Mezcla de LDPE y arena	60
Figura 3.11 Mezcla de LDPE, arena y cemento Portland	61
Figura 3.12 Mezcla total de materiales utilizados para la elaboración de tabiques	61
Figura 3.13 Mezcla incorporada en molde empleado para la elaboración de ladrillos	62
Figura 3.14 Descimbrado de tabiques	62

Figura 3.15 Ladrillo de concreto modificado con LDPE terminado	63
Figura 3.16 Ladrillo de concreto modificado con LDPE terminado	65
Figura 3.17a Espécimen colocado sobre lamaquina universal previamente a serensayado	65
Figura 3.17b Espécimen colocado sobre la maquina universal siendo ensayado	65
Figura 3.18 Registro de peso inicial de ladrillo con ayuda de bascula digital	66
Figura 3.19 Espécimen colocado en recipiente con agua para prueba de absorción inicial	67
Figura 3.20 Remoción de exceso de agua por medio de trapo húmedo en ladrillo.....	68
Figura 3.21 Lote de ladrillos sumergidos en agua para prueba de absorción total	69
Figura 3.22 Secado de ladrillo con franela húmeda después de estar sumergido durante 24 horas	70
Figura 3.23 Dispositivo utilizado para prueba de resistencia al fuego en ladrillos.....	72
Figura 3.24 Encendido y calibrado de dispositivo de calor utilizado en prueba de resistencia al fuego en ladrillos	73
Figura 3.25 Espécimen sometido a calor directo en prueba de resistencia al fuego	73
Figura 3.26 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos	74
Figura 3.27 Termómetro de infrarrojo marca Steren.....	75
Figura 4.1 Curva granulométrica de arena empleada en ladrillos	79
Figura 4.2 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	81
Figura 4.3 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	83
Figura 4.4 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	84
Figura 4.5 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	85

Figura 4.6 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	87
Figura 4.7 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	88
Figura 4.8 Resistencia a la compresión promedio en ladrillos comparado con el valor especificado en normativa	90
Figura 4.9 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	91
Figura 4.10 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	93
Figura 4.11 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	94
Figura 4.12 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	95
Figura 4.13 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	97
Figura 4.14 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	98
Figura 4.15 Coeficiente de absorción inicial promedio en ladrillos comparado con el valor especificado en normativa	100
Figura 4.16 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	102
Figura 4.17 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	103
Figura 4.18 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	104

Figura 4.19 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	105
Figura 4.20 Absorción total y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	107
Figura 4.21 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	108
Figura 4.22 Absorción total promedio en ladrillos comparado con el valor especificado en normativa	110
Figura 4.23 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	112
Figura 4.24 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	112
Figura 4.25 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	113
Figura 4.26 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	114
Figura 4.27 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	115
Figura 4.28 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	115
Figura 4.29 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	116
Figura 4.30 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	117
Figura 4.31 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	118

Figura 4.32 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas	118
Figura 4.33 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	119
Figura 4.34 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas	120
Figura 4.35 Resultados promedio del tiempo máximo de exposición al fuego para cada uno de los valores de incorporación de LDPE y tamaño de partículas	122
Figura 4.36 Temperaturas promedio en intervalos de tiempo para cada uno de los valores de incorporación de LDPE y tamaño de partículas	123

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 Contaminación generada debido al uso de plásticos

La contaminación generada por agentes plásticos es un enorme problema ambiental para la sociedad contemporánea (Charitou et al., 2021). La basura generada por residuos, especialmente aquellos que son considerados plásticos de un solo uso, es un gran desafío a gestionar por muchos países en el mundo (Taaffe et al., 2014). El plástico es un material peligroso y contaminante, pero a la vez, útil para el desarrollo económico de la sociedad global (Kumar et al., 2020).

En las últimas dos décadas, la disminución en la capacidad de los rellenos sanitarios para recolectar basura ha dado como resultado que Estados Unidos y la Unión Europea introduzcan nuevas legislaciones para promover la reducción de desechos (Subramanian, 2000; Muthu et al., 2011). Los plásticos se han convertido en un material que forma parte de nuestra vida, ya que muchas actividades económicas dependen de la producción de este material (Siddique et al., 2008); de esta manera, el impacto negativo de los materiales plásticos en la ecología, ha sido estudiado por diversos investigadores (Shent et al., 1999; Mutha et al., 2006).

Existen materiales plásticos que, debido a su versatilidad, son muy utilizados; sin embargo, la correcta gestión en su reciclaje es un problema que persiste desde hace ya mucho tiempo (Grodzińska-Jurczak et al., 2022; Martin et al., 2022). Plásticos como el polietileno de baja densidad (LDPE) son muy utilizados para la elaboración de bolsas de plástico (Gómez y Escobar, 2022), ya que los empaques que nos entregan en los supermercados, al realizar alguna compra, se fabrican comúnmente con LDPE debido a que es la manera más habitual de transportar cualquier mercancía (Senturk & Duumludag, 2020; Meert et al., 2021).

El consumo anual mundial de materiales plásticos aumentó, de cerca de 5 millones de toneladas en la década de 1950, a casi 100 millones de toneladas en 2001. En la Tabla 1 se pueden apreciar los tipos y cantidades de plásticos generados en Estados Unidos, uno de los países que más desechos plásticos genera a nivel mundial (Siddique et al., 2008).

Tabla 1.1 Tipos y cantidades de plástico de desecho generados en Estados Unidos en el siglo 21 (Siddique et al., 2008).

Tipo de plástico	Cantidad (1000 toneladas)
Polietileno tereftalato (PET)	1700.00
Polietileno de alta densidad (HDPE)	4120.00
Polietileno de baja densidad (LDPE)	5010.00
Polipropileno (PP)	2580.00
Poliestireno (PS)	1990.00
Otros	3130.00

A nivel mundial, en el año 2010 se generaron aproximadamente 275 millones de toneladas de desechos plásticos en 192 países costeros, lo cual ocasionó contaminación en zonas de playa, dañando así los ecosistemas marinos, ya que 12.7 millones de toneladas de estos residuos fueron a dar al océano (Ikechukwu & Shabangu, 2021).

El polietileno de baja densidad (LDPE), se encuentra generalmente en forma de bolsas que se utilizan para empacar o transportar mercancías; sin embargo, la disposición adecuada de este material no biodegradable ha sido un gran desafío, ya que a nivel mundial se estima que solo el 9%, de los 9 mil millones de toneladas que se han producido hasta ahora, ha sido reciclado (Senturk & Dumludag, 2020). En México se estima que anualmente se generan 8 millones de toneladas de este material y solo se recicla el 14% (Meert et al., 2021).

1.1.2 Uso de materiales plásticos como agregado en elementos constructivos

En décadas recientes, el uso de materiales plásticos, algunos considerados de un solo uso, tales como el polietileno tereftalato (PET) (Siddique et al., 2008) y el polietileno de baja densidad (LDPE) (Hamzah & Alkhafaj, 2022), como parte de los agregado pétreos empleados en elementos constructivos utilizados en la industria de la construcción, ha sido una buena alternativa para contribuir de manera sustentable al desarrollo de nuevos materiales para la construcción, apoyando con ello al medio ambiente, esto debido a la creciente preocupación por el uso de materiales de construcción que sean ecológicos, económicos y livianos; además, los materiales de construcción pueden beneficiarnos al

proporcionar los requisitos de materiales sin comprometer a la naturaleza (Kumar et al., 2020). Por tal motivo, se han realizado diversas investigaciones para conocer las características físicas y mecánicas de materiales constructivos de concreto, al ser mezclados con algún tipo de plástico (Siddique et al., 2008); al igual que sobre morteros que contienen PET como sustituto de agregado fino (Hannawi et al., 2010); además, se ha investigado sobre el uso de cascarilla de arroz mezclado con plásticos como compuesto del concreto (Choi et al., 2006). De igual manera, se han estudiado las propiedades de elementos constructivos en los cuales se han sustituido áridos por plásticos reciclados como parte de los materiales en el concreto (Frigione, 2010) (Akçaözoğlu et al., 2010; Ismail & AL-Hashmi, 2008). También, se ha investigado sobre el impacto de las relaciones agua-cemento en concreto, al ser mezclado con botellas de PET (Albano et al., 2009).

Incluso, se han realizado artículos sobre las características de algunos plásticos en combinación con el asfalto, esto como refuerzos de distintos tipos de suelo, como material para las capas de las carreteras (Babu & Chouksey, 2011). Por otro lado, se han realizado pruebas experimentales en la elaboración de ladrillos ecológicos sustituyendo parte de sus agregados por un componente plástico llamado polietileno tereftalato o comúnmente llamado PET obteniendo resultados aceptables en pruebas de laboratorio

Aunado a esto, se considera que el uso de materiales plásticos como agregado al concreto y otros elementos constructivos, son una opción ecológica y sustentable al problema de la contaminación generada por estos (Kumar et al., 2020). Sin embargo, es importante mencionar que, de acuerdo al estado del arte consultado hasta este momento, no hay demasiada información referente al uso de LDPE en forma de bolsas de plástico procedente de desecho como compuesto de tabiques de concreto, ya que solamente ha sido mezclado con arena; por ese motivo, es que se eligió realizar este estudio, con la finalidad de evaluar algunos resultados obtenidos en investigaciones realizadas con el plástico tipo LDPE en combinación con arena o algún otro material usado en la industria de la construcción. Los resultados obtenidos en dichas investigaciones; serán usados como referencia para conocer el comportamiento de estos elementos constructivos y con ello diseñar una metodología que permita conocer cuál puede ser el mejor diseño para mezclar concreto con LDPE en la elaboración de tabiques (Kumar et al., 2020).

1.1.3 El LDPE como agregado en ladrillos ecológicos

El LDPE es un polímero comercial ampliamente utilizado en gran variedad de aplicaciones. Debido a la complejidad de su estructura molecular que, incluye la distribución del peso molecular y la ramificación de cadena larga distribuida al azar, su comportamiento reológico es variado (Dietrich et al., 2021).

El rendimiento de compuestos de arena y LDPE reciclado, ha sido analizado por su resistencia y durabilidad. Propiedades mecánicas como compresión, tensión, absorción de agua, conductividad térmica, y la expansión térmica han sido probadas y analizadas en entornos de laboratorio.

En el año 2016, (Gopu et al., 2016) estudiaron la disminución de la resistencia a la compresión con el aumento de la proporción de plástico procedente de desecho de LDPE, y el efecto de diferentes proporciones plásticas, en distintas pruebas de laboratorio como: prueba de compresión y prueba de absorción de agua. Se concluyó que las diversas proporciones de 5, 15, 25 y 35 % de residuos plásticos, en combinación con arena reciclada (arena manufacturada), tuvieron una carga máxima de compresión de 9.86, 10.46, 11.00 y 10.63 Newton sobre milímetro cuadrado (N/mm^2) respectivamente. El proceso de mezclado de los materiales fue el siguiente: el plástico LDPE se mezcló con arena con ayuda de una máquina de mezclado, posteriormente se fundieron ambos materiales en la máquina de fundido para finalmente ser vaciada la mezcla en moldes de madera de dimensiones 6x12x24 cm. Además, se llevaron a cabo tres pruebas de laboratorio diferentes como: resistencia a la compresión, absorción de agua (24 horas) y prueba de eflorescencia. A través de este estudio, se pudo ver que la unión entre las partículas de plástico y la arena es débil después de cierto límite; sin embargo, las mezclas de tabiques de arena y residuos plásticos dieron como resultado una absorción de agua casi nula.

(Anand et al. 2017) estudiaron también la reutilización de desechos plásticos como material de construcción, mediante el uso de extrusión de plástico, y se ha observado que la carga máxima de compresión de los ladrillos de plástico es de 13.69 (N/mm^2); además, al agregar otro material reciclado como las cenizas volantes, se han obtenido valores de

resistencia que van desde de 10.42 hasta 11.48 (N/mm^2), la cual es similar a la de tabiques convencionales.

La investigación realizada por (S. S. Chauhan et al., 2019) mostró que, al mezclar arena de río, con granulometría de $\leq 600 \mu m$, y plástico LDPE en diferentes proporciones como: 1:2, 1:3 y 1:4; la cantidad óptima de plástico que podría usarse para lograr una resistencia a la compresión aceptable, es decir, 203.56 (kg/cm^2), es la relación 1:2. Al utilizar estas cantidades, la absorción de agua varía de 0.949 a 1.227% lo cual es un buen resultado comparándolo con los tabiques que normalmente se usan en la industria de la construcción. Para realizar la mezcla entre arena y LDPE se calentaron los materiales con fuego hasta que el plástico se derritió y se unió con la arena. Después, la mezcla se vació en un molde de dimensiones 23x10x7.5 cm, y finalmente, se dejó enfriar. Las pruebas de laboratorio a las que fueron sometidos los tabiques son: resistencia a la compresión, absorción de agua (24 horas), prueba de eflorescencia y prueba de resistencia al fuego.

En el año 2020, (Kumar et al., 2020) estudiaron sobre el uso de plástico reciclado como el PET y el LDPE en tabiques ecológicos, llegaron a la conclusión de que éstos tienen una resistencia a la compresión similar a la que tienen los tabiques de cemento y arena, ya que la resistencia a la compresión de los tabiques ecológicos fue de 2700 kilogramos sobre centímetros cuadrados (kg/cm^2) y el contenido de humedad fue de 0.74 %. Los tabiques, a pesar de tener buena calidad, no absorben agua mayor al 5%; además, la mezcla de arena y plástico brinda resultados óptimos como los tabiques convencionales de cemento y arena. La preparación de la muestra de los ladrillos se generó calentando arena y desechos plásticos combinados a 200 °C, y la proporción de plástico y arena fue en relación 1:1.5.

En el estudio realizado por (Mohan et al., 2020), se mezcló arena de río, la cual tenía una granulometría de $\leq 2.36 \text{ mm}$, con plástico LDPE en una relación 1:1. En esta investigación se realizaron tabiques de 15x29x2 cm, los cuales fueron sometidos a cinco pruebas de laboratorio como son: resistencia a la compresión, resistencia a la tracción dividida, absorción de agua (24 horas), conductividad térmica y coeficiente de expansión térmica. Los resultados de las pruebas mostraron que existe un rendimiento aceptable de las muestras compuestas de LDPE en comparación con los tabiques convencionales. La mezcla

se llevó a cabo en una olla simple, calentada desde abajo por una llama, junto con la agitación manual con una paleta. Además de esto, el plástico y la arena se mezclaron antes de ser calentadas para mejorar la distribución de arena dentro de la mezcla de LDPE. Posteriormente la mezcla se colocó en un molde.

En la investigación que llevaron a cabo (Hamzah & Alkhafaj, 2022), utilizaron restos de jeringas médicas hechas de LDPE agregando arena de río, con granulometría de ≤ 600 μm , y aserrín en diferentes proporciones, se mostró que los tabiques hechos de plástico mezclado con aserrín dieron una buena resistencia a la compresión de 6.6 Mega Pascales (*MPa*), esto al utilizar 20% de aserrín con 80% de arena; este valor fue mayor que la de los tabiques hechos de plástico y arena, los cuales obtuvieron un valor de 6.1 *MPa* utilizando 60% de arena con 40% de LDPE. En ambos casos, los ladrillos dieron una resistencia a la compresión similar a la de los tabiques convencionales, así como una tasa de absorción muy baja. También, la densidad fue muy baja, especialmente para los ladrillos que tenían aserrín, donde el valor más alto fue de 0.8985 gramos sobre centímetros cúbicos (*gr/cm³*) lo cual representa casi solo el valor de la densidad del polímero puro; y para los tabiques que contenían arena y LDPE, el valor de la densidad fue de 1.4321 (*gr/cm³*) además, en las pruebas realizadas en laboratorio para ambos tipos de tabiques se obtuvieron buenos valores de dureza. Es importante mencionar que, para realizar la mezcla, los desechos plásticos fueron derretidos en un horno y unidos a mano con ayuda de un agitador en la arena para posteriormente ser colocados en un molde de dimensiones de 14.5x8.5x3.0 cm. En este estudio se comprobó que, al incorporar LDPE con arena, no existe una reacción química, sino solamente una reacción física entre las partículas de ambos materiales.

1.1.4 El LDPE como agregado en diferentes elementos constructivos

La utilización de LDPE no sólo se ha investigado en elementos constructivos como ladrillos o tabiques, también se ha empleado en combinación con el asfalto como agregado para algunas mezclas asfálticas, y es que, de acuerdo a la literatura, agregar polímeros a los aglutinantes asfálticos ayuda a mejorar la unión entre el agregado y el aglutinante, lo que puede ayudar a mejorar numerosas características de los pavimentos asfálticos (Abduljabbar et al., 2022).

En el estudio realizado por (Ullah et al., 2021), se mostró que al reemplazar los agregados naturales por el LDPE en proporciones como 5, 15 y 25%, se reduce la densidad de la mezcla asfáltica debido al aumento de los vacíos de aire, además, los valores de estabilidad y fluidez aumentan hasta en un 15%; es importante mencionar, que el módulo dinámico del asfalto, también mejor o con la incorporación de LDPE en la mezcla asfáltica. Por lo tanto, la idoneidad para ser usado como agregado en tabiques se podría considerar una opción viable.

El uso de LDPE procedente de desecho, ha tenido diferentes aplicaciones en diversas áreas de la industria de la construcción, mostrando su eficacia en la incorporación como material sustituto parcial de los agregados de diferentes elementos constructivos. De acuerdo con los antecedentes, se puede considerar que el plástico de desecho en forma de LDPE es una opción viable para su uso en combinación con otros materiales, por esta razón, es factible el uso del LDPE como material complemento en tabiques de concreto, ya que la incorporación de desechos plásticos como materiales de construcción, especialmente en la fabricación de bloques y ladrillos, es una propuesta para lograr una gestión sustentable de los desechos, Tabla 2 (Shailendra et al., 2021).

Tabla 1.2 Composición plástica, sus propiedades físicas y sus posibles usos constructivos (Shailendra et al., 2021).

No.	Composición plástica	Propiedades físicas	Usos factibles de construcción
1	PC	Duro y rígido	Total en mezcla cementosa
2	PP	flexible y duro	Total en mezcla asfáltica
3	LDPE	Flexible	Ladrillos y Bloques
4	PS	frágil y duro	Material de aislamiento
5	HDPE	Rígido	Madera Plástica, Mesas, Sillas
6	PET	flexible y duro	Filamentos en piezas cementosas

De acuerdo a la literatura consultada, y como ya se mencionó, el LDPE ha sido utilizado de manera eficiente en la elaboración de tabiques y ladrillos, además, se ha podido ver su versatilidad al ser incorporado con arena como material cementante; sin embargo, la mayoría de las metodologías empleadas anteriormente, únicamente han utilizado la arena en

combinación con el LDPE; por lo tanto, se espera que al incorporar un material que comúnmente se usa en los tabiques que se emplean en la industria de la construcción, es decir, el cemento portland, se obtengan mejores resultados, logrando con ello, mejores aplicaciones constructivas de estos tabiques ecológicos enfocados a elementos que requieran mejores capacidades físicas y mecánica.

Es importante mencionar que, en décadas recientes, también se han hecho pruebas experimentales en la elaboración de tabiques ecológicos sustituyendo parte de sus agregados por un componente plástico llamado polietileno tereftalato o comúnmente llamado PET obteniendo resultados aceptables en pruebas de laboratorio (Taaffe et al., 2014).

Según (Di Marco & León, 2017), un aspecto interesante que se ha encontrado en la fabricación de este tipo de prototipos, es que se puede dar certeza que la adición de fibras como PET reciclado, mejora la manejabilidad del mortero fresco para la fabricación de tabiques, y además mejora su absorción. Esto nos da indicios de que al utilizar el LDPE (que es el material que se pretende estudiar), podríamos obtener una absorción similar a la que se obtiene en un tabique de concreto convencional. Esto es esencial, ya que la absorción de los tabiques es un es un aspecto muy importante a considerar al momento de su uso en obras de construcción.

Finalmente es necesario considerar que la mampostería más utilizada en la industria de la construcción está compuesta por tabiques elaborados a base de concreto, mortero o con arcilla recocida, esto debido a que durante años han mostrado ser la mejor opción para uso en paredes y muros (Ardón García et al., 2007); además, “la mampostería se define como un conjunto de piezas unidas entre sí, mediante un material como el mortero de barro o de cemento; las unidades pueden ser naturales (piedras) o artificiales (adobe, tabiques, bloques)” (Páez, 2006).

1.2 Descripción del problema

Al incorporar un plástico como parte de los agregados pétreos comunes de un tabique de concreto, no tendremos los mismos resultados mecánicos ni características físicas de un tabique convencional. Por otro lado, la mayoría de las investigaciones y metodologías que se

han realizado para elaborar tabiques ecológicos, únicamente han utilizado arena y LDPE como parte de los agregados; por lo tanto, al no tener un material cementante, se ha tenido que utilizar el material plástico de desecho como componente de unión entre los dos componentes del tabique.

(Hamzah y Alkhafaj, 2022), como se comentó anteriormente, para la realización de tabiques ecológicos, utilizaron restos de jeringas médicas de LDPE procedente de desecho. Para poder elaborar su prototipo, tuvo que mezclar la arena con el LDPE; sin embargo, para poder crear una mezcla lo más homogénea posible, fundió su material; y al realizar este proceso, evidentemente, se generaron gases tóxicos al medio ambiente, por lo tanto, se considera que este método de incorporación no es el más amigable con el medio ambiente, ya que por un lado se está reciclando un material de desecho, pero por otro lado, se contamina con la quema de éste ya que, para lograr un efecto cementante el LDPE tiene que ser incorporado de manera líquida a la arena.

(Mohan et al., 2020), para elaborar la mezcla de arena y LDPE, tuvo que someter su material plástico a un proceso de fundición mediante el calentamiento de un recipiente a 170 grados Celsius. Posterior a ello, incorporó la arena con el plástico fundido. Como consecuencia de la necesidad de tener que calentar el plástico de desecho para lograr cierta adherencia entre los materiales, se generaron gases contaminantes debido a la quema de plástico.

Una problemática que han tenido diversos autores, es en cuanto a la absorción de agua que generan los ladrillos ecológicos que han elaborado, ya que (S. S. Chauhan et al., 2019) por ejemplo, al realizar pruebas de absorción a los tabiques ecológicos que diseñaron, vieron como resultado que sus tabiques no cumplieron con los porcentajes de absorción que especifican diversas normas técnicas para mampostería.

Para garantizar el uso industrial de un ladrillo o cualquier otro elemento constructivo, se deben cumplir con las dimensiones que establecen las normas técnicas, en este caso, las de mampostería, lo cual no siempre es observado. Este es otro problema que, de acuerdo al estado del arte se ha visto, ya que por citar algunos, (Gopu et al., 2016) en la experimentación

que llevaron a cabo, no se cumple con las dimensiones que establecen las normas mexicanas de mampostería para uso estructural y no estructural.

Otro problema, es que al mezclar LDPE con arena y, en el caso que se probaran los tabiques, con cemento, el proceso de mezclado no es el mismo que cuando tenemos únicamente agregados como la arena y el cemento. Sin embargo, se podría esperar que al mezclar el plástico con concreto se tengan otro tipo de problemas en cuanto al maclado de los materiales. (Pet, 2017) encontró que, al combinar plástico con concreto, la mezcla necesaria para elaborar la pasta no es del todo homogénea, por lo que esto podría derivar, en que los tabiques resultantes no sean de buena calidad. Para solucionar este problema, en esta investigación se buscará que al incorporar el plástico LDPE con el concreto, el proceso de mezclado se haga de manera que el LDPE no sea lo suficientemente grande como para provocar una mala combinación entre los materiales.

Como comenta (Facultad de Ingeniería Civil, 2021) la mayoría de los tabiques que encontramos en la industria de la construcción, es utilizado como componente de muros de carga, sin embargo, los tabiques ecológicos al tener una capacidad portante menor, no pueden ser utilizados, por ejemplo, en cerramientos, los cuales son componentes constructivos de cualquier edificación. Por este motivo, se buscará que los tabiques de LDPE sean evaluados por la normativa que especifica la capacidad portante que debe cumplir un elemento estructural y con base en ello, elegir si los diseños que se realizaran pueden ser usados de manera estructural o no estructural.

(Busra et al., 2021) comentan que al incrementar la cantidad de plástico de desecho se tiene una menor resistencia a la compresión, por lo cual, para esta investigación se harán las pruebas necesarias y se concluirá cual es la cantidad de LDPE que provee la mejor resistencia a la compresión para los tabiques, o dicho de otra manera, la cantidad óptima para dar las mejores características físicas y mecánicas al tabique de LDPE.

Como comentan (Gencel et al., 2021), se podría pensar que el tabique ecológico de plástico no tiene ventajas en comparación con el tabique de concreto convencional, pero no es así, ya que de acuerdo a su experiencia, el tabique de PET no requieren ser cocido a fuego y, a diferencia del proceso de elaboración del ladrillo convencional con cemento y arena,

para la fabricación de un ladrillo ecológico el agregado fino es sustituido por partículas del polímero procedente de desecho, con lo cual, se crea una alternativa más ecológica al ladrillo convencional que reduce el consumo de recursos naturales.

1.3 Justificación

1.3.1 Ecológica

Como bien comenta (Páez, 2006), desde principios de 1980 la Organización de las Naciones Unidas ha implementado el concepto de sustentabilidad, dado esto, es que se busca que la mayoría de las investigaciones se preocupen por los temas sociales, económicos y sobre todo ecológicos. Debido a la problemática mundial con respecto al problema de la sustentabilidad, se considera importante generar nuevos materiales para el área de la construcción, logrando, además, alternativas innovadoras que impacten las construcciones del futuro. En la actualidad, las investigaciones para frenar el problema que generan los plásticos, están enfocadas hacia la búsqueda de diferentes alternativas de reutilización. Ya que, el plástico es un material que tarda cientos de años en degradarse (Un et al., 2016; Calvente, 2007). La figura 1 representa de mejor manera el concepto antes mencionado.

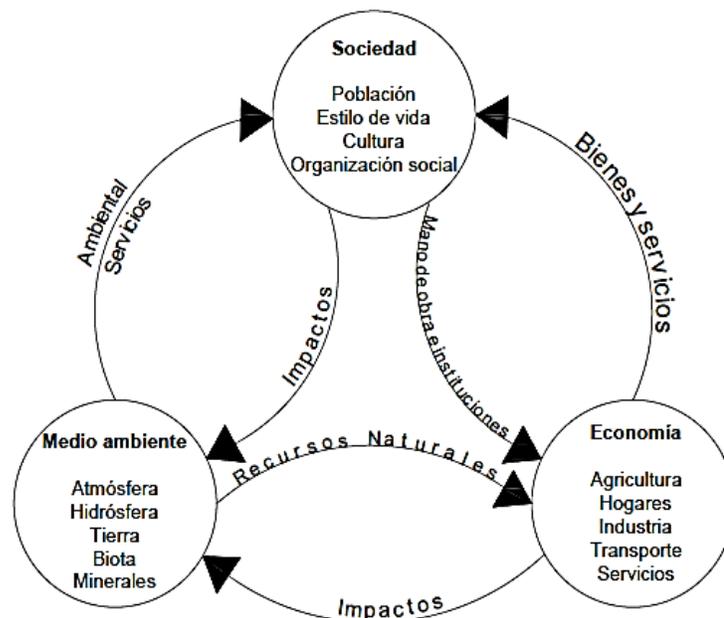


Figura 1.1 Aspectos que interactúan en el concepto de sustentabilidad (Calvente,

2007).

Como se puede ver, uno de los motivos principales por el que se realizó esta investigación, fue la de analizar la factibilidad en el uso de tabiques incorporando un agregado adicional a los ya comunes, dicho material es el plástico tipo LDPE de baja densidad que es el que comúnmente encontramos en las bolsas de plástico. Al integrar el plástico en los tabiques de concreto, esto puede contribuir enormemente a reducir la contaminación producida por el uso de las mismas, dando un reusó a las bolsas de plástico que están presentes en el medio ambiente, y es que, si en vez de tirar el plástico lo incorporamos en un tabique, ya no tendremos tanta basura acumulada en las calles.

1.3.2 Social

Toda investigación debe contribuir y tener un impacto social, ya que a fin de cuentas en casi todo lo que nos rodea, el ser humano tiene interacción de manera directa o indirecta.

La contribución social de este trabajo va encaminado conforme a lo contemplado en el punto 1.3.1, ya que, al tener menos contaminación, el ser humano puede, hasta cierto punto, gozar de una mejor interacción con sus semejantes y con el medio que lo rodea, ya que incluso está comprobado que la contaminación genera problemas de salud, en especial salud mental, dado que la contaminación provoca en ciertos momentos estados de ánimo cambiantes (Galán Tellez, 2018).

Además, el tener un planeta libre de desechos, incorporándolos en un elemento de uso común para el desarrollo de la infraestructura, como lo es un tabique, se puede tener un mejor desarrollo humano al tener diversas formas de construcción de elementos como la mampostería habitual.

Por otro lado, los productos de consumo que a diario usamos en nuestra vida cotidiana suelen desecharse después de su uso. Una gran cantidad de estos desperdicios, termina en algún lugar del medio ambiente generando con ello contaminación, en muchos países en desarrollo, por ejemplo, las botellas de PET se utilizan en la construcción principalmente como material de relleno en paredes de hormigón o adobe (Quevedo Haro, 2017).

1.3.3 Constructiva

Con base en la bibliografía consultada, se ha dado a conocer a través de este documento, que el LDPE procedente del reciclaje o desecho ha sido reutilizado en diferentes elementos constructivos; sin embargo, en cuanto al diseño y caracterización de ladrillos, se puede observar que la mayoría de las metodologías empleadas para la elaboración de estos elementos de mampostería, al utilizar únicamente arena en combinación con el LDPE, no han cumplido en su totalidad con ciertos parámetros como absorción y compresión establecidos en algunas normas mexicanas para mampostería como la NMX-C-404-ONNCCE-2012 (Organismo Nacional de Normalización de la Construcción Y La Edificación, 2012) y la NMX-C-441-ONNCCE-2013 (Organismo Nacional de Normalización de la Construcción Y La Edificación, 2013).

1.4 Hipótesis

La modificación de las mezclas de concreto para la elaboración de ladrillos, mediante la incorporación de LDPE, permitirá reutilizar bolsas de plástico procedentes de desecho; además, los elementos creados tendrán propiedades físicas y mecánicas similares a las especificadas en normativas vigentes para mampostería, por lo que podrán ser utilizados en la industria de la construcción.

1.4.1 Variables independientes

Cantidad de reemplazo de LDPE en los ladrillos de concreto y tamaño de las partículas de LDPE añadidas.

1.4.2 Variable dependiente

Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de concreto mezclado con polietileno de baja densidad (resistencia a la compresión, porcentaje de absorción, resistencia al fuego).

1.5 Objetivo general

Desarrollar y caracterizar un ladrillo ecológico de concreto incorporando polietileno de baja densidad de bolsas de plástico procedente de desecho, mediante la determinación de

sus propiedades físicas y mecánicas por medio de pruebas de laboratorio, de acuerdo a normas técnicas mexicanas, para conocer su factibilidad de uso como mampostería.

1.6 Objetivos específicos

- Delimitar la influencia del polietileno de baja densidad (LDPE) en las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto, mediante los resultados obtenidos en la etapa de experimentación, para reportar en qué medida o porcentaje de incorporación del plástico es conveniente su utilización.

- Realizar un estudio sobre las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto modificados con polietileno de baja densidad procedente de desecho, mediante las pruebas de laboratorio aplicables, para contrastar los resultados con los valores especificados en las normativas.

- Establecer los alcances de las muestras de ladrillos de concreto y LDPE, con base en los resultados obtenidos en la etapa de experimentación, para proponer su posible utilización en la industria de la construcción.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Cemento y cemento Portland

El cemento es un conglomerante hidráulico molido que, al ser mezclado con agua, crea una pasta que fragua y endurece a través de reacciones y procesos químicos de hidratación. El cemento Portland es obtenido por medio de la calcinación de una mezcla de caliza y arcilla u otros materiales de composición química similar, a temperaturas comprendidas entre los 1300-1500 °C, lo que genera una fusión de estos materiales.

El producto que se obtiene a raíz de estos procesos, recibe el nombre de Clinker, el cual, una vez molido con una mínima cantidad de yeso, se le da el nombre de cemento (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2001).

2.2 Agregados Pétreos para Tabiques de Concreto (Arena)

Los agregados pétreos son aquellos materiales naturales sujetos a tratamientos de desintegración, cribado, trituración o lavado que, en conjunto con el cemento portland y agua, forman el concreto hidráulico. El agregado fino es arena natural obtenida mediante trituración y cribado, con tamaños de partículas comprendidas entre setenta y cinco micrómetros (5 μ m) y cuatro puntos setenta y cinco milímetros (4.75 mm) (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2019).

2.3 Pieza de mampostería

Es un elemento prismático rectangular, fabricado con arcilla comprimida, la cual es sometida a un procedimiento de cocción con o sin vibrocompactación de una mezcla de cemento hidráulico, agregados pétreos, y otros cementantes (pieza de concreto) o bien fabricada con otros materiales con procesos diferentes (Organismo Nacional de Normalización de la Construcción Y La Edificación, 2012).

2.4 Pieza de mampostería para uso estructural

Son piezas de mampostería con las características mecánicas necesarias para erigir un muro con un espesor mínimo de 100 milímetros, el cual tiene la capacidad de soportar las

cargas generadas por acciones gravitacionales y accidentales (sismo, viento, etc.). Los elementos huecos deberán tener celdas o perforaciones ortogonales a la cara de apoyo (sólo se admiten piezas con huecos verticales) (Organismo Nacional de Normalización de la Construcción Y La Edificación, 2012).

2.5 Muros no estructurales

Los muros no estructurales, son aquellos que, al no ser parte de los elementos constructivos que tomen cargas portantes de una edificación, no necesitan soportar las mismas de la estructura principal (Organismo Nacional de Normalización de la Construcción Y La Edificación, 2012).

2.6 Pruebas de laboratorio típicas para caracterizar a la mampostería

De acuerdo a la Norma Mexicana para mampostería NMX-C-404-ONNCCE-2012 (Organismo Nacional de Normalización de la Construcción Y La Edificación, 2012) y NMX-C-441-ONNCCE-2013 (Organismo Nacional de Normalización de la Construcción Y La Edificación, 2013), existen dos pruebas (prueba de absorción y prueba de compresión) a las que todo tipo de mampostería, para uso estructural y no estructural respectivamente, debe ser sometida.

Además, si los ladrillos no son completamente de concreto (como es el caso de esta investigación) los elementos deben ser sometidos a una tercera prueba (prueba de resistencia al fuego).

Los tabiques que sean sometidos a la prueba de compresión, que pretendan ser utilizados como mampostería de uso estructural, deben cumplir los valores de resistencia indicados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Resistencia a la compresión para elementos de mampostería para uso estructural.

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media (Mpa)	Resistencia mínima individual (Mpa)
Bloque	Macizo	15.00	12.00
	Hueco	9.00	7.00
	Multiperforado	15.00	12.00
Tabique (largo > 300 mm)	Hueco	9.00	7.00
	Multiperforado	9.00	7.00
Tabique (largo < 300 mm)	Macizo	11.00	7.00
	Hueco	9.00	7.00
	Multiperforado	15.00	12.00

En este caso, y para este documento, se utilizó como resistencia de referencia el valor de 110 kg/cm^2 o lo que es lo mismo a 11 Mpa, esto debido a que el tipo de ladrillo que se elaboró para el trabajo de investigación fue el que tiene dimensiones largo menor a 300 mm.

Por otro lado, gracias a la información contenida en la Tabla 2.2, se puede conocer la resistencia a la compresión que deben cumplir los elementos de mampostería que, de acuerdo a su clasificación, pretenda ser usados de manera no estructural. Sin embargo, estos valores son aproximados, ya que en la industria de la construcción rara vez encontraremos estos valores en la medida exacta, pues en la realidad, las características de la mampostería varían de acuerdo al fabricante.

Tabla 2.2 Resistencia a la compresión para elementos de mampostería para uso no estructural.

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media (Mpa)	Resistencia mínima individual (Mpa)
Bloque	Macizo	3.50	2.80
	Hueco	3.50	2.80
Tabique extruido	Macizo	4.00	3.20
	Hueco	4.00	3.20
Tabique artesanal	Macizo	3.00	2.40
Pieza para celosía	Cara rectangular	2.50	2.00

Cara no rectangular	2.50	2.00
---------------------	------	------

Es importante mencionar que, se considera a la absorción inicial como la cantidad de agua que absorbe un espécimen de ladrillo por capilaridad en una de sus caras, esto en determinadas condiciones durante un periodo de 10 minutos de inmersión en agua potable donde esta lo cubra 5 milímetros.

Además, la absorción volumétrica es la cantidad de agua absorbida en un ladrillo expresado en litros por unidad de volumen aparente de la pieza, la cual se mide y se expresa en metros cúbicos (m³).

Los tabiques que sean sometidos a la prueba de compresión que pretendan ser utilizados como mampostería de uso estructural deben cumplir los valores de resistencia indicados en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 horas de mampostería para uso estructural.

Tipo de material	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (g/min)	Absorción total en 24 horas en porcentaje (%)
Concreto	7.50	12.00
Arcilla artesanal	-	23.00
Arcilla extruida	7.50	19.00

En este caso, y para este documento, se utilizó como resistencia de referencia el valor de 7.5 y 12.0 de absorción inicial y absorción total respectivamente, esto debido a que el tipo de ladrillo que se elaboró para el trabajo de investigación fue de concreto.

Por otro lado, la Tabla 2.4 muestra los valores de referencia para esta evaluar la prueba de resistencia a la compresión en elementos de mampostería para uso no estructural.

Tabla 2.4 Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 horas de mampostería para uso no estructural.

Tipo de material	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (<i>g/min</i>)	Absorción total en 24 horas en porcentaje (%)
Concreto	7.50	25.00
Arcilla artesanal	-	25.00
Arcilla extruida	7.50	20.00

2.6.1 Prueba de resistencia al fuego para mampostería

Esta prueba de laboratorio está basada en las especificaciones contenidas en la normativa mexicana NMX-C-307-1987. El ensayo de resistencia al fuego es para los bloques, tabiques, ladrillos, y tabicones, que no sean fabricados de productos de cemento u otros materiales pétreos y/o arcilla al 100 %.

La prueba consiste en someter un material o construcción a un alto flujo de calor proveniente de una fuente externa, con o sin contacto de la flama. En este caso, como equipo principal se podrá hacer uso de un horno o dispositivo que sea capaz de brindar una fuente de calor constante a los especímenes de ensayo.

El período de resistencia al fuego es una medida del tiempo que contempla el lapso durante el que un material o elemento se pone en el fuego bajo ciertas condiciones especificadas, esto para conocer su comportamiento.

2.7 El polietileno

El origen del polietileno se dio durante el año 1898, cuando Von Pechmann obtuvo un polímero de estructura similar al del polietileno llamándolo así polimetileno. Esta síntesis se creó de manera casi accidental a partir de diazometano, dando como resultado un polímero con un bajo peso molecular. En el año de 1900, Bamberger y Tschirner analizaron un producto similar. El polietileno de baja densidad se obtuvo de manera similar a través de los estudios de alta presión del etileno que llevo a cabo Michaels en Ámsterdam. Este suceso fue aprovechado por Gibson para producir polietileno, con ayuda de una mezcla de etileno y

benzaldehído. En 1935, en el Reino Unido (Inglaterra), los químicos W. Faucett, G. Paton, W. Perrin y G. Williams, polimerizaron etileno empleando altas presiones y temperaturas (Durán González, 2020).

Se define al polietileno como un polímero sintético termoplástico. Este, es un material que está parcialmente cristalino y amorfo, cuyo color es blanquecino y translucido. Los diversos tipos de polietileno encontrados en la industria son el resultado de las diferentes condiciones de preparación, las cuales se llevan a cabo por medio de la reacción de polimerización (Molina Flores et al., 2020).

El polietileno es uno de los polímeros más simple desde el punto de vista la química; no obstante, hay una enorme variedad de tipos y procesos de fabricación. A grosso modo, este material se obtiene de la polimerización del etileno, siendo el plástico más consumido y el más económico; también, es un material químicamente inerte y un muy buen aislante eléctrico. El polietileno es quizás, el polímero más visto y conocido en la vida cotidiana. Es el polímero más utilizado en todo el mundo. Éste es el plástico del que se hacen las bolsas del súper, los frascos de jugos, los juguetes de los niños, etc. Debido a que es un material muy versátil, tiene una estructura química demasiado simple. Una molécula del este material es nada más y nada menos que una cadena larga de átomos de carbono, con dos átomos de hidrógeno unidos a cada uno de los átomos de carbón (Aracil, 2008).

En cuanto a la estructura química del polietileno ésta se conforma como sigue: $-(CH_2 - CH_2-)_n$. Esta molécula se compone en su unidad estructural por dos átomos de carbono y 4 átomos de hidrógeno unidos todos por enlaces químicos de carácter covalente. La fuerza de los enlaces $C - C$ y $C - H$ es 347 y 414 kilojulios sobre mol (Kj/mol) respectivamente. Esta composición atómica se suele repetir de manera indefinida hasta formar el polietileno. El número de veces que se repita esta composición básica dependerá del tipo de catalizador empleado en la reacción química, la temperatura y la presión (Figura 2.1) (Coreño-Alonso y Méndez-Bautista, 2010).

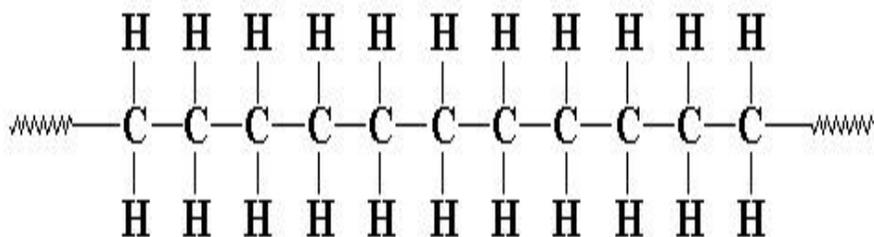


Figura 2.1 Composición atómica del polietileno (Coreño-Alonso & Méndez-Bautista, 2010).

A veces, algunos de los carbonos, en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos, tienen asociadas largas cadenas de polietileno. Esto se llama polietileno ramificado, o de baja densidad, o LDPE (Figura 2.2) (Santagata et al., 2020).

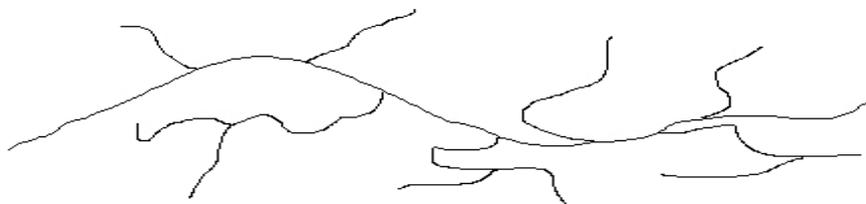


Figura 2.2 Molécula de polietileno ramificado o LDPE (Santagata et al., 2020).

Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el símbolo en la parte inferior o posterior (Figura 2.3) (Vaid et al., 2020).



Figura 2.3 Símbolo de identificación del LDPE (Vaid et al., 2020).

3. METODOLOGÍA

3.1 Materiales y equipos

3.1.1 Materiales y equipos para la elaboración de ladrillos

- *Arena de río*: Este material fue utilizado para la elaboración de los especímenes de ladrillos en conjunto con el agua y el cemento, dicho material fue caracterizado por medio de su curva granulométrica y por medio de la determinación de la densidad y absorción.

- *Cemento*: Este material se utilizó para dar unión, en conjunto con la arena y el agua, en la elaboración de la mezcla de concreto.

- *Plástico tipo LDPE procedente de bolsas de plástico de desecho*: Material que se utilizó como agregado en la mezcla de concreto. Este fue cortado manualmente y reducidos a tamaños pequeños de partículas con dimensiones aproximadas de 30 a 60 mm.

- *Agua*: Componente de aglutinación para la mezcla de concreto.

- *Moldes de madera (Cimbra)*: Este equipo se utilizó para darle forma y dimensiones a los especímenes de ladrillos que se realizaron. Al ser cortado de madera de dimensiones establecidas, no se generaron residuos. Para su elaboración, solo fue necesario el uso de guantes de seguridad para evitar algún golpe en las manos.

- *Guantes de seguridad*: Este artefacto fue utilizado para distintas actividades, entre ellas para poder sostener los ladrillos en las distintas pruebas de laboratorio y para actividades que comprometían las manos.

- *Cúter*: Este artefacto fue utilizado para desmenuzar el plástico LDPE. Como medida de seguridad se utilizaron guantes para salvaguardar las manos de algún corte.

- *Aceite*: Material utilizado en la elaboración de los ladrillos en conjunto con el molde de madera, esto para evitar que los ladrillos se queden pegados al molde después de que la mezcla de concreto fragüe dentro de este.

- *Estopa*: Este producto se utilizó para absorber el aceite empleado en el molde de madera para la elaboración de los ladrillos. Los residuos generados se vertieron en la basura, ya que no se consideran tóxicos.

- *Flexómetro*: Equipo usado para medir las dimensiones de los ladrillos una vez que fueron elaborados.

- *Martillo*: Equipo utilizado en la elaboración del molde de madera para la cimbra de ladrillos. Para su uso, se hizo uso de guantes de seguridad con el fin de evitar algún daño físico en las manos.

- *Clavos de acero*: Material usado para la fabricación del molde de madera o cimbra. Para su manipulación se hizo uso de guantes de seguridad para evitar algún daño físico en las manos.

- *Cuchara de albañilería*: Equipo utilizado para la mezcla de los materiales (agua, arena, cemento) empleados en la elaboración de ladrillos.

- *Charola*: Equipo utilizado para mezclar los materiales necesarios para la mezcla de concreto, incluidas las bolsas de plástico de LDPE procedente de desecho.

3.1.2 Materiales y equipos para pruebas de laboratorio

- *Zapatos de seguridad*: Equipo utilizado para evitar daños físicos en los pies al utilizar los distintos equipos empleados para realizar las distintas pruebas de laboratorio.

- *Balanza o báscula*: Equipo utilizado para conocer el peso y/o masa de cada uno de los ladrillos elaborados para las pruebas de laboratorio.

- *Overol industrial resistente al fuego*: Equipo o ropa especial utilizada para realizar la prueba de resistencia al fuego, con la finalidad de prevenir algún tipo de quemadura.

- *Lentes de seguridad*: Equipo utilizado para evitar daños físicos en los ojos al utilizar los distintos equipos empleados para realizar las distintas pruebas de laboratorio.

- *Dispositivo capaz de proporcionar calor y/o fuego constante:* Este equipo fue utilizado para realizar la prueba de resistencia al fuego. En este caso, se hizo uso de una estufa con quemadores tradicionales, esto debido a que en el área de trabajo no se contaba con el equipo especializado para la prueba de acuerdo a la norma.

- *Cronómetro:* Equipo utilizado para medir el tiempo que pasa los ladrillos sumergidos en agua para la prueba de absorción y para la prueba de resistencia al fuego.

- *Etiquetas:* Material utilizado para tener un mejor orden de agrupamiento de los distintos ladrillos elaborados.

- *Bitácora:* Equipo utilizado para registrar distintos datos de interés para caracterizar a los ladrillos.

- *Máquina universal:* Equipo empleado para realizar la prueba de compresión en los ladrillos, la cual consta de maquinaria especial para aplicar y registrar una carga controlada a los especímenes. Para su uso, fue necesario contar con la asesoría y supervisión de los técnicos especializados que se encuentran en el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Como medidas de seguridad se hizo uso de guantes de seguridad, zapatos de seguridad, así como de lentes para evitar cualquier tipo de daño en manos y pies.

- *Computadora con software de Ofimática:* Maquinaria utilizada para la redacción de tesis.

- *Termómetro de infrarrojo:* Equipo utilizado para medir la temperatura en los especímenes durante la prueba de resistencia al fuego. Para su uso, no se requiere equipo especial de seguridad, más que guantes de seguridad previamente para retirar los especímenes del horno.

- *Bote de 20 litros de capacidad:* Equipo utilizado para sumergir los especímenes en agua durante la prueba de absorción.

- *Agua:* Utilizado para sumergir los especímenes durante la prueba de absorción. El desperdicio generado se utilizó como agua para el inodoro.

- *Equipo para densidad y absorción de arena:* Equipo y herramienta utilizada para realizar la caracterización del agregado fino empleado en los ladrillos (ver sección 3.4.1).

- *Equipo para granulometría de arena:* Equipo y herramienta utilizada para realizar la caracterización del agregado fino empleado en los ladrillos (ver sección 3.4.2).

3.2 Metodología general

Se recolectó material de desecho de LDPE en forma de bolsas de plástico de distintos sitios, como parte de la aportación ecológica de esta investigación. El LDPE fue desmenuzado con ayuda de un dispositivo de corte tipo cúter, ya que actualmente no existe un dispositivo comercial, o que esté al alcance de este proyecto, capaz de desmenuzar y/o cortar este material.

Después, se realizó en laboratorio, y con ayuda del equipo necesario, la caracterización del agregado fino (arena), esto con la finalidad de especificar y para conocer las características de dicho material; también, se especificaron las propiedades del cemento portland tipo CPO utilizado.

A continuación, se construyeron 66 especímenes de tabiques con distintas cantidades de LPDE mezclado con cemento Portland y arena de río. De acuerdo a las proporciones, más adelante especificadas, se realizaron pruebas de laboratorio a las que comúnmente son sometidos los tabiques antes de ser colocados como mampostería, esto para contrastar los resultados obtenidos en dichas pruebas, con los parámetros que establecen las normativas técnicas mexicanas para mampostería NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012, además de otras complementarias.

Finalmente, se realizaron pruebas de absorción total, absorción inicial, resistencia a la compresión y resistencia al fuego, dado que son los parámetros más importantes a considerar cuando se trabaja con tabiques de concreto dentro del ámbito de la construcción, de acuerdo a lo que establece las normas mexicanas para mampostería NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012.

La Figura 3.1 muestra el orden de actividades seguidas para este proyecto de investigación, lo cual contempla cuatro pasos metodológicos básicos seguidos para la realización de los ladrillos ecológicos de concreto y LDPE; además, a lo largo de este capítulo se describe más a detalle cada una de ellas.

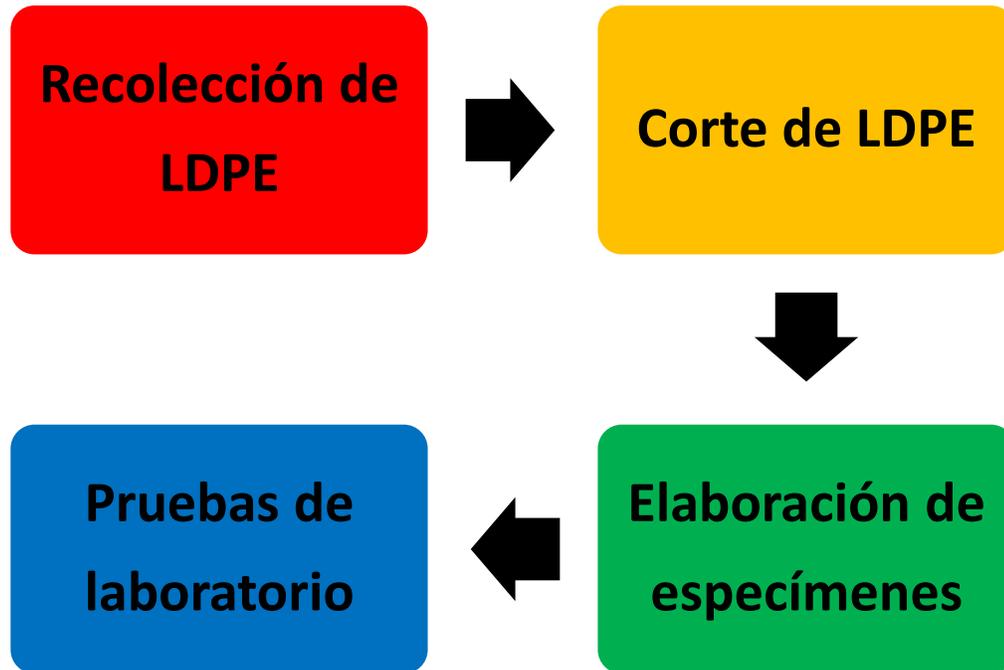


Figura 3.1 Diagrama de flujo de actividades seguidas para el trabajo de investigación.

3.3 Recolección de LDPE procedente de desecho.

3.3.1 Localización de los sitios de recolección de bolsas de plástico.

La selección de los lugares de recolección se hizo basándose en los objetivos planteados y en la disponibilidad de los sitios de muestreo. Se recolectaron bolsas de plástico de diferentes sitios en los que estas son consideradas como desperdicio o donde se encuentran tiradas al aire libre; tales lugares fueron la vía pública, rellenos sanitarios, calles, tiendas, mercados de abasto, tianguis sobre ruedas, etc.

La Figura 3.2 muestra el mercado de abastos del municipio de Cadereyta de Montes, uno de los sitios elegidos para recolectar bolsas de plástico de desecho, se escogió este lugar,

ya que, muchas veces cuando se termina la jornada de funcionamiento del mercado, es común observar mucho material de LDPE tirado en el piso, que posteriormente va a dar al relleno sanitario. Este sitio fue elegido como la fuente principal de recolección. Dicho mercado tiene su periodo de operación todos los domingos del año, en un horario aproximado de 6:00 am a 8:00 pm. La ubicación geográfica del sitio antes mencionado es $20^{\circ}41'58.08''$ de latitud Norte y $99^{\circ}48'50.85''$ de longitud Oeste.



Figura 3.2 Mercado de abastos ubicado en la zona centro del municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, México (Google Earth, 2022).

Las Figuras 3.3a y 3.3b muestran algunos sitios específicos representativos de los cuales fueron obtenidas las bolsas de plástico recolectadas como material de desecho. Dichos sitios son lugares elegidos al azar ubicados en la vía pública del municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, México.



Figura 3.3a Vía pública del municipio Cadereyta de Montes, Querétaro, México.



Figura 3.3b Vía pública del municipio Cadereyta de Montes, Querétaro, México.

Uno de los sitios que se consideró una buena fuente de recolección, para obtener la mayor cantidad de material de LDPE procedente de desecho, fue el relleno sanitario público del municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, México. Este lugar se eligió, ya que allí es donde se podría encontrar una buena cantidad de material de desecho. La Figura 3.4 muestra la ubicación geográfica del sitio antes mencionado, la cual es $20^{\circ}42'14.35''$ de latitud Norte y $99^{\circ}47'15.23''$ de longitud Oeste.



Figura 3.4 Relleno público sanitario ubicado en la cabecera municipal del municipio Cadereyta de Montes, Querétaro, México (Google Earth, 2022).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, se puede notar que existieron diferentes sitios de recolección de material de desecho, es importante mencionar que, se buscó que el material recolectado no estuviera en malas condiciones o que tuviera presente algún agente químico como aceite o desechos orgánicos, es decir, se trató que el material estuviera en las mejores condiciones posibles, para que al ser cortado y posteriormente incorporado a la mezcla de los ladrillos de concreto, no se tuvieran interferencias en los resultados de las pruebas de laboratorio.

3.4 Desmenuzamiento y caracterización de LDPE procedente de desecho

3.4.1 Desmenuzamiento de LDPE

Una vez que se obtuvo la cantidad suficiente del material LDPE, de acuerdo a las proporciones que se muestran más adelante, este fue desmenuzado con ayuda de un dispositivo tipo cutter. El material fue cortando y/ o desmenuzado para posteriormente ser pesado, dividido y caracterizado de acuerdo a la cantidad necesaria para elaborar los tabiques. La Figura 3.5 muestra el material LDPE de desecho desmenuzado en diferentes tamaños de partículas.



Figura 3.5 LDPE desmenuzado en diferentes tamaños de partículas.

3.4.2 Caracterización de LDPE

Al momento de realizar los cortes de las bolsas de plástico recolectadas de desecho, el material fue desmenuzado a diferentes tamaños de partículas, por lo cual, posteriormente, fue necesario realizar una caracterización de las partículas de este material, esto con el objetivo de reportar en este documento de tesis, cuáles fueron los tamaños de partículas de LDPE incluidas en los ladrillos.

Para realizar esta caracterización, se utilizaron dos tamaños de mallas o tamices, los cuales comúnmente son empleados para caracterizar al agregado fino. Los tamaños utilizados fueron los de dimensiones de 0.30 mm y 0.60 mm, esto se hizo así ya que, al consultar en la literatura, son los tamaños que algunos autores como Salvador et al. 2013, emplean al mezclar algún tipo de fibra con concreto.

La Figura 3.6 muestran el procedimiento de caracterización del LDPE, recordando que este es un método no estandarizado ni normado, y adoptado únicamente para esta investigación con el objetivo de dar más certeza a los resultados obtenidos.



Figura 3.6 Procedimiento de caracterización adoptado con el LDPE.

3.5 Caracterización del agregado fino empleado en la elaboración de tabiques

3.5.1 Determinación de la densidad y absorción de la arena

Para llevar a cabo esta prueba de laboratorio, se siguieron los procedimientos contenidos en la norma mexicana para mampostería NMX-C-165-ONNCCE-2014, dichos procedimientos se resumen de manera general a continuación.

1. Se recolectó una muestra representativa de más o menos 2 kilogramos de material que pasó por la malla Numero 4 (4.75 mm), esto después de haber cuarteado la misma.
2. Se vertió el material en un recipiente rectangular y se saturó con agua a temperatura ambiente durante un lapso de 24 horas.
3. Se llenó de agua el matraz hasta el nivel de aforo, y después se pasó a determinar su temperatura y su peso.
4. Se homogeneizó la muestra, con la formación de un cono, además se truncó el mismo y se realizó el procedimiento de cuarteo de la cantidad de material con la que se estuvo trabajando.

5. Cumplido el tiempo de saturación, se colocó la charola sobre la estufa y se empezó a evaporar el agua a través de la ebullición, esto hasta lograr que no se observara agua libre, pero si humedad aparente. Fue necesario retirar de manera constante el material de la charola con ayuda de una espátula, esto con el objetivo de evitar la calcinación de las partículas finas.
6. Al cabo de un momento en que no se apreció agua libre, se retiró la charola de la parrilla y con una corriente de aire libre o con la espátula, evaporándose permitió la evaporación de agua tratando de buscar condición de saturación y superficialmente seco.
7. Se vertió arena húmeda dentro del modelo tronco-cónico para verificar la existencia de humedad libre, compactando 25 veces con el pisón sin hacer presión, es decir la compactación se realizó por peso propio del pisón y en una sola capa levantando el molde en forma vertical y la forma del tronco-cono fue retenida por la arena, si es que estaba este sobre saturada.
8. Se puso nuevamente la charola sobre la parrilla a fuego lento y se siguió aplicando aire para evaporar agua, de tal manera que después de varios intentos la arena no retuviera la forma del tronco-cono y se formará un cono, así se consiguió que la muestra estuviera en la condición de saturada y superficialmente seco (S.S.S.).
9. Se tomaron 200 gramos de arena en condición saturada y superficialmente seca (S.S.S.) y en un recipiente se procedió a secar el agregado por el método de fuego directo hasta poder obtener el peso constante (peso seco).
10. A la par, se colocaron 200 gr de arena en un matraz aforado de 500 cm³ y se vació el agregado fino con ayuda de un embudo en el matraz; además, el contenido de agua fue más o menos la mitad de su volumen.
11. Se colocó al matraz en la bomba de vacío para extraerle el aire y después se aforo hasta el nivel y se pesó el matraz con el material y el agua.
12. Se verificó nuevamente la temperatura antes de pesar y se revisó que no estuviera húmedo el matraz en la parte de afuera y parte superior del nivel de aforo en la parte de adentro.

El equipo y materiales complementarios a los ya mencionados en el apartado 3.1 de este documento, y necesarios para realizar esta prueba, fueron: Pala recta, regla de madera (corta y larga), charola rectangular de (60 x 40 x 10 cm), cucharon con capacidad de (1.0 y 0.5 kg), vaso de aluminio con capacidad de 1.0 litros, bascula de 2.5 kg de capacidad, marco de pesas completo ,matraz aforado con fondo plano de 500 cm³, tronco cono de bronce, pisón metálico con peso de 150 gr, termómetro de (-10 a 110 o150 °C), espátula de abanico, vidrio de reloj, charola redonda (2), embudo metálico, malla de ¾ “, ½ “, 3/8 “, picnómetro, probetas de 100 y 250 ml.

Para calcular la absorción, se utiliza la ecuación 1, la cual se muestra a continuación:

$$\text{Absorción} = \frac{P_w - P_s}{P_s} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- P_w : Peso húmedo o peso de la muestra del material en condición (S.S.S) en gramos (gr)
- P_s : Peso seco del material en gramos (gr).

Por otro lado, para calcular el peso relativo especifico, se utilizó la ecuación 2, la cual se muestra a continuación.

$$\text{Densidad} = \frac{M_{sss}}{(M_{pa} + M_{sss}) - (M_{pma})} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- M_{pa} : Peso del picnómetro con de agua, en gramos (gr)
- M_{sss} : Peso de la muestra en condición saturada y superficialmente seca, en gramos (gr).
- M_{pma} : Peso del picnómetro, muestra y agua hasta el nivel de aforo, en gramos (gr).

3.5.2 Determinación de la granulometría de la arena

Para llevar a cabo esta prueba de laboratorio, se siguieron los procedimientos contenidos en la norma mexicana para mampostería NMX-C-077-1997-ONNCCE, dichos procedimientos se resumen de manera general a continuación.

1. Se cuarteó la arena y se usó una muestra representativa de 500.0 gramos. A la par, se tomó una muestra de 200.0 gramos para corregir por humedad.
2. Se colocó la arena en el vaso de aluminio para saturar.
3. Después se saturó el material y se lavó, agitando con ayuda de una varilla en durante 15 segundos; también, se dejó reposar 30 segundos y se decantó el agua sobre la malla No. 200.
4. Se agregó agua y se repitió el procedimiento hasta que el agua que paso a través de la malla se obtuvo limpia.
5. Se lavó el material que se retuvo en la malla No. 200 y se regresó al vaso.
6. Después de este procedimiento se decantó al agua sobrante sin tirar arena y se puso a secar en la parrilla en una charola redonda, teniendo cuidado de no perder material al vaciarlo. El secado se hizo a fuego directo (lento).
7. Se determinó el peso de la arena seca y lavada y se vertió el material en las mallas previamente colocadas en columna empezando por la de abertura mayor. Se procedió al cribado agitando la columna en forma manual, para terminar con un cribado manual en cada malla.
8. Se pesaron las fracciones y se elaboró una tabla granulométrica y una gráfica, esto con el objetivo de reportar las características del agregado fino.
9. Al momento de cribar la arena se tuvo cuidado de no tirar las partículas de la muestra, esto con la finalidad de evitar errores en los pesos retenidos.

El equipo y materiales complementarios a los ya mencionados en el apartado 3.1 de este documento, y necesarios para realizar esta prueba, fueron: mallas No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200, fondo y tapas para mallas, vaso de aluminio con capacidad 1.0 litros con marco de pesas, una varilla de $\frac{1}{4}$ " de diámetro, punta redonda, un vidrio de reloj, báscula de 2.5 kg

de capacidad, marco de pesas completo, escoba y franela, encendedor o cerillos y balanzón de la báscula de 120 kg.

Por otro lado, para calcular el porcentaje de limos y arcillas, se utilizó la ecuación 3, la cual se muestra a continuación.

$$\% \text{ de limos y arcillas} = \frac{P. I. C - P. S. L. C.}{P. I. C} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- *P. I. C*: Peso inicial corregido en gramos (gr)

- *P. S. L. C*: Peso seco lavado corregido en gramos (gr).

Nota: El % de Limos y Arcillas debe ser < 5% por especificación.

3.6 Características del cemento Portland empleado en la elaboración de tabiques de concreto

El cemento Portland empleado para la elaboración de los tabiques de concreto modificados con LDPE procedente de desecho, es el cemento Portland tipo CPC 30 R de la marca mexicana Cruz Azul®.

De acuerdo a la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2014, un cemento portland compuesto es aquel que resulta de la integración de Clinker portland, sulfato de calcio y una mezcla de materiales puzolánicos, escoria de alto horno y caliza. En el caso de la caliza, éste puede ser componente único.

La Tabla 3.1 muestra las propiedades físicas del cemento portland empleado en la elaboración de los tabiques de acuerdo a las recomendaciones citadas en la norma NMX-C-414-ONNCCE-2014.

Tabla 3.1 Especificaciones físicas del cemento CPC empleado en la elaboración de tabiques.

Clase resistente	Resistencia a compresión (N/mm ²)			Tiempo de fraguado (min)		Estabilidad de volumen en autoclave (%)	
	20	30	50	45	600	0.80	0.20
30 R	20	30	50	45	600	0.80	0.20

3.7 Elaboración de ladrillos

3.7.1 Elaboración de prototipos de prueba o mini bloques

En primer lugar, se realizaron diferentes prototipos de mini bloques de dimensiones de 5x5x5 cm, esto se hizo para tener un primer acercamiento al diseño, dimensionamiento y comportamiento del LDPE procedente de bolsas de desecho con el concreto.

Aunque previamente se habían elegido tres porcentajes de incorporación de LDPE con la mezcla de concreto, (basado en diferentes referencias bibliográficas en las cuales mezclan concreto con algún plástico como el PET) se realizaron diferentes diseños de mezclas con la inclusión de diferentes proporcionamientos de plástico con concreto.

Las mezclas incluyeron porcentajes de LDPE de 5, 7, 10, 15, 20 y 25 % de incorporación de LDPE en la mezcla de concreto. Para cada diseño de mezcla, se realizaron tres pruebas de laboratorio: Absorción inicial, absorción total y prueba de resistencia a la compresión; además, se escogieron dos tamaños de partículas de LDPE como fueron de 0.60 mm y 0.30 mm. También, para cada diseño de mezcla, se realizaron el número de bloques que se especifica deber ser ensayado, de acuerdo a lo que dictan las normas correspondientes.

La Figura 3.7 muestra algunos de los diseños de mezcla previos elaboradas para la realización de los mini bloques de prueba.



Figura 3.7 Diseño de mezcla de prototipos de mini bloques de concreto y LDPE.

Una vez realizadas las diferentes mezclas de concreto y LDPE, se llegó a la conclusión de que solamente se trabajaría con tres diseños de los elaborados para los mini bloques, esto con la finalidad de caracterizar los ladrillos que posteriormente se elaboraron.

Los diseños de mezcla elegidos para dar forma a esta investigación, se escogieron con base en el comportamiento que se tuvo al realizar la mezcla de los diferentes materiales, ya que en algunas ocasiones no fue posible mezclar el plástico debido a que el volumen del mismo es mayor en comparación con el del concreto.

La Figura 3.8 muestra el comportamiento de la mezcla de concreto con LDPE en algunos de los mini bloques, al ser introducida en moldes para lograr el fraguado de la mezcla.



Figura 3.8 Mezcla de LDPE y concreto introducida en molde de mini bloque

Es importante mencionar que, para decidir con que diseños de mezcla se trabajaría para la elaboración final de los ladrillos de esta investigación, se realizaron dos pruebas de laboratorio con los diseños de mezcla de los mini bloques que se consideraron pertinentes, esto con la finalidad de tener un primer acercamiento sobre el comportamiento físico mecánico que posiblemente tendrían los ladrillos que se posteriormente se elaboraron.

Las Figuras 3.9a, 3.9b y 3.9c muestran las tres pruebas de laboratorio a la que fueron sometidos los mini bloques como método de ensayo previo a la elaboración final de los ladrillos que corresponden a esta investigación.



3.9a Prueba de absorción inicial.



3.9b Prueba de absorción total en ladrillos.



3.9c Ensayo a la compresión en mini bloques.

Finalmente, y basado en la caracterización previa realizada con los minibloques, se eligió trabajar con tres diseños de mezcla de LDPE con concreto. los porcentajes de incorporación de LDPE elegidos para trabajar fueron los que contemplan el 5, 10 y 15 % de LDPE de la mezcla total del elemento.

Es necesario saber que, aunado a los resultados de la caracterización realizada con los mini bloques, se tomaron en cuenta algunas referencias bibliográficas previas.

3.7.2 Diseño de ladrillos

Una vez que se tuvieron caracterizados los mini bloques, y que se decidió con cual porcentajes de LDPE del diseño total de la mezcla se trabajaría, es que se elaboraron los diseños de ladrillos con los que se trabajaría en esta investigación.

Se elaboraron 66 ladrillos, basados en el número de pruebas que se realizarían de acuerdo a lo que dicen las normas específicas para cada prueba más adelante mencionadas, con dimensiones de 60x100x240 mm con porcentajes de incorporación de 5, 10 y 15% de LDPE del total del peso y/o volumen de un tabique con concreto, esto se hizo debido a que son las cantidades que, en su mayoría, usan los autores citados en los antecedentes de esta investigación.

Además, con ayuda de la caracterización de los mini bloques se obtuvieron mejores resultados, pues son las cantidades de plástico con las que mejores resultados han dado en las pruebas realizadas a tabiques ecológicos. La dimensión de los tabiques, es la recomendada por las normas mexicanas para mampostería NMX-C-404-ONNCCE-2012 para “tabicones”.

La Tabla 3.2 muestra el diseño experimental realizado para la elaboración de tabiques, se muestra el número de especímenes necesario para llevar a cabo cada una de las pruebas de laboratorio a estos.

Tabla 3.2. Resumen sobre el diseño experimental de la investigación.

Cantidad de LDPE.	Longitud promedio de LDPE	Numero de especímenes necesarios por prueba		
		(Prueba #1)	(Prueba #2)	(Prueba #3)
5%	30 mm	5	3	3
	60 mm	5	3	3
10%	30 mm	5	3	3
	60 mm	5	3	3
15%	30 mm	5	3	3
	60 mm	5	3	3
Número de muestras a ensayar por prueba		30	18	18
Tamaño total de muestras a ensayar			66	

3.7.3 Diseño de mezcla (proporcionamientos)

De acuerdo a la revisión bibliográfica llevada a cabo, se encontró que, las proporciones que mejores resultados físico-mecánicos han dado a los tabiques de concreto, en combinación con algún polímero (como el PET), es la que utiliza Arrieta y Peñaherrera (2001) la cual es 2:5 (cemento:arena) y la relación agua:cemento es el 50% del volumen del cemento.

Además, de acuerdo a los antecedentes consultados, se puede notar que al trabajar LDPE con arena en la elaboración de tabiques o ladrillos ecológicos, las proporciones empleados por diversos autores abarcan relaciones de entre 25 y 40% de LDPE por arena; sin embargo, al utilizar cemento Portland, estos porcentajes disminuyeron, por lo cual las

relaciones empleadas en este trabajo serán similares; además, con apoyo de los mini bloques se hizo un acercamiento previo a los diseños de mezclas finales.

Las Tablas 3.3 a 3.5, muestran los proporcionamientos para los distintos porcentajes de incorporación de LDPE en combinación con los agregados pétreos para la elaboración de tabiques.

Tabla 3.3 Dosificación de agregados para tabique con sustitución de concreto por LDPE al 5%.

Agregado	Volumen (Cm³)	Peso (gr)
Cemento	391	581
Arena	977	1563
LDPE	72	66
Total:	1440	2210

Tabla 3.4 Dosificación de agregados para tabique con sustitución de concreto por LDPE al 10 %.

Agregado	Volumen (Cm³)	Peso (gr)
Cemento	370	596
Arena	926	1481
LDPE	144	132
Total:	1440	2210

Tabla 3.5 Dosificación de agregados para tabique con sustitución de concreto por LDPE al 15%.

Agregado	Volumen (Cm³)	Peso (gr)
Cemento	350	612
Arena	874	1399
LDPE	216	199
Total:	1440	2210

El agua equivaldrá al 50% del volumen del cemento para cada dosificación (Arrieta y Peñaherrera, 2001).

Es importante mencionar que, no se realizaron ladrillos que contuvieran únicamente concreto como método de comparación con los ladrillos modificados con LDPE, esto debido a que al realizar esto, se incrementaban los costos de materiales empleados en esta investigación; por el contrario, se realizó únicamente la comparación de valores obtenidos en las pruebas de laboratorio de los ladrillos modificados con LDPE, con los valores especificados en las normativas correspondientes.

3.7.4 Mezclado y cimbrado de ladrillos

La incorporación entre los materiales que forman parte de la mezcla (arena, LDPE y cemento Portland) para la elaboración de los ladrillos fue realizada de manera sencilla y práctica, siguiendo de manera ordenada los siguientes pasos.

1. Primeramente, se mezcló la arena con el LDPE de acuerdo a los porcentajes y caracterización de los materiales ya mencionados. La Figura 3.10 muestra la incorporación de la arena con el plástico de las bolsas de LDPE procedente de desecho, para tal finalidad únicamente se hizo uso de una charola y de un cucharón para incorporar estos materiales.



Figura 3.10 Mezcla de LDPE y arena.

2. Una vez incorporada la arena y el LDPE, se agregó la cantidad estipulada de cemento Portland. La Figura 3.11 muestra la mezcla entre los 3 materiales necesarios para la elaboración de ladrillos.



Figura 3.11 Mezcla de LDPE, arena y cemento Portland.

3. Ya agregados los materiales secos, se procedió a verter la cantidad necesaria de agua para mezclar los componentes y dar forma al agregado para la elaboración de los ladrillos. La Figura 3.12 muestra la mezcla final entre todos los agregados necesarios para dar forma a la mezcla de concreto y LDPE.



Figura 3.12 Mezcla total de materiales utilizados para la elaboración de tabiques.

4. Posteriormente, la mezcla fue vertida en un molde de madera con las dimensiones especificadas en la normativa y ya mencionadas con anterioridad, para dar forma a los ladrillos de concreto y LDPE.
5. Para incorporar la mezcla en el molde, se hizo vertiendo la mezcla en 5 tandas calculando que fuera la misma cantidad y dando 15 varillazos punta de bala a la mezcla conforme esta iba siendo introducida en el molde, aunque no hay algún

método de elaboración de ladrillos especificado en alguna norma, este procedimiento se hizo de esta manera ya que al realizar algunos ladrillos se corroboró que era la mejor forma de introducir la mezcla en el molde.

La Figura 3.13 muestra la incorporación de la mezcla en el molde empleado para tal finalidad.



Figura 3.13 Mezcla incorporada en molde empleado para la elaboración de ladrillos.

6. Después, los tabiques fueron descimbrados y colocados en un espacio seco y libre de agentes externos para garantizar un secado seguro. La Figura 3.14 muestra el descimbrado de los tabiques.



Figura 3.14 Descimbrado de tabiques.

7. Finalmente, al cabo de 28 días los ladrillos estuvieron listos para ser sometidos a las pruebas de laboratorio. La Figura 3.15 muestra alguno de los prototipos de ladrillo completamente listo.



Figura 3.15 Ladrillo de concreto modificado con LDPE terminado.

Todos los pasos anteriormente enunciados fueron llevados a cabo de manera ordenada para cada uno de los prototipos elaborados, esto con la finalidad de garantizar que cada uno de estos se creara con los mejores parámetros posibles.

Inclusive, cada uno de los materiales fueron pesados de manera individual para garantizar que cada ladrillo tuviera las cantidades especificadas en el diseño de mezcla.

3.8 Pruebas de laboratorio realizadas a tabiques

3.8.1 Dimensiones estándar para mampostería

La normativa mexicana para mampostería NMX-C-404-ONNCCE-2012 establece dimensiones que deben usarse para la elaboración de tabiques.

La Tabla 3.6 muestra las dimensiones recomendadas para distintos tipos de mampostería.

Se considera que puede haber una tolerancia de ± 3 mm de altura, así como ± 2 de largo y ancho, para cada uno de los elementos mostrados a continuación.

Tabla 3.6 Dimensiones recomendadas para mampostería según normativa mexicana.

Unidad de Mampostería	Medidas en milímetros (mm)		
	Alto	Largo	Ancho (mínimo)
Bloques	200	400	100
Tabiques de arcilla	50	190	100
Tabiques de concreto (tabicón)	60	240	100

Con base en lo que establece la norma, se utilizaron las dimensiones especificadas para el tabique de concreto (tabicón), la cuales según la tabla anterior son 60x100x240 mm. Para realizar la medición correcta de cada uno de los lados de los tabiques elaborados, se hizo uso de las especificaciones contenidas en la norma mexicana para mampostería NMX-C-404-ONNCCE-2012.

3.8.2 Prueba de resistencia a la compresión para mampostería

Para llevar a cabo esta prueba de laboratorio, se siguieron los procedimientos contenidos en las normas mexicanas para mampostería NMX-C-036-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012, dichos procedimientos se resumen de manera general a continuación.

1. Para el cálculo del esfuerzo a la compresión de los ladrillos, se dividió la carga máxima registrada entre el área total transversal de los mismos.
2. Se determinó la sección midiendo el largo y el ancho de la cara sobre la cual aplicaremos la carga.
3. Se colocó una capa de arena fina en la placa inferior de la máquina y sobre esta el tabicón o ladrillo, el cual quedó debidamente centrado. Se puso otra capa de arena fina en la cara superior del ladrillo; esto se hizo para llenar los poros y así llevar a cabo una carga uniforme en todo lo largo y ancho del espécimen.
4. El ensayo fue sobre la cara según se supuso se iba a colocar en la obra. La Figura 3.16 muestra cómo es que se colocó una capa de arena sobre la base de la maquina

universal, para posteriormente ser ensayado el ladrillo a compresión, también se observa una de las placas de acero utilizadas para distribuir de manera uniforme la carga sobre los especímenes.



Figura 3.16 Arena fina colocada sobre la base de la maquina universal.

5. Se colocaron dos placas metálicas sobre el espécimen y se aplicó carga con la máquina hasta que se pudieron registrar los valores. La Figura 3.17a y 3.17b, muestran algunos de los especímenes colocados sobre la capa de arena en la maquina universal para ser ensayados en la prueba de resistencia a la compresión.



Figura 3.17a Especimen colocado sobre la maquina universal previamente a ser ensayado.



Figura 3.17b Especimen colocado sobre la maquina universal siendo ensayado.

La ecuación 3 muestra los parámetros que se evalúan para calcular la resistencia a la compresión en elementos de mampostería.

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

Ecuación 3

Donde:

- f_p : Es el esfuerzo resistente a la compresión en MPa o (kg/cm^2) .
- P : Es la carga máxima en N o (kg) .
- A : Es el área bruta transversal del espécimen en mm^2 (usar cm^2 para el sistema usual).

3.8.3 Prueba de absorción inicial y absorción total de agua para mampostería

3.8.3.1 Absorción inicial de agua para mampostería

Para llevar a cabo esta prueba de laboratorio, se siguieron los procedimientos contenidos en las normas mexicanas para mampostería NMX-C-037-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012, dichos procedimientos se resumen de manera general a continuación.

1. Se pesó cada pieza y se registra como peso inicial cada una de las masas de los tres especímenes en gramos. La Figura 3.18 Muestra alguno de los especímenes pesados para registrar su peso inicial previamente a ser puesto en agua.



Figura 3.18 Registro de peso inicial de ladrillo con ayuda de bascula digital.

2. Se llenó un recipiente con agua de la red municipal.

3. Se puso en contacto el ladrillo de ensayo con el agua en el recipiente sumergiendo una cara de acabado liso de manera tal que quede $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ por debajo del nivel del agua por un periodo de $10 \text{ min} \pm 20 \text{ s}$, contando el tiempo de contacto desde el momento que el espécimen toca la superficie del agua.
4. Durante el período de contacto, se mantuvo el nivel del agua dentro de los límites preestablecidos. La Figura 3.19 muestra uno de los especímenes puesto en un recipiente con agua para ser ensayado en la prueba de absorción inicial. Se utilizó un recipiente transparente para corroborar que en todo momento estuviera el agua en contacto con el ladrillo y que, además, éste estuviera en inmersión de $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de agua en todo momento.



Figura 3.19 Espécimen colocado en recipiente con agua para prueba de absorción inicial.

5. Pasado el tiempo de contacto, se retiró el espécimen, removiendo el exceso de agua de las superficies expuestas con un trapo húmedo, no utilizando más de 15 segundos en esta operación. La Figura 3.20 muestra cómo fue removido el exceso de agua del ladrillo después de estar sumergido en el recipiente con agua durante 10 minutos. El trapo utilizado estaba previamente humedecido.



Figura 3.20 Remoción de exceso de agua por medio de trapo húmedo en ladrillo.

6. Se procedió a pesar nuevamente el espécimen, registrándolo como peso final en gramos. La operación de secado y pesado no se tardó más de 2 min.

Para calcular la absorción inicial se hace uso de la ecuación 4, la cual, se muestra a continuación.

$$C_b = \frac{100M}{s\sqrt{t}} = \frac{100(M_1 - M_s)}{s\sqrt{10}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- C_b : Es el coeficiente de absorción inicial en $g/(cm^2 \times min^{0.5})$
- M : Es la masa del agua absorbida por el bloque durante el ensayo en gramos ($M = M_1 - M_s$).
- M_1 : Es la masa húmeda en gramos (Peso final).
- M_s : Es la masa seca en gramos (Peso inicial).
- S : Es la superficie de la cara sumergida en cm^2 .
- t : Es el tiempo de inmersión en min ($t = 10 \text{ min}$).

La superficie de la cara sumergida se calculará como la proyección horizontal de ésta, sin contar el área vertical perimetral. En el caso de una cara con relieves, calcular la superficie desarrollada de la cara sumergida, es decir, incluyendo planos verticales e inclinados, pero sin contar el área vertical perimetral.

3.8.3.2 Absorción total de agua para mampostería

Para llevar a cabo esta prueba de laboratorio, se siguieron los procedimientos contenidos en las normas mexicanas para mampostería NMX-C-037-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012, dichos procedimientos se resumen de manera general a continuación.

1. Se sumergieron las tres piezas en un recipiente con agua a temperatura ambiente durante 24 horas. La Figura 3.21 muestra un lote de tres especímenes sumergidos totalmente en agua para ser sometidos a la prueba de absorción total durante un periodo de 24 horas.



Figura 3.21 Lote de ladrillos sumergidos en agua para prueba de absorción total.

2. Al cumplirse el tiempo de saturación se sacó del recipiente y se secó superficialmente con una franela previamente humedecida y se pesó para determinar el peso saturado y superficialmente seco.

La Figura 3.22 muestra un espécimen de ladrillo siendo secado con ayuda de una franela húmeda, esto con la finalidad de lograr un estado físico en el espécimen de condición saturado y superficialmente seco en el mismo. Este procedimiento se realizó a cada uno de los especímenes ensayados en esta prueba de laboratorio, considerando las especificaciones de la normativa aplicable.



Figura 3.22 Secado de ladrillo con franela húmeda después de estar sumergido durante 24 horas.

3. Después de obtenerse el peso saturado y superficialmente seco a cada uno de los tabicones, se realizaron los cálculos necesarios.

Para calcular la absorción total en 24 horas se usa la ecuación 5, la cual, se muestra a continuación.

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_{sss} - M_a} * 1000 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- A: Es el volumen de agua absorbida referido al volumen aparente del espécimen en dm^3/m^3 .
- Ms: Es la masa seca del espécimen en *gramos*
- Msss: Es la masa saturada y superficialmente seca en *gramos*
- Ma: Es la masa del espécimen sumergido en agua en *gramos*
- 1000: Es la masa específica del agua (g/l) que se usa como factor para presentar el resultado de absorción en términos de dm^3/m^3 que equivale a *litros por m³*.

Por otro lado, si se desea calcular la absorción total en 24 horas como porcentaje se hará uso de la ecuación 6, la cual, se muestra a continuación.

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- A: Es la absorción en % (en masa).
- Ms: Es la masa seca del espécimen en gramos.
- Msss: Es la masa saturada y superficialmente seca en gramos.

3.8.4 Prueba de resistencia al fuego para mampostería

La norma mexicana NMX-C-307-1987, establece los procedimientos generales a seguir para realizar el ensayo de resistencia al fuego en ladrillos que sea elaborados con materiales diferentes a los tradicionales, como el concreto. Dentro de esta norma, se establece la utilización de diferentes aparatos para tal finalidad, como el horno con capacidad de temperatura controlada; sin embargo, para la realización de esta prueba, no se cuenta con el equipo especificado en la normativa dentro del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Autónoma de Querétaro, de la Facultad de Ingeniería, por lo cual se hizo de algunas metodologías reportadas en la bibliografía, esto para ladrillos que fueron caracterizados en dicha prueba, buscando con ello, algún método de ensayo con el cual se obtuvieron resultados favorables.

En este caso, para la realización de la prueba de resistencia al fuego, se hizo uso de la metodología de ensayo reportada por (Ter, 2010) en su trabajo de caracterización de ladrillos que no son completamente de concreto, lo cual ayudo a establecer una método de ensayo para esta prueba.

En primer lugar, y de acuerdo a la metodología seguida por (Ter, 2010), se debe elegir un dispositivo capaz de emanar una fuente de calor constante, sobre alguna de las caras de los ladrillos, dicho método se hace a manera de simular un incendio o para conocer la capacidad de resistencia al fuego en los ladrillos.

Para esta investigación, se utilizó una estufa tradicional con quemadores con capacidad para transmitir calor o fuego a los ladrillos de manera constante. es importante mencionar que, con ayuda de un termómetro de infrarrojo se controló la temperatura de la llama, esto para lograr que el calor emitido por la estufa fuera emanado a una temperatura

constante sobre los ladrillos durante todo el tiempo de ensayo. La Figura 3.23 muestra la estufa o dispositivo utilizado para emitir calor o fuego a los ladrillos de LDPE.



Figura 3.23 Dispositivo utilizado para prueba de resistencia al fuego en ladrillos.

Para la realización de la prueba, se siguieron una serie de pasos basados en metodologías previas como la ya mencionada del autor (Ter, 2010), a continuación se describen estos procedimientos.

1. En primer lugar, se procedió a encender y a “calibrar” la estufa con ayuda de las perillas de encendido, esto con la finalidad de obtener un valor de temperatura, el cual sería aplicado a todos los especímenes ensayados en esta prueba. La Figura 3.24 muestra el encendido de la estufa, además, con esta imagen se puede observar la cantidad de flama que pudo ser emitido por este dispositivo.
2. Se puede observar también por medio de la imagen que, al utilizar dos quemadores al mismo instante, y con la finalidad de optimizar el tiempo de ensayo de los ladrillos, se buscó que ambos emitieran la misma temperatura a los especímenes, este proceso se logró con ayuda del termómetro de infrarrojo utilizado en la prueba.



Figura 3.24 Encendido y calibrado de dispositivo de calor utilizado en prueba de resistencia al fuego en ladrillos.

3. Después, ya que la estufa estuvo lista, se procedió a colocar cada uno de los especímenes sobre la llama de fuego. Es importante mencionar que, una de las mediciones realizadas a los ladrillos, consta de evaluar la capacidad de soportar el paso de la flama o calor a través de los mismos; por ese motivo, se utilizó una pequeña cantidad de estopa sobre cada uno de los especímenes, esto para evaluar en qué momento el ladrillo pierde su resistencia al calor.

La Figura 3.25 muestra uno de los especímenes colocados junto con la estopa directamente sobre la llama de fuego de la estufa.



Figura 3.25 Especímen sometido a calor directo en prueba de resistencia al fuego.

4. Una vez colocados los especímenes sobre la llama de fuego, se fue midiendo, con ayuda del termómetro de infrarrojo, la temperatura sobre la cara no expuesta directamente a la llama de calor, a intervalos de 5 minutos, en un periodo de 1 hora.
5. Pasada la hora de medición a intervalos de 5 minutos, se dejó el ladrillo sobre la fuente de calor, hasta que se percatara que la estopa colocada sobre los mismos presentara algún gas o llama visible, este fenómeno marco el tiempo máximo de exposición de los ladrillos.

La Figura 3.26 muestra uno de los especímenes, en los que la estopa marca el momento en el que el espécimen deja pasar flujo de calor directo sobre la cara no expuesta directamente a la llama de fuego del ladrillo ensayado, y con ello el tiempo máximo de exposición.



Figura 3.26 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos

Como se ya se mencionó, para poder medir la temperatura de la flama emitida por la estufa y para conocer la temperatura de los ladrillos en diferentes momentos, se hizo uso de un termómetro de infrarrojo de la marca Steren.

La Figura 3.27 muestra el dispositivo utilizado para medir la temperatura por medio de infrarrojo en los tabiques sometidos a calor contante en la prueba de resistencia al fuego, dicho dispositivo, se utilizó para estas pruebas.



Figura 3.27 Termómetro de infrarrojo marca Steren.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de LDPE

En el capítulo 3 de este documento, donde se describe la metodología de este procedimiento, se explica ampliamente los procesos para la obtención de las cantidades necesarias de LDPE para las distintas proporciones de este material en la elaboración de los ladrillos. Sin embargo, con ayuda de la Tabla 4.1 se pueden observar de mejor manera las cantidades empleadas en cada una de las pruebas y para cada uno de los especímenes elaborados.

De esta manera, la cantidad total de material recolectado para esta investigación, y el cual sirvió para elaborar un total de 66 ladrillos de concreto y LDPE, fue de aproximadamente 8.734 kilogramos.

Tabla 4.1 Cantidades de LDPE totales empleadas en ladrillos

Porcentaje de incorporación	Tamaño de partículas	Prueba de laboratorio		
		Compresión	Absorción total e inicial	Resistencia al fuego
5 %	0.30 mm	330 gr	198 gr	198 gr
	0.60 mm	330 gr	198 gr	198 gr
Total parcial		660 gr	396 gr	396 gr
Total general			1452 gr	
10 %	0.30 mm	660 gr	396 gr	396 gr
	0.60 mm	660 gr	396 gr	396 gr
Total parcial		1320 gr	792 gr	792 gr
Total general			2904 gr	
15 %	0.30 mm	995 gr	597 gr	597 gr
	0.60 mm	995 gr	597 gr	597 gr
Total parcial		1990 gr	1194 gr	1194 gr
Total general			4378 gr	
Cantidad total de material empleado			8734 gr	

4.2 Caracterización del agregado fino empleado en la elaboración de tabiques

4.2.1 Densidad y absorción de agregado fino

La determinación de la densidad y absorción de la arena (agregado fino), empleados en la elaboración de los ladrillos, se realizó con ayuda de las recomendaciones emitidas en la normativa NMX-C-165-ONNCCE-2014. En el capítulo de metodología se describe todo el procedimiento necesario para esta finalidad.

Al caracterizar la arena, se obtuvo que el valor de la absorción con la que se trabajó fue de 1.59. Por medio de la ecuación 1 mostrada en el apartado de metodología se obtuvo este valor con ayuda de los siguientes datos.

$$\text{Absorción} = \frac{300 - 295.30}{295.30} * 100 = 1.59 \% \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- P_w : 300 gr
- P_s : 295.3 gr.

Por otro lado, para calcular la densidad o peso específico relativo, se hizo uso de la ecuación 2. Al realizar los cálculos, se obtuvo que el valor de la densidad fue de 2.60. A continuación se muestran los resultados calculados.

$$\text{Densidad} = \frac{300}{(300 + 797.7) - (964.2)} = 2.60 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- M_{sss} : 300 gr.
- M_{pa} : 779.7 gr.
- M_{pma} : 964.2 gr.

4.2.2 Granulometría de agregado fino

4.2.2.1 Tabla con porcentajes de material fino retenido

Una vez realizados los procedimientos contenidos en la norma NMX-C-077-1997-ONNCCE, se obtuvieron los porcentajes de material retenido con ayuda de cada una de las mallas o tamices. La Tabla 4.2 muestra los datos obtenidos durante el ensaye de granulometría de agregado fino.

Tabla 4.2 Granulometría de agregado fino empleado en la elaboración de ladrillos.

Malla No	Masa Retenida	% Retenido	% retenido acumulado	% Que pasa
4	0	0.00	0.00	100.00
8	31.8	6.36	6.36	93.64
16	17.99	3.60	9.96	90.04
30	219.5	43.90	53.86	46.14
50	188.21	37.64	91.50	8.50
100	33.9	6.78	98.28	1.72
200	1.4	0.28	98.56	1.44
pasa 200	7.2	1.44	0.00	0.00
Total	500			

Con ayuda de la tabla anterior, se puede observar que el material predominante es aquel que es retenido en la malla número 30, la cual tiene una abertura de 0.6 mm.

4.2.2.2 Curva granulométrica de agregado fino

Una vez obtenidos los porcentajes de material retenido y acumulado y con ayuda de la Tabla 4.2, se procedió a realizar la curva de granulometría para la arena.

La Figura 4.1 muestra curva granulométrica obtenida para el agregado fino empleado en la elaboración de ladrillos.

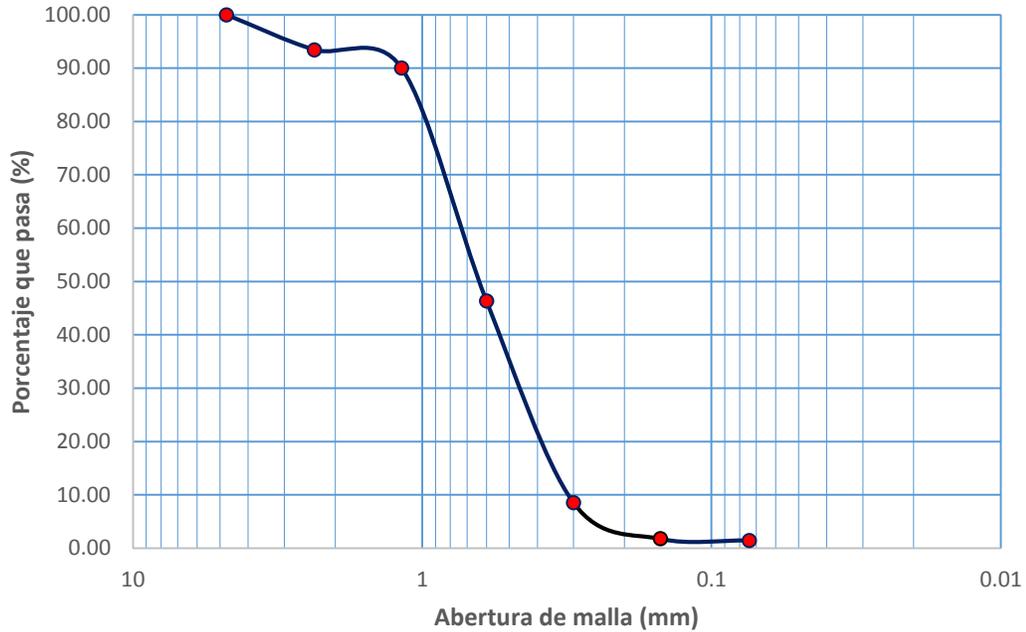


Figura 4.1 Curva granulométrica de arena empleada en ladrillos.

Para conocer si el material es un suelo bien graduado, se hizo uso de las ecuaciones mostradas a continuación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde D_{10} , D_{30} y D_{60} son los tamaños de las partículas para el cual el 10, 30 y 60% en masa del material es menor que esos tamaños, respectivamente, determinados gráficamente de la curva granulométrica.

Por lo tanto, se tiene que:

$$C_u = \frac{0.76}{0.30} = 2.5$$

$$C_c = \frac{(0.48)^2}{0.30 \times 0.73} = 1.01$$

De acuerdo a lo que se puede observar en la gráfica o curva de granulometría, el material empleado tiene una graduación discontinua. Sin embargo, al no existir algún tipo de especificación en normativa de este material para ladrillos no se consideró muy relevante en el análisis final de los resultados.

Es importante señalar que, aunque los datos anteriormente citados, no son de mayor importancia para esta investigación, se precisó conveniente comentarlos, para tener la mayor cantidad de información para el lector de este documento.

4.2.3 Porcentaje de limos y arcillas de agregado fino

Como se comentó en el apartado de metodología, para calcular el porcentaje de limos y arcillas se hizo uso de la ecuación 3. Los datos de entrada fueron los siguientes.

$$\% \text{ de limos y arcillas} = \frac{300 - 295.30}{300} * 100 = \mathbf{1.56}$$

Donde:

- *P.I.C*: 300 gr.

- *P.S.L.C*: 295.30 gr.

De acuerdo a la recomendación emitida por la normativa NMX-C-165-ONNCCE-2014, El % de Limos y Arcillas debe ser < 5% por especificación, por lo que la arena utilizada para los ladrillos, cumple con dicha recomendación.

4.3 Prueba de resistencia a la compresión

4.3.1 Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %

4.3.1.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Al realizar la prueba de compresión, y elaborar las operaciones, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.3, la cual contiene los datos necesarios para conocer la capacidad de resistencia a la compresión de ladrillos con 5 % de incorporación de LDPE y tamaños de partículas de 0.30 mm.

Es importante mencionar que, para cada una de las pruebas de laboratorio realizadas a los ladrillos modificados con LDPE y concreto se realizaron los análisis correspondientes.

Tabla 4.3 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Área (cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	248.88	272.48	10.95
2	245.34	275.15	11.22
3	243.49	279.15	11.46
4	243.99	278.55	11.42
5	245.30	274.13	11.18
Promedios	245.40	275.89	11.24

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.3 y procesada la información, se procedió a generar la Figura 4.2, la cual contiene información detallada sobre los cinco especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de los mismos, dicho promedio se comparará más adelante con lo que especifica la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos ecológicos.

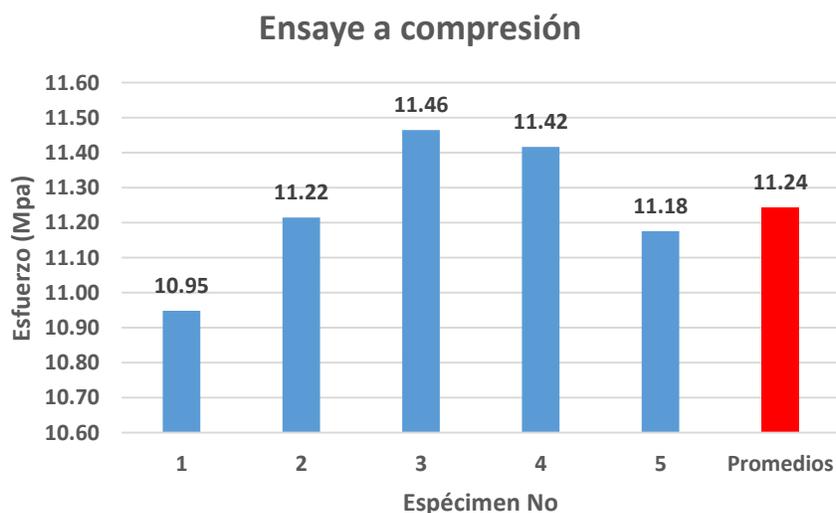


Figura 4.2 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede concluir que el espécimen número tres es el que presenta mayor resistencia con un valor de 11.46 Mpa, y también que el promedio de resistencias es un valor de 11.24 Mpa, lo cual es un resultado cercano al máximo obtenido.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo I.

4.3.1.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Los datos registrados y calculados para el tamaño de partículas de 0.60 mm son los que se presentan en la Tabla 4.4, la cual contiene la información necesaria para obtener el valor de resistencia de cada espécimen.

Tabla 4.4 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Especimen N°	Área (cm²)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	250.90	271.27	10.81
2	245.61	274.15	11.16
3	246.30	278.16	11.29
4	250.16	275.87	11.03
5	248.02	269.16	10.85
Promedios	248.20	273.72	11.03

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.4, se procedió a elaborar la Figura 4.3, la cual contiene información detallada sobre los cinco especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de estos, dicho promedio se utilizará más adelante para comparar el valor con lo que especifica la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos ecológicos.

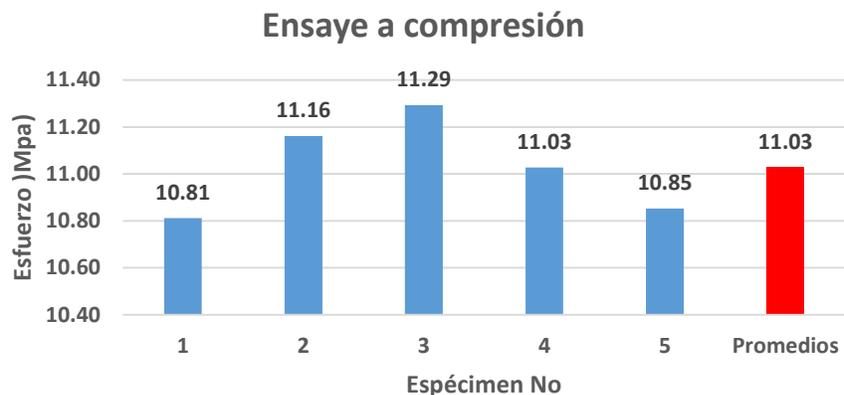


Figura 4.3 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede concluir que el espécimen número tres es el que presenta mayor resistencia con un valor de 11.29 Mpa, y también que el promedio de resistencias es un valor de 11.03 Mpa, lo cual es un resultado cercano al máximo obtenido.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo I.

4.3.2 Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %

4.3.2.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Una vez más al realizar la prueba de compresión en laboratorio, y elaborar las operaciones correspondientes, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.5, la cual contiene los datos necesarios para conocer la capacidad de resistencia a la compresión de ladrillos con 10 % de incorporación de LDPE y tamaños de partículas de 0.30 mm.

Tabla 4.5 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Área (cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	252.71	248.10	9.82
2	255.19	254.16	9.96
3	252.32	252.18	9.99

4	249.38	249.78	10.02
5	246.22	255.29	10.37
Promedios	251.16	251.90	10.03

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.5 y procesada la información, se procedió a generar la Figura 4.4, la cual contiene información detallada sobre los cinco especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de los mismos, dicho promedio se comparará más adelante con lo que especifica la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos ecológicos.

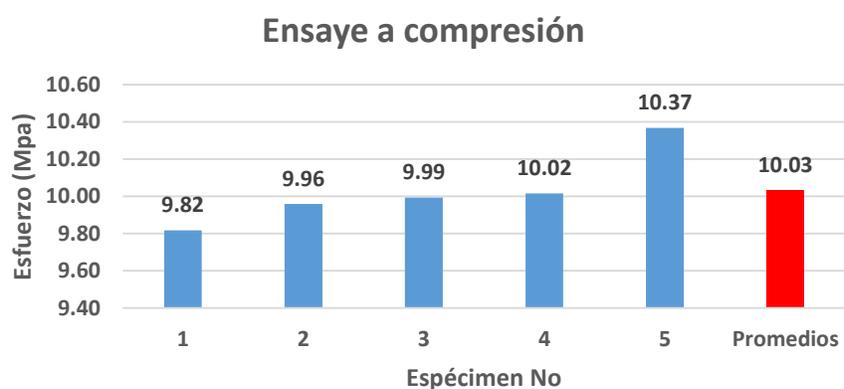


Figura 4.4 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede concluir que el espécimen número cinco es el que presenta mayor resistencia con un valor de 10.37 Mpa, y también que el promedio de resistencias es un valor de 10.03 Mpa, lo cual es un resultado cercano al máximo obtenido.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo I.

4.3.2.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Los datos registrados y calculados para el tamaño de partículas de 0.60 mm son los que se presentan en la Tabla 4.6, la cual contiene la información necesaria para obtener el valor de resistencia de cada espécimen.

Tabla 4.6 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Área (cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	245.71	242.25	9.86
2	245.95	249.16	10.13
3	245.06	248.39	10.14
4	245.34	238.26	9.71
5	245.67	239.56	9.75
Promedios	245.55	243.52	9.92

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.6, se procedió a elaborar la Figura 4.5, la cual contiene información detallada sobre los cinco especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de estos, dicho promedio se utilizará más adelante para comparar el valor con lo que especifica la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos ecológicos.

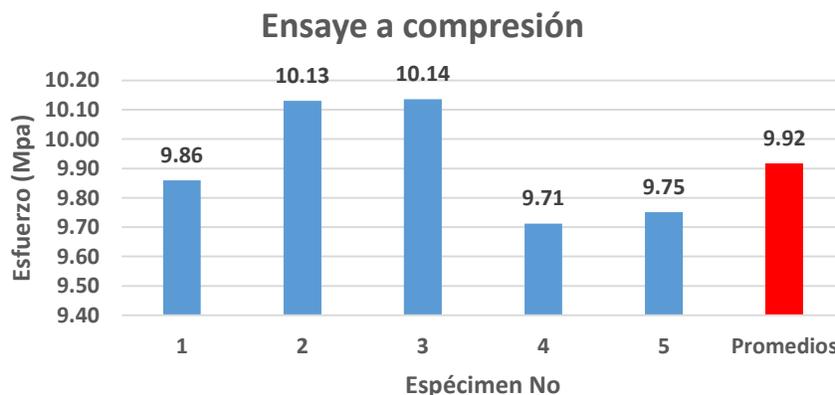


Figura 4.5 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede concluir que el espécimen número tres es el que presenta mayor resistencia con un valor de 10.14 Mpa, y también que el promedio de resistencias es un valor de 9.92 Mpa, lo cual es un resultado cercano al máximo obtenido.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo I.

4.3.3 Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %

4.3.3.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Una vez que los ladrillos fueron sometidos a la prueba de compresión en laboratorio, fue entonces que se realizaron las operaciones correspondientes y con ello, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.7, la cual contiene los datos necesarios para conocer la capacidad de resistencia a la compresión de ladrillos con 15 % de incorporación de LDPE y tamaños de partículas de 0.30 mm.

Tabla 4.7 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Especimen N°	Área (cm²)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	255.51	211.84	8.29
2	248.59	219.26	8.82
3	250.75	215.16	8.58
4	246.79	214.58	8.69
5	247.71	215.59	8.70
Promedios	249.87	215.29	8.62

Una vez realizada la Tabla 4.7 y procesada la información, se procedió a generar la Figura 4.6, la cual contiene información detallada sobre los cinco especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de los mismos, dicho promedio se comparará más adelante con lo que especifica la normativa y con los diferentes porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos.

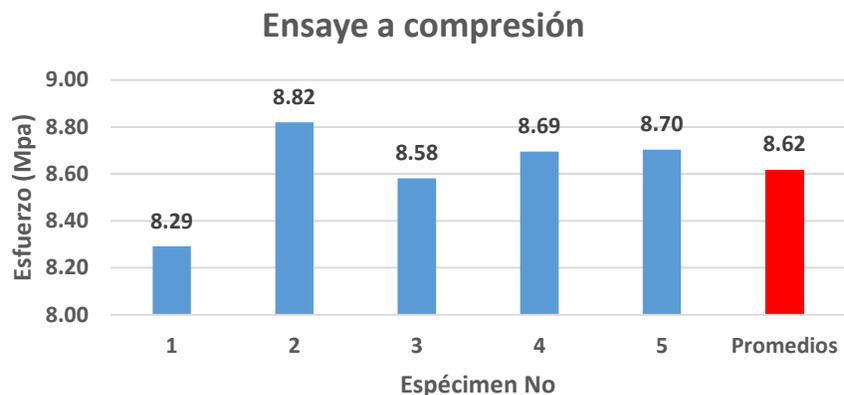


Figura 4.6 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede concluir que el espécimen número dos es el que presenta mayor resistencia con un valor de 8.82 Mpa, y también que el promedio de resistencias es un valor de 8.62 Mpa, lo cual es un resultado cercano al máximo obtenido.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo I.

4.3.3.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Los datos registrados y calculados para el tamaño de partículas de 0.60 mm son los que se presentan en la Tabla 4.8, la cual contiene la información necesaria para obtener el valor de resistencia de cada espécimen.

Tabla 4.8 Resumen de datos obtenidos en prueba de compresión a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Área (cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
1	245.43	210.25	8.57
2	246.52	214.58	8.70
3	246.75	214.56	8.70
4	251.40	205.36	8.17
5	249.45	212.35	8.51
Promedios	247.91	211.42	8.53

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.8, se realizó la Figura 4.7, la cual contiene información detallada sobre los cinco especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido, este valor se utilizará más adelante para ser comparado con lo que se especifica en la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación de LDPE.

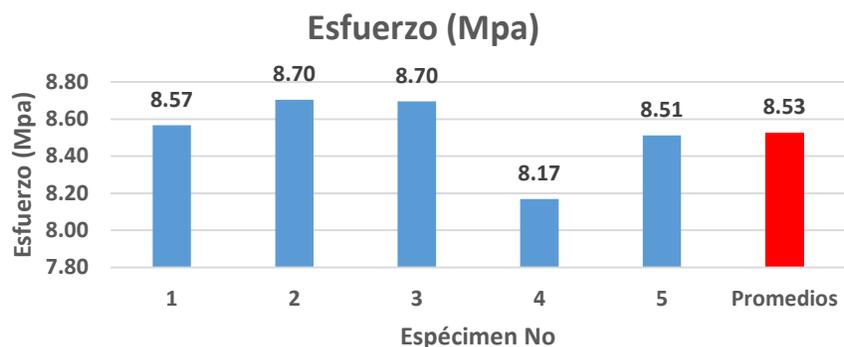


Figura 4.7 Resistencia a la compresión individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede concluir que el espécimen número tres es el que presenta mayor resistencia con un valor de 11.29 Mpa, y también que el promedio de resistencias es un valor de 11.03 Mpa, lo cual es un resultado cercano al máximo obtenido.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo I.

4.3.4 Comparación de resultados promedio con valor especificado en normativa

Con base en los resultados obtenidos para los distintos porcentajes de incorporación de LDPE en la prueba de resistencia a la compresión, se realizó un análisis comparativo para poder emitir un resultado cuantitativo.

Se procedió a generar una tabla resumen con los diferentes resultados presentados con anterioridad, para posteriormente generar una gráfica, y con ello poder visualizar de mejor manera la concentración de los resultados.

La Tabla 4.9 presenta el resumen de los resultados promedio de los diferentes porcentajes de incorporación junto con los tamaños de partículas de LDPE incorporados a los ladrillos.

Adjunto a estos números, se adiciona el valor de referencia especificado en la normativa NMX-C-036-ONNCCE-2013 para el coeficiente de absorción inicial que deberían tener los ladrillos de uso estructural en el ensayo de laboratorio a compresión.

Tabla 4.9 Resumen de resultados promedio de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE comparados con normativa, en prueba de compresión.

Valores promedio			
Porcentaje y Tamaño de LDPE	Área (cm²)	Carga (KN)	Esfuerzo (Mpa)
5 % (0.30mm)	245.40	275.89	11.24
5 % (0.60mm)	248.20	273.72	11.03
10 % (0.30mm)	251.16	251.90	10.03
10 % (0.60mm)	245.55	243.52	9.92
15 % (0.30mm)	249.87	215.29	8.62
15 % (0.60mm)	247.91	211.42	8.53
NORMATIVA	240.00	-	11.00

Los datos registrados ayudaron a crear una gráfica que presenta de mejor manera la concentración de los datos, así mismo al visualizar los valores comparados con la normativa, se puede obtener un análisis de los resultados obtenidos en comparación con el valor de referencia tomado de la normativa ya citada.

La Figura 4.8 muestra de manera gráfica los resultados promedio de la prueba de compresión obtenidos para cada uno de los valores de incorporación de LDPE en conjunto con el tamaño de partículas utilizado en la elaboración de ladrillos.

Dichos valores se compararon con el parámetro especificado en la normativa correspondiente, le cual se comenta más adelante.

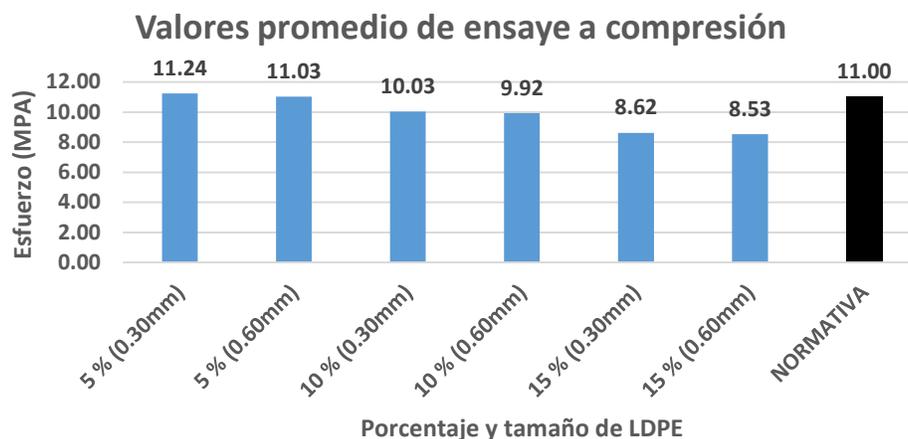


Figura 4.8 Resistencia a la compresión promedio en ladrillos comparado con el valor especificado en normativa.

Con ayuda de la gráfica mostrada en la Figura 4.8, se puede observar que el valor de referencia que especifica la normativa, como resistencia a la compresión en ladrillos puramente de concreto es de 11.00 Mpa.

Al comparar este valor, con el de los resultados de las pruebas de compresión en los ladrillos elaborados con LDPE procedente de desecho, se puede observar que al integrar el 5 % de este material como agregado a los compuestos normalmente utilizados en la elaboración de ladrillos, en tamaños de partículas en intervalo de 0.30 a 0.60 mm, se obtiene un valor de resistencia muy similar al que se especifica en la normativa. Por otro lado, se puede notar que al integrar un porcentaje de LDPE mayor al del 5%, la resistencia en los ladrillos va decreciendo de manera gradual, en un intervalo de 1 a 2 Mpa de resistencia promedio.

Se puede observar también que, al reducir el tamaño de las partículas de LDPE. en este caso de 0.60 a 0.30 mm, la resistencia de los ladrillos aumenta un poco a comparación de cuando se utiliza un tamaño de partícula de LDPE más grande.

4.4 Prueba de absorción inicial de agua

4.4.1 Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %

4.4.1.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Al realizar la prueba de absorción inicial, y elaborar las operaciones correspondientes, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.10, la cual contiene los datos necesarios para conocer la capacidad de absorción inicial de ladrillos con 5 % de incorporación de LDPE y tamaños de partículas de 0.30 mm.

Tabla 4.10 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Superficie Sumergida (cm ²)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	243.99	2226.40	2285.30	7.63
2	245.95	2218.70	2277.40	7.55
3	246.33	2236.50	2297.60	7.84
Promedios	245.42	2227.20	2286.77	7.67

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.10 y procesada la información, se procedió a generar la Figura 4.9, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de los mismos.

Dicho promedio se comparará más adelante con lo que especifica la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos ecológicos.

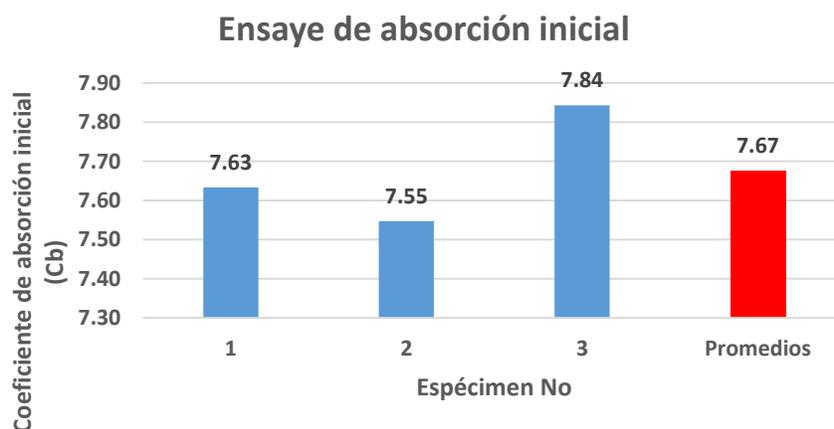


Figura 4.9 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede concluir que el espécimen número uno es el que más se acerca al valor promedio de absorción inicial, el cual tiene un valor de 7.63 U, y también que el valor más alto es el del espécimen número 3 con un valor de 7.84, lo cual se aleja del promedio. Por otro lado, el valor promedio tiene un número de 7.67 unidades.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo II.

4.4.1.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Los datos registrados y calculados para el tamaño de partículas de 0.60 mm son los que se presentan en la Tabla 4.11, la cual contiene la información necesaria para obtener el valor de absorción inicial de cada espécimen.

Tabla 4.11 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Especimen N°	Superficie Sumergida (cm ²)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	245.12	2219.20	2272.20	6.84
2	248.14	2216.10	2265.30	6.27
3	247.64	2234.70	2289.50	7.00
Promedios	246.97	2223.33	2275.67	6.70

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.11, se procedió a elaborar la Figura 4.10, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de estos.

Los valores promedio serán utilizados más adelante para ser comparados con el valor que se encuentra específico en la normativa correspondiente; además, serán comparados también con los valores obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas a los ladrillos con cada uno de los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en las muestras.

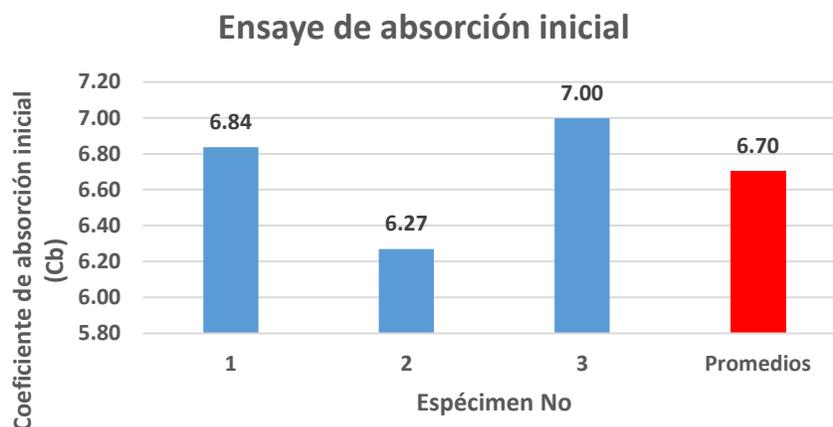


Figura 4.10 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número tres es el que presenta mayor absorción inicial con un valor de 7.00 unidades, y también que el promedio de absorción inicial es de 6.70 unidades, también se puede notar que el valor más pequeño es el de 6.27, del espécimen número dos.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo II.

4.4.2 Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %

4.4.2.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Tal y como se hizo con las pruebas anteriores, una vez más, al realizar la prueba de absorción inicial, y elaborar las operaciones correspondientes, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.12, la cual contiene los datos necesarios y requeridos para conocer la capacidad de absorción inicial de ladrillos con 10 % de incorporación de LDPE y tamaños de partículas de 0.30 mm.

Tabla 4.12 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Superficie Sumergida (cm ²)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	244.40	2242.20	2310.30	8.81
2	245.43	2235.70	2306.10	9.07
3	250.74	2216.40	2281.10	8.16
Promedios	246.85	2231.43	2299.17	8.68

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.5 y procesada la información, se procedió a generar la Figura 4.11, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de los mismos, dicho promedio se comparará más adelante con lo que especifica la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos ecológicos.

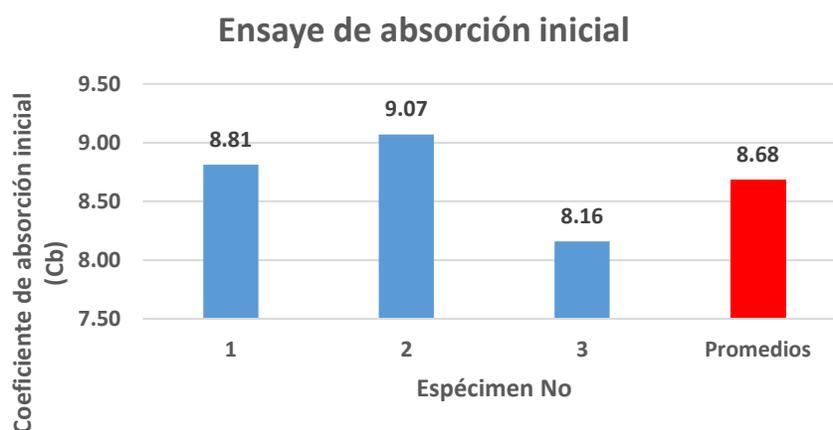


Figura 4.11 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número dos es el que presenta mayor absorción inicial con un valor de 9.07 unidades, y también que el promedio de absorción inicial es de 8.68 unidades; además, se puede notar que el valor más pequeño es el de 8.16, del espécimen número tres.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo II.

4.4.2.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Los datos registrados y calculados para el tamaño de partículas de 0.60 mm son los que se presentan en la Tabla 4.13, la cual contiene la información necesaria para obtener el valor de absorción inicial de cada espécimen.

Tabla 4.13 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Superficie Sumergida (cm ²)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	245.22	2231.20	2296.70	8.45
2	245.35	2214.10	2280.50	8.56
3	247.09	2225.80	2293.70	8.69
Promedios	245.89	2223.70	2290.30	8.56

Una vez calculados los datos de la Tabla 4.13, se procedió a elaborar la Figura 4.12, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de estos, dicho promedio se utilizará más adelante para comparar el valor con lo que especifica la normativa.

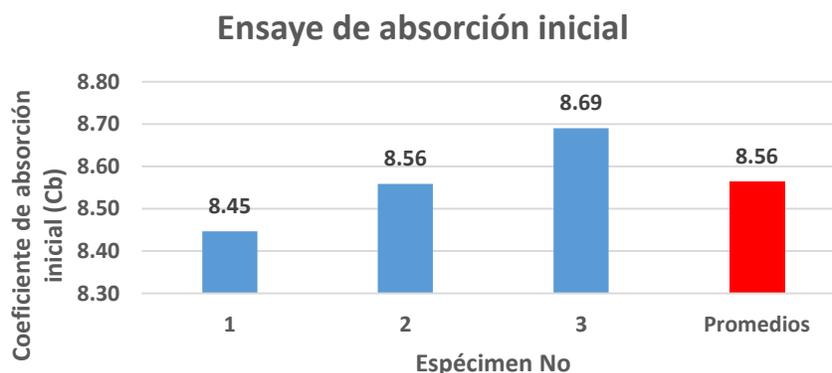


Figura 4.12 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número tres es el que presenta mayor absorción inicial con un valor de 8.69 unidades, y también que el promedio de absorción inicial es de 8.56 unidades; además, se puede notar que el valor más pequeño es el de 8.45, del espécimen número uno.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo II.

4.4.3 Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %

4.4.3.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Una vez que los ladrillos fueron sometidos a la prueba de absorción inicial en laboratorio, fue entonces que se realizaron las operaciones correspondientes y con ello, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.14, la cual contiene los datos necesarios para conocer la capacidad de absorción inicial de ladrillos con 15 % de incorporación de LDPE y tamaños de partículas de 0.30 mm.

Tabla 4.14 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Superficie Sumergida (cm ²)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	245.64	2216.10	2308.20	11.86
2	253.58	2221.50	2317.30	11.95
3	249.54	2214.60	2298.20	10.59
Promedios	249.59	2217.40	2307.90	11.47

Una vez realizada la Tabla 4.14 y procesada la información, se procedió a generar la Figura 4.13, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de los mismos, dicho promedio se comparará más adelante con lo que especifica la normativa y con los diferentes porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos.

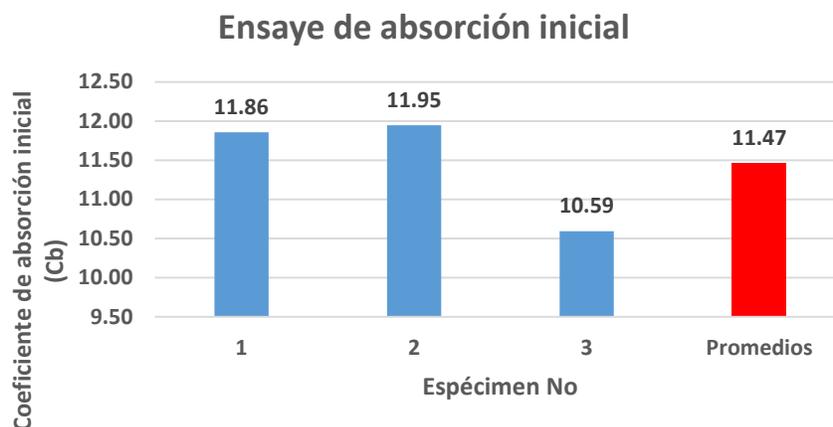


Figura 4.13 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número tres es el que presenta menor absorción inicial con un valor de 10.59 unidades, también que el valor más alto es el de 11.95 del espécimen número dos. Por otro lado, el promedio de absorción inicial es de 11.47 unidades.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo II.

4.4.3.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Los datos registrados y calculados para el tamaño de partículas de 0.60 mm son los que se presentan en la Tabla 4.15, la cual contiene la información necesaria para obtener el valor de absorción inicial de cada espécimen.

Tabla 4.15 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción inicial a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Superficie Sumergida (cm ²)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	244.62	2215.10	2301.90	11.22
2	245.61	2216.16	2298.50	10.60
3	250.45	2215.35	2300.17	10.71
Promedios	246.89	2215.54	2300.19	10.84

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.15, se realizó la Figura 4.14, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido, este valor se utilizará más adelante para ser comparado con lo que se especifica en la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos ecológicos.

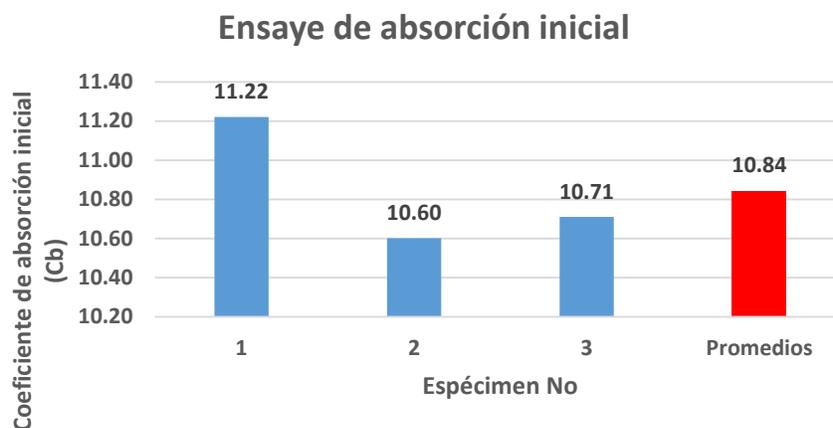


Figura 4.14 Absorción inicial individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número dos es el que presenta menor absorción inicial con un valor de 10.60 unidades, también que el valor más alto es el de 11.22, del espécimen número uno. Por otro lado, el promedio de absorción inicial es de 10.84 unidades.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo II.

4.4.4 Comparación de resultados promedio con valor especificado en normativa

Con ayuda de los resultados obtenidos en la prueba de absorción inicial, para los distintos porcentajes de incorporación de LDPE, se llevó a cabo un análisis comparativo para poder emitir un resultado cuantitativo sobre la etapa de experimentación de los ladrillos de concreto con LDPE.

Se procedió a generar una tabla con los datos más importantes de los diferentes resultados presentados con anterioridad. Esto se hizo así, para posteriormente crear una gráfica a manera de resumen, y con ello poder visualizar de mejor manera la concentración de los resultados.

La Tabla 4.16 presenta el resumen de los resultados promedio de los diferentes porcentajes de incorporación en conjunto con los diferentes tamaños de partículas de LDPE incorporados a los ladrillos. Como complemento a estos valores numéricos, se adjunta el valor de referencia especificado en la normativa NMX-C-037-ONNCCE-2013 para la resistencia que deberían tener los ladrillos de uso estructural en el ensayo de laboratorio a compresión.

Tabla 4.16 Resumen de resultados promedio de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE comparados con normativa, en prueba de absorción inicial.

Valores promedio				
Porcentaje y Tamaño de LDPE	Superficie Sumergida (cm²)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
5 % (0.30mm)	245.42	2227.20	2286.77	7.67
5 % (0.60mm)	246.97	2223.33	2275.67	6.70
10 % (0.30mm)	246.85	2231.43	2299.17	8.68
10 % (0.60mm)	245.89	2223.70	2290.30	8.56
15 % (0.30mm)	249.59	2217.40	2307.90	11.47
15 % (0.60mm)	246.89	2215.54	2300.19	10.84
NORMATIVA	240.00	-	-	7.50

Los datos registrados ayudaron a crear una gráfica que presenta de mejor manera la concentración de los datos, así mismo al visualizar los valores comparados con la normativa, se puede obtener un análisis de los resultados obtenidos en comparación con el valor de referencia tomado de la normativa ya citada.

La Figura 4.15 muestra de manera gráfica los resultados promedio de la prueba de absorción inicial obtenidos para cada uno de los valores de incorporación de LDPE en conjunto con el tamaño de partículas utilizado en la elaboración de ladrillos.

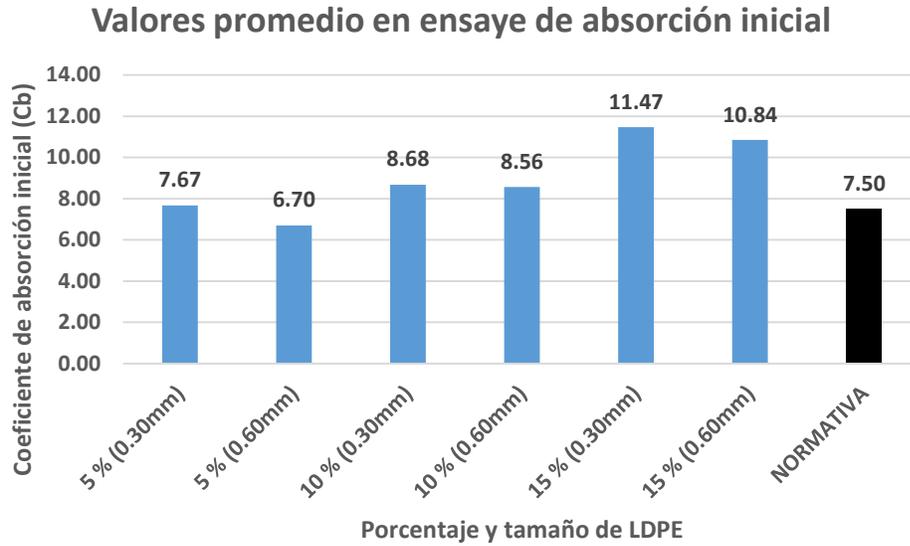


Figura 4.15 Coeficiente de absorción inicial promedio en ladrillos comparado con el valor especificado en normativa.

Con base en los resultados mostrados por medio de la gráfica mostrada en la Figura 4.15, se puede notar que el valor de referencia que especifica la normativa, como coeficiente de absorción inicial en ladrillos puramente de concreto es de 7.50 Unidades. Al comparar este valor, con el de los resultados de las pruebas de absorción inicial en los ladrillos elaborados con LDPE procedente de desecho, se puede observar que al integrar el 5 % de este material como agregado a los compuestos normalmente utilizados en la elaboración de ladrillos, en tamaños de partículas de 0.30 mm, se obtiene un valor de coeficiente de absorción inicial de 7.67 unidades, el cual es muy similar al que se especifica en la normativa.

Por otro lado, se puede ver que al incorporar un porcentaje de LDPE mayor al del 5%, el valor del coeficiente de absorción inicial en los ladrillos va aumentando, lo cual resulta en un fenómeno no favorable a lo que se dicta en la normativa comparándolo con el valor de referencia.

El tener un coeficiente de absorción inicial mayor en los ladrillos, al que se especifica, puede derivar en que los ladrillos absorban demasiada agua y en un determinado momento esto contribuya a su fractura o falla estructural debido al exceso de humedad.

Otro fenómeno observable gracias a los resultados gráficos obtenidos en la Figura 4.15, es que al reducir el tamaño de las partículas de LDPE. en este caso de 0.60 a 0.30 mm, el coeficiente de absorción de los ladrillos aumenta un poco a comparación de cuando se utiliza un tamaño de partícula de LDPE más grande.

4.5 Prueba de absorción total de agua

4.5.1 Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %

4.5.1.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Al realizar la prueba de absorción total, tal y como se mencionó en el apartado de metodología, y obtener los resultados correspondientes, se procedió a elaborar las operaciones correspondientes, con ello se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 4.17, la cual contiene los datos necesarios para conocer la capacidad de absorción total de ladrillos con 5 % de incorporación de LDPE y tamaños de partículas de 0.30 mm.

Tabla 4.17 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Absorción (%)
1	2226.40	2495.10	12.07
2	2218.70	2504.50	12.88
3	2236.50	2516.80	12.53
Promedios	2227.20	2505.47	12.49

Una vez obtenidos los datos de la Tabla mostrada anteriormente, y procesada la información, se procedió a generar la Figura 4.16, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de los mismos, dicho promedio se comparará más adelante con lo que especifica la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos ecológicos.

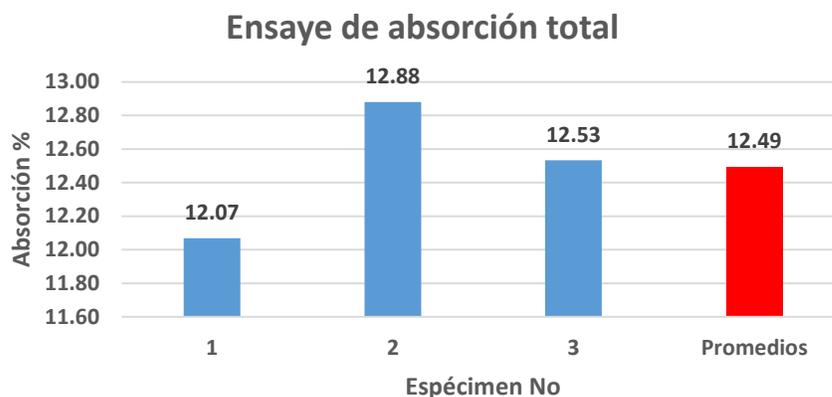


Figura 4.16 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede concluir que el espécimen número tres es el que más se acerca al valor promedio de absorción total, el cual tiene un valor de 12.53 %, y también que el valor más alto es el del espécimen número dos con un valor de 12.88 %, lo cual se aleja del promedio. Por otro lado, el valor promedio tiene un numero de 12.49 %.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo III.

4.5.1.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Los datos registrados y calculados para el tamaño de partículas de 0.60 mm son los que se presentan en la Tabla 4.18, la cual muestra la información necesaria para obtener el valor de absorción total de cada uno de los tres especímenes ensayados en el laboratorio.

Tabla 4.18 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Especimen N°	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Absorción (%)
1	2219.20	2485.80	12.01
2	2216.10	2495.60	12.61
3	2234.70	2488.30	11.35
Promedios	2223.33	2489.90	11.99

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.18, se procedió a elaborar la Figura 4.17, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de estos, dichos valores se utilizarán más adelante para compararlos con lo que se especifica en la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos ecológicos.

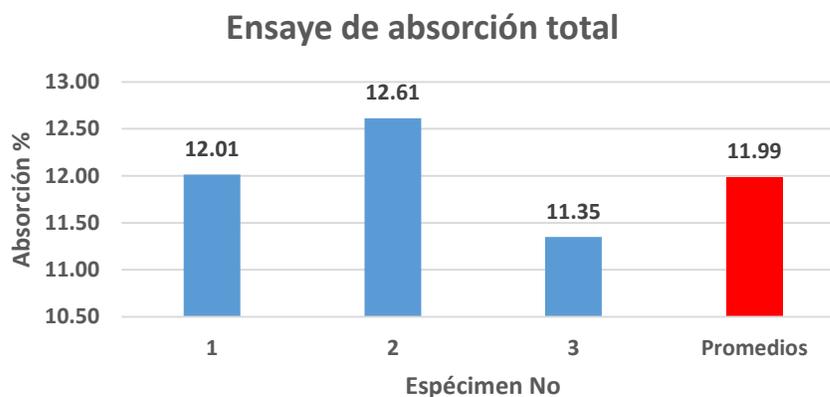


Figura 4.17 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número dos es el que presenta mayor absorción total con un valor de 12.61 %, y también que el promedio de absorción total es de 11.99 %, también se puede notar que el valor más pequeño es el de 11.35 % del espécimen número tres.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo III.

4.5.2 Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %

4.5.2.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Una vez más, al realizar la prueba de absorción total, y elaborar las operaciones correspondientes, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.19, la cual contiene los datos necesarios para conocer la capacidad de absorción total de ladrillos con 10 % de incorporación de LDPE y tamaños de partículas de 0.30 mm.

Tabla 4.19 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Absorción (%)
1	2242.20	2608.10	16.32
2	2235.70	2625.40	17.43
3	2216.40	2598.80	17.25
Promedios	2231.43	2610.77	17.00

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.19 y procesada la información, se procedió a generar la Figura 4.18, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de los mismos, dicho promedio será comparado con lo que se especifica la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos.

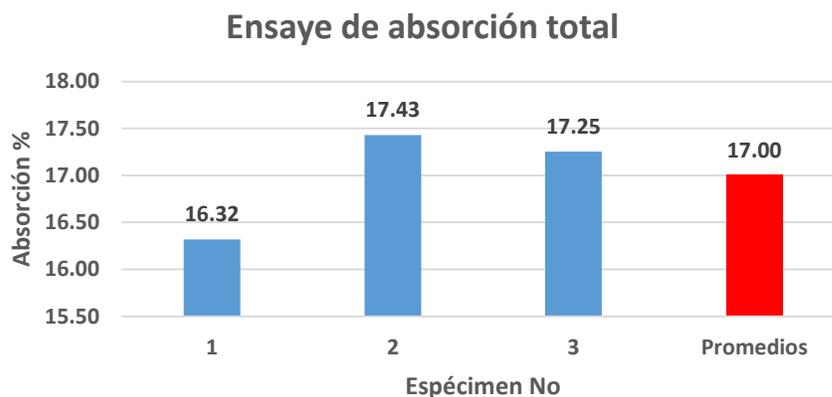


Figura 4.18 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número dos es el que presenta mayor absorción total con un valor de 17.43 %, y también que el promedio de absorción total es de 17.00 %; además, se puede notar que el valor más pequeño es el de 16.32 % del espécimen número uno.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo III.

4.5.2.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Los datos registrados y calculados para el tamaño de partículas de 0.60 mm son los que se presentan en la Tabla 4.20, la cual contiene la información necesaria para obtener el valor de absorción inicial de cada espécimen.

Tabla 4.20 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Absorción (%)
1	2231.20	2595.15	16.31
2	2214.10	2568.70	16.02
3	2225.80	2601.70	16.89
Promedios	2223.70	2588.52	16.41

Una vez calculados los datos de la Tabla 4.20, se procedió a elaborar la Figura 4.19, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de estos, dicho promedio se utilizará más adelante para comparar el valor con lo que especifica la normativa.

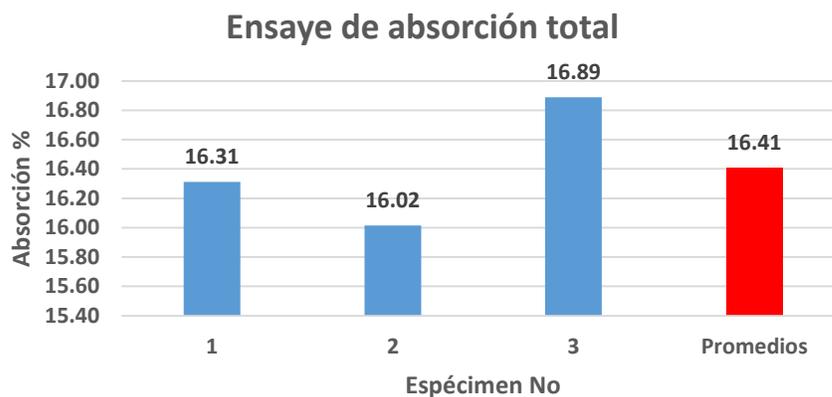


Figura 4.19 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número tres es el que presenta mayor absorción total con un valor de 16.89 %, y también que el promedio de absorción total es de 16.41 %; además, se puede notar que el valor más pequeño es el de 16.02 %, del espécimen número dos.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo III.

4.5.3 Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %

4.5.3.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Una vez que los ladrillos fueron sometidos a la prueba de absorción total en laboratorio, fue entonces que se realizaron las operaciones correspondientes y con ello, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.21, la cual contiene los datos necesarios para conocer la capacidad de absorción total de ladrillos con 15 % de incorporación de LDPE y tamaños de partículas de 0.30 mm.

Tabla 4.21 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Especimen N°	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Absorción (%)
1	2216.10	2650.50	19.60
2	2221.50	2675.80	20.45
3	2214.60	2668.90	20.51
Promedios	2217.40	2665.07	20.19

Una vez realizada la Tabla 4.21 y procesada la información, se procedió a generar la Figura 4.20, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido de los mismos, dicho promedio se comparará más adelante con lo que especifica la normativa y con los diferentes porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos.

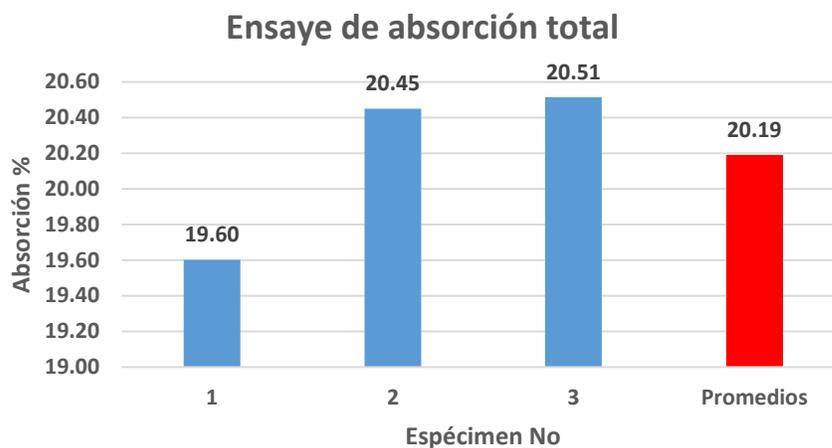


Figura 4.20 Absorción total y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número uno es el que presenta menor absorción total con un valor de 19.60 %, también que el valor más alto es el de 20.51 % del espécimen número dos. Por otro lado, el promedio de absorción total es de 20.19 %.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo III.

4.5.3.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Los datos registrados y calculados para el tamaño de partículas de 0.60 mm son los que se presentan en la Tabla 4.22, la cual contiene la información necesaria para obtener el valor de absorción total de cada espécimen.

Es importante mencionar que, solamente siguiendo los procedimientos especificados en la normativa aplicable, es que se pudieron obtener estos resultados.

Tabla 4.22 Resumen de datos obtenidos en prueba de absorción total a ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Espécimen N°	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Absorción (%)
1	2215.10	2631.70	18.81
2	2216.16	2598.10	17.23
3	2215.35	2622.50	18.38
Promedios	2215.54	2617.43	18.14

Una vez obtenidos los datos de la Tabla 4.22, se realizó la Figura 4.21, la cual contiene información detallada sobre los tres especímenes ensayados en laboratorio, así como del promedio obtenido, este valor se utilizará más adelante para ser comparado con lo que se especifica en la normativa y con los distintos porcentajes de incorporación y tamaños de LDPE agregados en los ladrillos.

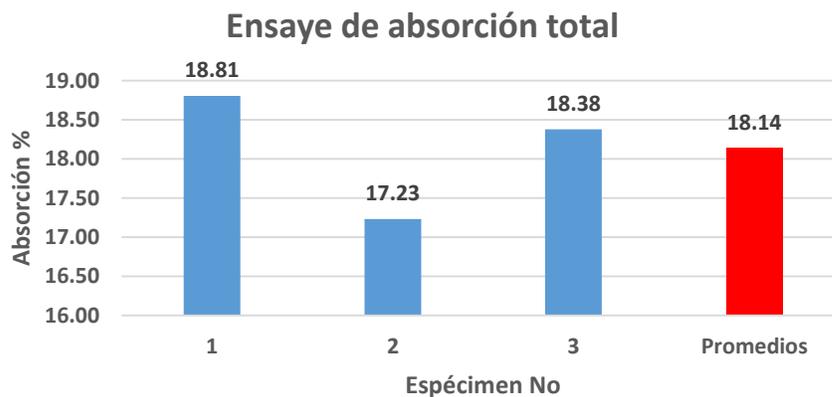


Figura 4.21 Absorción total individual y promedio en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la gráfica anterior, se puede observar que el espécimen número dos es el que presenta menor absorción inicial con un valor de 17.23 %, también que el valor más alto es el de 18.81 % del espécimen número tres. Por otro lado, el promedio de absorción inicial es de 18.14 %.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo III.

4.5.4 Comparación de resultados promedio con valor especificado en normativa

Con ayuda de los resultados obtenidos en la prueba de laboratorio de absorción total, para los distintos porcentajes de incorporación de LDPE, se llevó a cabo un análisis comparativo para poder emitir un resultado cuantitativo sobre la etapa de experimentación de los ladrillos de concreto con LDPE.

Se creó una tabla con los datos más importantes de los diferentes resultados presentados con anterioridad. Esto se hizo así, para posteriormente crear una gráfica a manera de resumen, y con ello poder visualizar de mejor manera la concentración de los resultados generales por promedios.

La Tabla 4.23 presenta el resumen de los resultados promedio de los diferentes porcentajes de incorporación en conjunto con los diferentes tamaños de partículas de LDPE incorporados a los ladrillos.

Como complemento a estos valores numéricos, se adjunta el valor de referencia especificado en la normativa NMX-C-037-ONNCCE-2013 para la absorción total que deberían tener los ladrillos de uso estructural que pretendan ser utilizados en la industria de la construcción.

Tabla 4.23 Resumen de resultados promedio de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE comparados con normativa, en prueba de absorción total.

Porcentaje y Tamaño de LDPE	Valores promedio		
	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Absorción (%)
5 % (0.30mm)	2227.20	2505.47	12.49
5 % (0.60mm)	2223.33	2489.90	11.99
10 % (0.30mm)	2231.43	2610.77	17.00
10 % (0.60mm)	2223.70	2588.52	16.41
15 % (0.30mm)	2217.40	2665.07	20.19
15 % (0.60mm)	2215.54	2617.43	18.14
NORMATIVA	-	-	12.00

Los datos registrados ayudaron a crear una gráfica que presenta de mejor manera la concentración de los datos, así mismo al visualizar los valores comparados con la normativa, se puede obtener un análisis de los resultados obtenidos en comparación con el valor de referencia tomado de la normativa ya citada.

La Figura 4.22 muestra de manera gráfica los resultados promedio de la prueba de absorción total obtenidos para cada uno de los valores de incorporación de LDPE en conjunto con el tamaño de partículas utilizado en la elaboración de ladrillos.

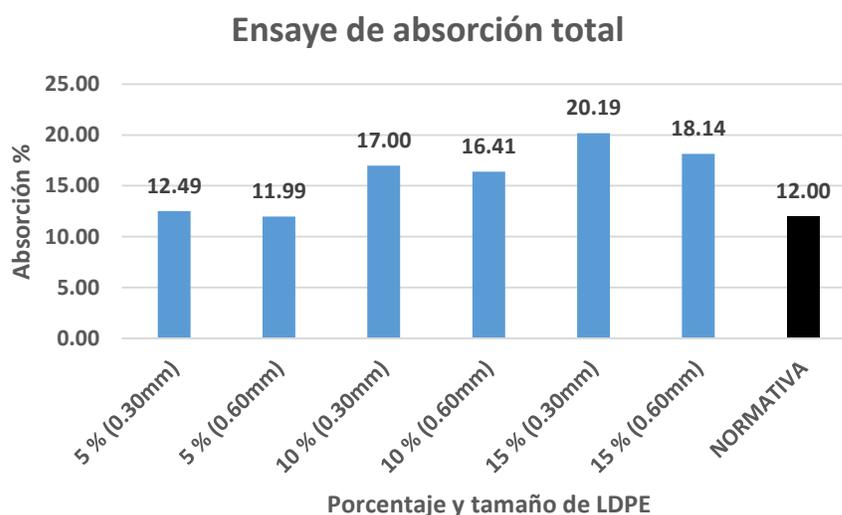


Figura 4.22 Absorción total promedio en ladrillos comparado con el valor especificado en normativa.

Con base en los resultados mostrados por medio de la gráfica mostrada en la Figura 4.22, se puede observar que el valor de referencia que especifica la normativa, como coeficiente de absorción total en ladrillos puramente de concreto es de 12.00 %.

Al comparar este valor, con el de los resultados de las pruebas de absorción total en los ladrillos elaborados con LDPE procedente de desecho, se puede observar que al integrar el 5 % de este material como agregado a los compuestos normalmente utilizados en la elaboración de ladrillos, en tamaños de partículas de 0.30 a 0.60 mm, se obtiene un valor de absorción total de 12.49 a 11.99 % respectivamente, el cual es muy similar al que se especifica en la normativa.

De otra manera, se puede notar que al incorporar un porcentaje de LDPE mayor al del 5%, en cualquier tamaño de partículas, el porcentaje de absorción total en los ladrillos va aumentando, lo cual resulta en un fenómeno no favorable a lo que se recomienda en la normativa comparándolo con el valor de referencia de esta.

Es importante señalar que, al tener un coeficiente de absorción inicial mayor en los ladrillos, al que se especifica, puede derivar en que los ladrillos absorban demasiada agua y en un determinado momento esto contribuya a su fractura o falla estructural debido al exceso de humedad presente.

Al igual que en la prueba de resistencia a la compresión y absorción inicial, un fenómeno observable gracias a los resultados gráficos obtenidos en la Figura 4.22, es que al reducir el tamaño de las partículas de LDPE, en este caso de 0.60 a 0.30 mm, el porcentaje de absorción total de los ladrillos aumenta un poco a comparación de cuando se utiliza un tamaño de partícula de LDPE más grande.

4.6 Prueba de resistencia al fuego

4.6.1 Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %

4.6.1.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Al realizar la prueba de resistencia al fuego, y siguiendo los procedimientos descritos en el apartado de metodología, se procedió a contabilizar el tiempo durante el cual los ladrillos podían estar expuestos al fuego directamente, sin que la estopa colocada sobre la cara no expuesta, presentara algún tipo de humo o incendio.

Con la medición del tiempo máximo de exposición a la que estuvieron sometidos los ladrillos al fuego, se procedió a generar la gráfica de la Figura 4.23, la cual muestra el periodo que pudieron resistir cada uno de los especímenes sometidos a calor constante.

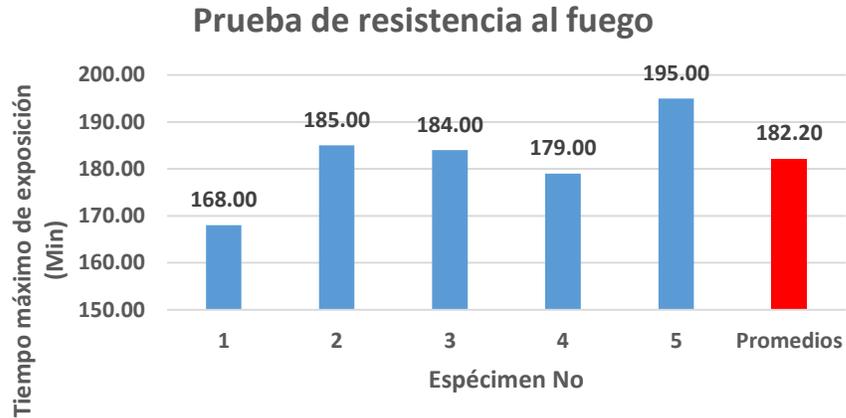


Figura 4.23 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De igual manera, siguiendo las recomendaciones de la bibliografía consultada para esta prueba, los ladrillos sometidos a fuego constante fueron monitoreados por medio de su temperatura a intervalos de 5 minutos, durante 1 hora. Con estos datos, se realizó una gráfica comparativa, tal y como se puede ver en la Figura 4.24.

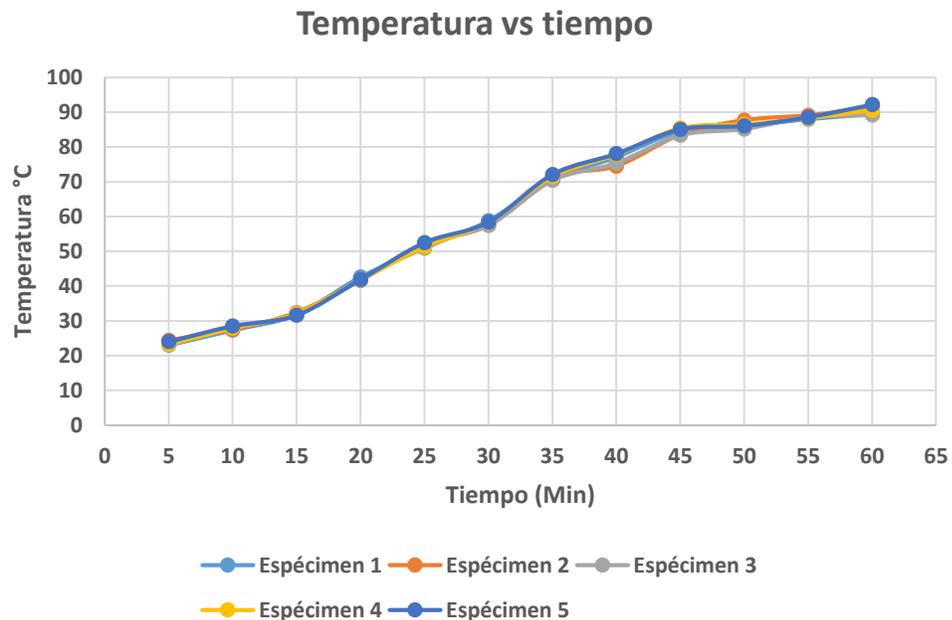


Figura 4.24 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 5 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

De acuerdo a la Figura 4.24, se puede observar que, dentro de los tiempos medidos, no existe una variación de temperatura muy marcada en cada uno de los especímenes sometidos a calor constante. Por otro lado, únicamente es el en el minuto 40 cuando se nota un cambio muy visible de temperatura en cada ladrillo.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo IV.

4.6.1.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Para el tamaño de partículas de 0.60 mm, se realizó el mismo procedimiento mencionado en el apartado de metodología, se contabilizó el tiempo durante el cual los ladrillos podían estar expuestos al fuego directamente, sin que la estopa colocada sobre la cara no expuesta, presentara algún tipo de humo o incendio. La gráfica de la Figura 4.25, muestra el periodo que pudieron resistir cada uno de los especímenes sometidos a calor constante.

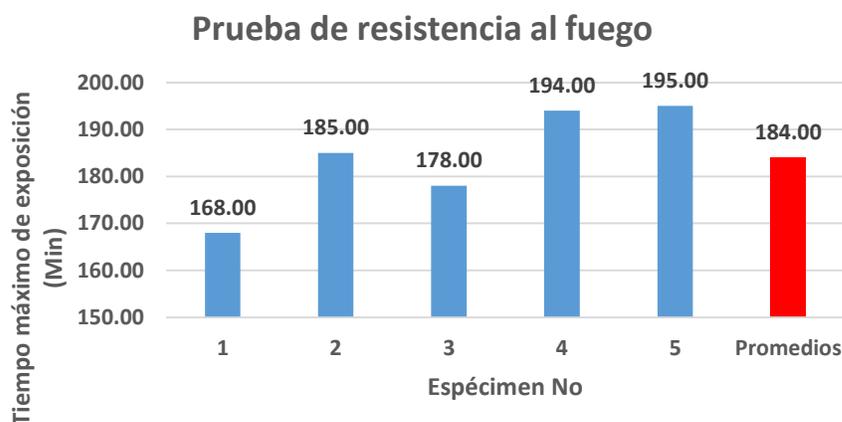


Figura 4.25 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

También, al seguir las recomendaciones de la bibliografía consultada para esta prueba, los ladrillos sometidos a fuego constante fueron monitoreados por medio de su temperatura a intervalos de 5 minutos, durante 1 hora. Con estos datos, se realizó una gráfica comparativa, tal y como se puede ver en la Figura 4.26.

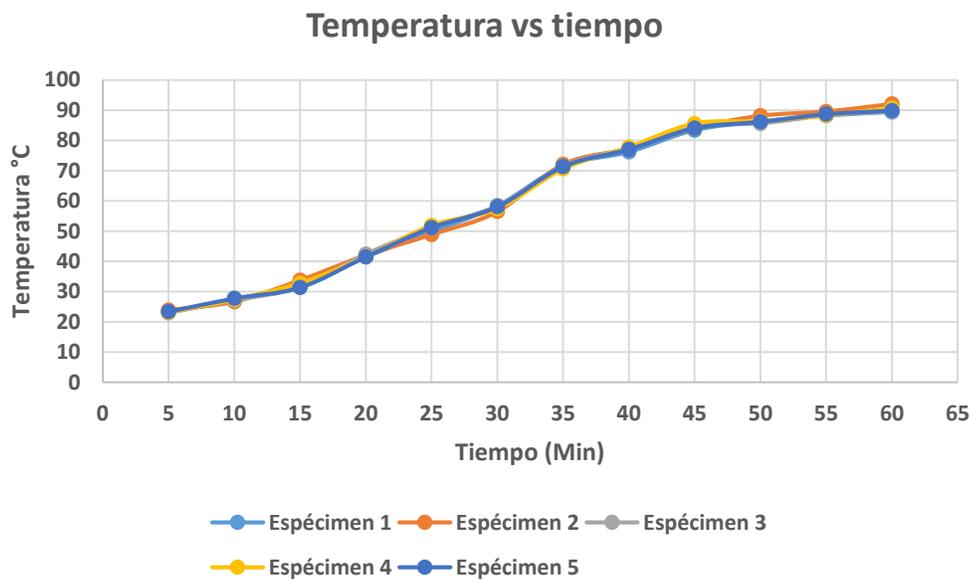


Figura 4.26 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 5 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De acuerdo a la Figura 4.26, se puede observar que, dentro de los tiempos medidos, no existe una variación de temperatura muy marcada en cada uno de los especímenes sometidos a fuego constante ya que, en su mayoría, todos muestran el mismo gradiente de temperatura en el intervalo de tiempo común.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo IV.

4.6.2 Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %

4.6.2.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Con la realización de la prueba de resistencia al fuego en los ladrillos y siguiendo los procesos enunciados en la metodología, se contabilizó el tiempo durante el que estos podían estar expuestos al calor directamente sin que la estopa colocada sobre los mismos presentara algún tipo de gas o fuego. Con ayuda del tiempo máximo de exposición a la que estuvieron sometidos los ladrillos al fuego, se generó la gráfica de la Figura 4.27, la cual muestra el periodo que resistieron cada uno de los especímenes sometidos a fuego constante.

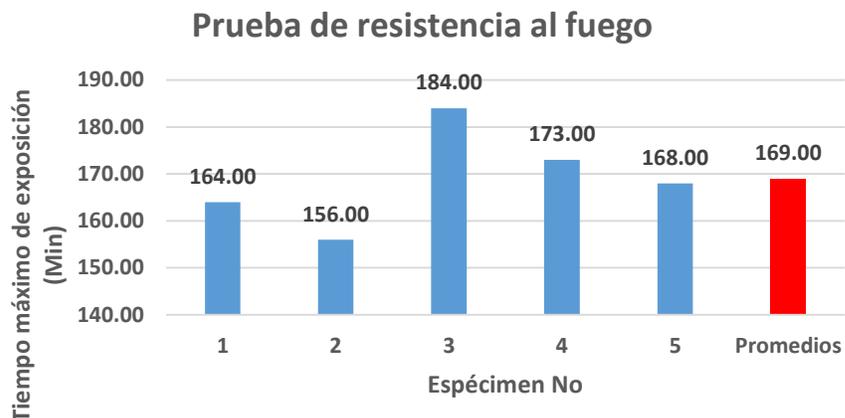


Figura 4.27 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Por otro lado, al seguir las recomendaciones de la bibliografía consultada para esta prueba, los ladrillos sometidos a calor constante fueron monitoreados durante una hora por medio de su temperatura en intervalos de tiempo de 5 minutos. Con estos datos, se realizó la gráfica comparativa mostrada en la Figura 4.28.

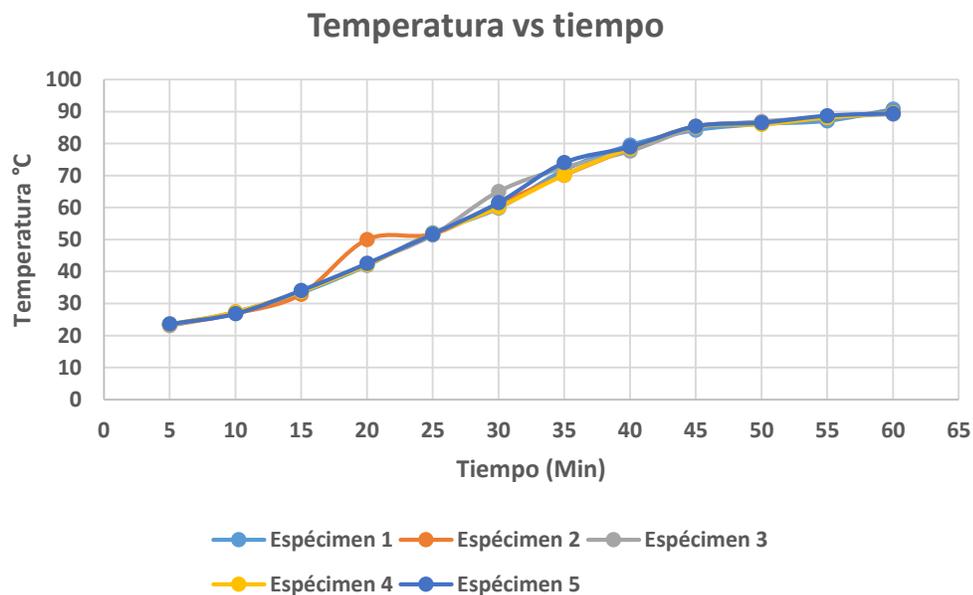


Figura 4.28 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 10 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Analizando la gráfica de la Figura 4.28, se puede notar que, de acuerdo a los tiempos medidos, no hay una variación de temperatura muy visible en los ladrillos sometidos a calor constante. Sin embargo, es durante el minuto 20 cuando se nota un cambio muy visible de temperatura en el ladrillo número dos. También, en el periodo 30 a 35 se observa una ligera diferencia de temperatura en todos los especímenes.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo IV.

4.6.2.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Para el tamaño de partículas de 0.60 mm, se realizó el mismo procedimiento mencionado anteriormente. Se contabilizó el tiempo durante el cual los ladrillos podían estar expuestos al fuego directamente, notando que la estopa colocada sobre la cara no expuesta directamente al fuego, presentara algún tipo de gas. La gráfica de la Figura 4.29, muestra el periodo que pudieron resistir cada uno de los especímenes sometidos a calor constante.

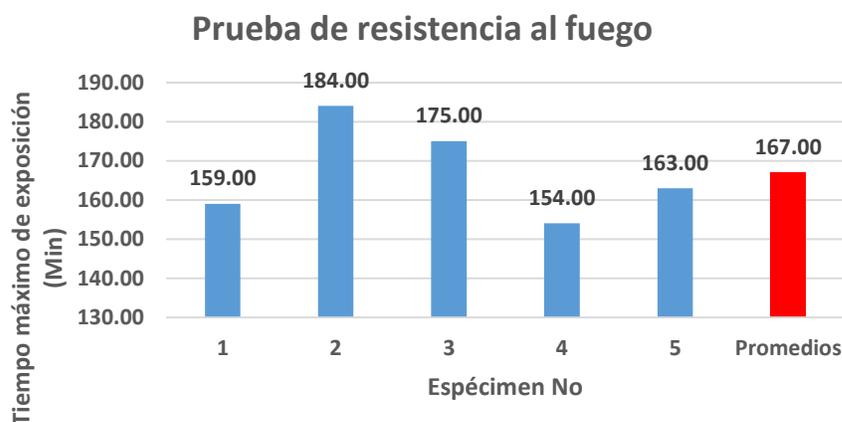


Figura 4.29 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

También, al seguir los procedimientos consultados en la bibliografía, es que los ladrillos sometidos a fuego constante fueron monitoreados por medio de su temperatura a intervalos de 5 minutos, durante 1 hora. Con estos datos, se realizó una gráfica comparativa, tal y como se puede ver en la Figura 4.30.

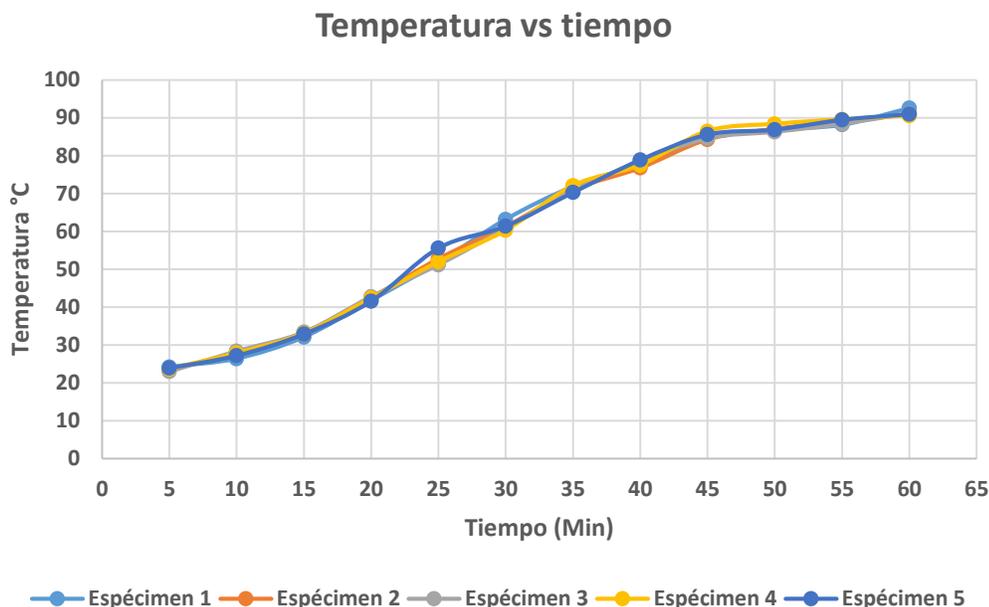


Figura 4.30 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 10 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De acuerdo a la Figura 4.30, se puede observar que, dentro de los tiempos medidos, no se nota una variación de temperatura muy marcada en cada uno de los especímenes sometidos a fuego constante ya que, en su mayoría, todos muestran el mismo gradiente de temperatura en el intervalo de tiempo común. Es solamente durante el tiempo de 25 y 40 minutos donde se puede notar que existe una variación de temperatura más visible.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo IV.

4.6.3 Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %

4.6.3.1 Tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

La prueba de resistencia al fuego, ayudó a realizar la gráfica de la Figura 4.31, para ello se contabilizó el tiempo durante el que los ladrillos podían estar expuestos al calor directamente sin que la estopa colocada sobre los mismos presentara algún tipo de gas o fuego en la cara no expuesta.

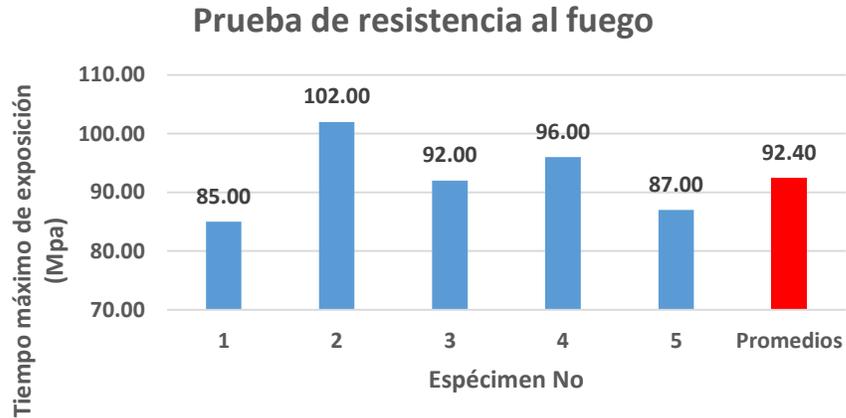


Figura 4.31 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Además, siguiendo las recomendaciones de la fuente bibliográfica consultada para esta prueba, los ladrillos sometidos a calor constante, fueron monitoreados durante una hora por medio de su temperatura en intervalos de tiempo de 5 minutos. Con estos datos, se realizó la gráfica comparativa mostrada en la Figura 4.32.

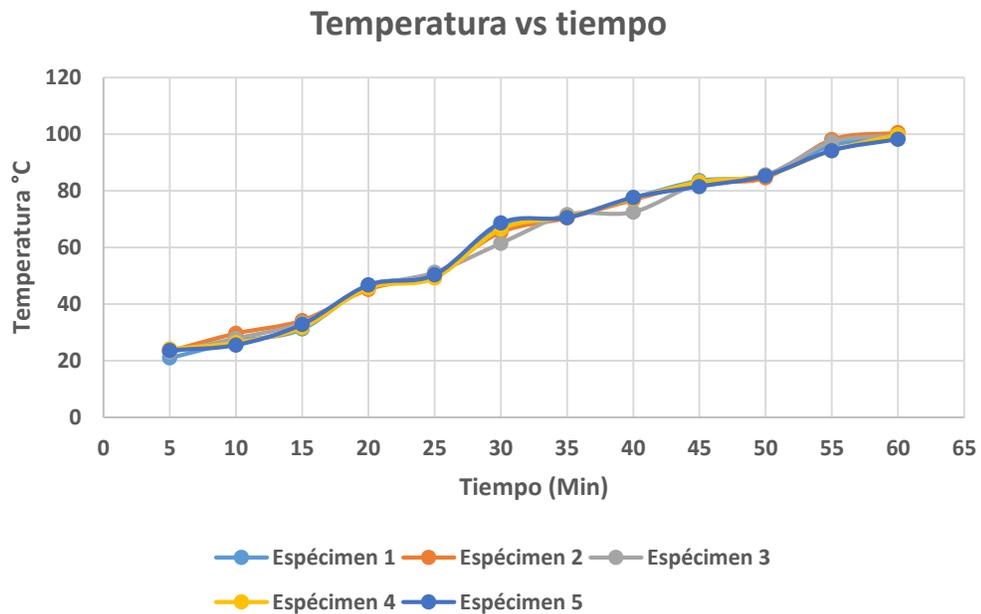


Figura 4.32 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 15 % de LDPE y 0.30 mm de tamaño de partículas.

Analizando la gráfica de la Figura 4.32, se puede notar que, de acuerdo a los tiempos medidos, no hay una variación de temperatura muy visible en los ladrillos sometidos a calor constante. Sin embargo, es durante los minutos 10-30 cuando se nota un cambio muy visible de temperatura en el ladrillo número dos. También, en el periodo 55 a 60 se observa una ligera diferencia de temperatura en todos los especímenes.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo IV.

4.6.3.2 Tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Con respecto al ensayo de ladrillos en la prueba de resistencia al fuego, para el tamaño de partículas de 0.60 mm, es importante mencionar que se realizó el mismo procedimiento mencionado anteriormente. Se contabilizó el tiempo durante el cual los ladrillos podían estar expuestos al fuego directamente, notando que la estopa colocada sobre la cara no expuesta directamente al fuego, presentara algún tipo de gas. La gráfica de la Figura 4.33, muestra el periodo que pudieron resistir cada uno de los especímenes sometidos a calor constante.

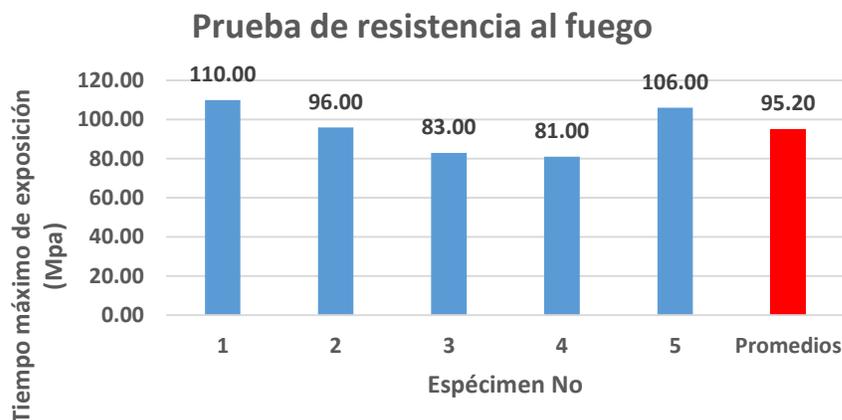


Figura 4.33 Tiempo máximo de exposición al fuego en ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

De la misma manera, al seguir los procedimientos consultados en la bibliografía, es que los ladrillos sometidos a fuego constante fueron monitoreados por medio de su

temperatura a intervalos de 5 minutos, durante 1 hora. Con estos datos, se realizó una gráfica comparativa, tal y como se puede ver en la Figura 4.34.

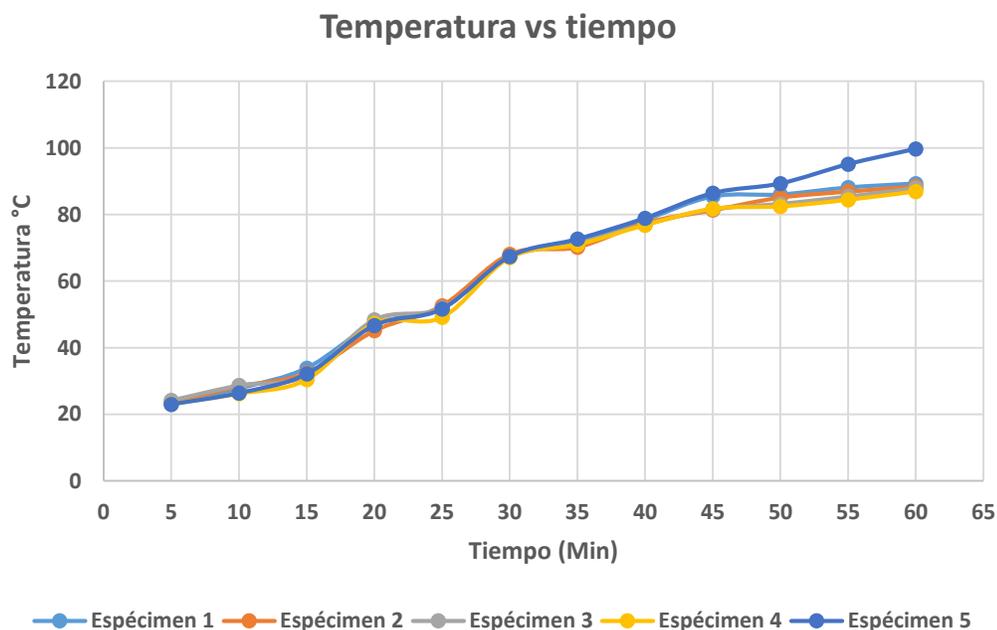


Figura 4.34 Temperaturas en intervalos de tiempo para ladrillos con 15 % de LDPE y 0.60 mm de tamaño de partículas.

Con base en la Figura 4.34, se puede ver que, dentro de los tiempos medidos, no se nota una variación de temperatura muy marcada en cada uno de los especímenes sometidos a fuego constante ya que, en su mayoría, todos muestran el mismo gradiente de temperatura en el intervalo de tiempo común. Es solamente al final del ensayo cuando se puede notar una variación de temperatura más visible, esto durante el periodo de los minutos 50 a 60.

Nota: Para conocer todos los datos generados en este ensayo se recomienda ver el Anexo IV.

4.6.4 Comparación de resultados promedio

Con ayuda de los resultados obtenidos en la prueba de resistencia al fuego, para los distintos porcentajes de incorporación de LDPE, se llevó a cabo un análisis comparativo para

poder emitir un resultado cuantitativo sobre la etapa de experimentación de los ladrillos de concreto con LDPE.

Se creó una tabla con los datos promedio del tiempo máximo de exposición para cada uno de los distintos porcentajes de incorporación de LDPE en conjunto con el tamaño de partículas. Esto se hizo así, para posteriormente generar una gráfica a manera de resumen, y con ello poder visualizar de mejor manera la concentración de los resultados generales por promedios.

La Tabla 4.24 presenta el resumen de los resultados promedio del tiempo máximo de exposición de los diferentes porcentajes de incorporación en conjunto con los diferentes tamaños de partículas de LDPE incorporados a los ladrillos.

Tabla 4.24 Resumen de resultados promedio del tiempo máximo de exposición en prueba de resistencia al fuego de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE.

Valores promedio	
Porcentaje y Tamaño de LDPE	Tiempo máximo de exposición (min)
5 % (0.30mm)	182.20
5 % (0.60mm)	184.00
10 % (0.30mm)	169.00
10 % (0.60mm)	167.00
15 % (0.30mm)	92.40
15 % (0.60mm)	95.20

Los datos registrados ayudaron a crear una gráfica que presenta de mejor manera la concentración de los datos, así mismo al visualizar los valores promedios de cada porcentaje, para el tiempo máximo de exposición al fuego de los ladrillos, se puede obtener un análisis más didáctico para el lector.

La Figura 4.35 muestra de manera gráfica los resultados promedio de la prueba de resistencia al fuego obtenidos para cada uno de los valores de incorporación de LDPE en conjunto con el tamaño de partículas utilizado en la elaboración de ladrillos, esto para el tiempo máximo de exposición al que pudieron ser sometidos los ladrillos.

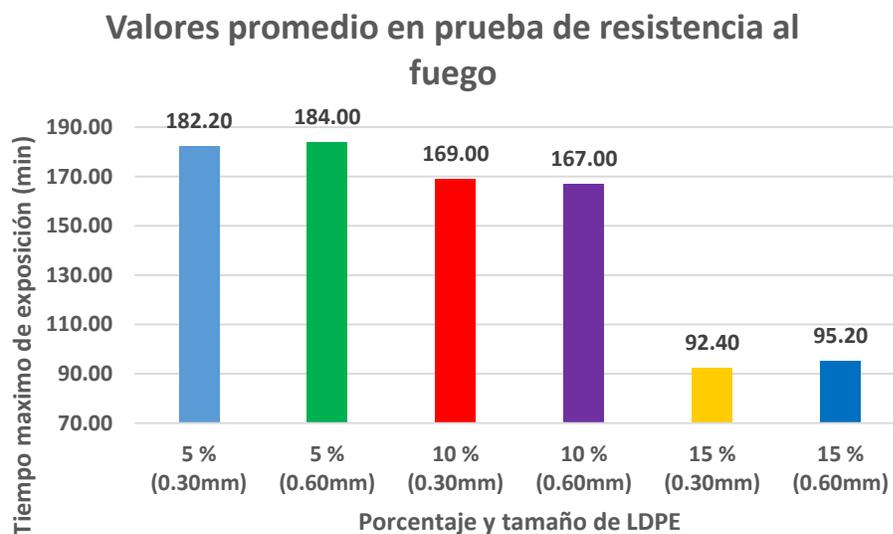


Figura 4.35 Resultados promedio del tiempo máximo de exposición al fuego para cada uno de los valores de incorporación de LDPE y tamaño de partículas.

Con base en los resultados mostrados por medio de la gráfica de la Figura 4.35, se puede observar que, para los ladrillos con un 5% de incorporación de LDPE, el tiempo máximo de exposición al fuego es de 180 minutos en promedio para ambos tamaños de partículas de LDPE, para los ladrillos con un 10%, el tiempo que pudieron estar sometidos al fuego los especímenes en promedio son de 160 minutos.

Por otro lado, los ladrillos que un menor tiempo de exposición al fuego pudieron soportar, son los que incorporan un 15% de LDPE como agregado, logrando así un promedio de resistencia de 90 minutos al calor directo de la llama de fuego, esto sin que la estopa colocada sobre la cara no expuesta al fuego sufriera algún daño visible debido al calor.

Tal y como se mencionó en el apartado de metodología, los ladrillos fueron expuestos al fuego y al mismo tiempo fue medida su temperatura, esto durante un periodo de 1 hora en intervalos de 5 minutos. Con esta información se realizó una tabla con los promedios de los 5 ladrillos ensayados para los distintos porcentajes y tamaños de incorporación del LDPE. La Tabla 4.25 muestra los datos promedio de las temperaturas de los ladrillos ensayados durante el periodo de tiempo ya mencionado.

Tabla 4.25 Resultados promedio de medición de temperatura en periodo de 1 hora en prueba de resistencia al fuego de los diferentes porcentajes y tamaños de LDPE.

Tiempo (min)	Porcentaje y tamaño de LDPE					
	5 % (0.30mm)	5 % (0.60mm)	10 % (0.30mm)	10 % (0.60mm)	15 % (0.30mm)	15 % (0.60mm)
5	23.68	23.36	23.34	23.64	23.02	23.48
10	27.86	27.22	27.12	27.54	27.24	27.50
15	31.94	32.46	33.58	32.88	32.66	32.08
20	41.92	41.82	43.80	42.22	46.02	46.92
25	51.70	50.60	51.74	52.68	50.34	51.40
30	58.12	57.76	61.50	61.40	65.90	67.46
35	71.14	71.42	71.70	71.22	70.78	71.32
40	76.58	77.20	78.58	77.90	76.34	77.72
45	84.38	84.36	85.04	85.18	82.76	83.28
50	86.30	86.52	86.38	87.12	85.24	85.20
55	88.52	88.60	88.08	88.98	95.98	87.98
60	90.56	90.34	89.72	91.26	99.26	90.44

Los datos registrados de la temperatura medida en los ladrillos a cada 5 minutos durante un periodo de una hora, ayudaron a crear una gráfica que presenta de mejor manera la concentración de los datos. La Figura 4.36 muestra los datos de la Tabla 4.24 de manera gráfica, esto con la finalidad de conocer el comportamiento promedio de la temperatura medida en los ladrillos, para los distintos porcentajes y tamaños de incorporación del LDPE.

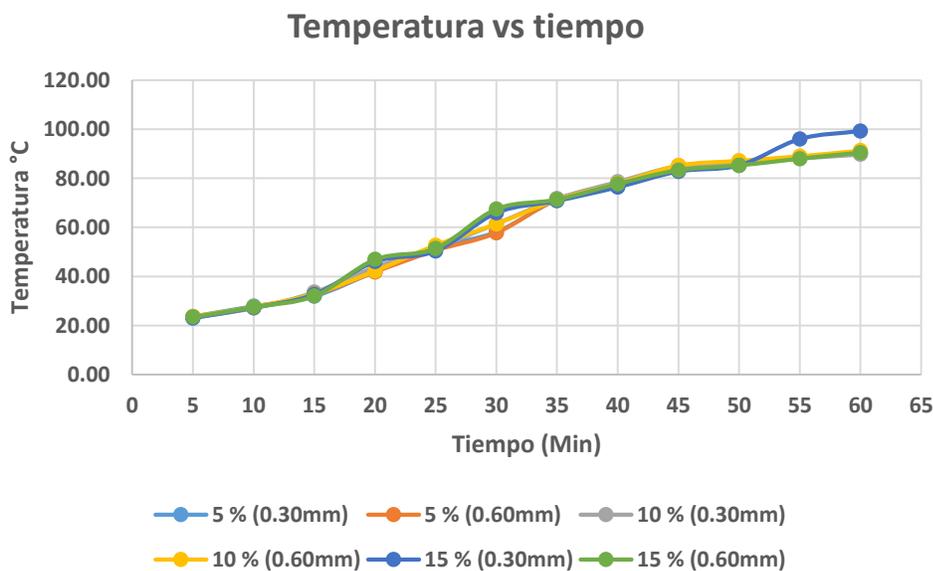


Figura 4.36 Temperaturas promedio en intervalos de tiempo para cada uno de los valores de incorporación de LDPE y tamaño de partículas.

De acuerdo a la Figura 4.36, en donde se muestran los promedios de temperaturas de los ladrillos expuesto al fuego, se puede notar que, al igual que en el análisis INDIVIDUAL de cada porcentaje y tamaño de LDPE, no existe una variación de temperatura muy marcada en cada uno de los promedios de los especímenes sometidos a calor constante.

Por otro lado, al observar la gráfica de la Figura anterior, se puede notar que los ladrillos que mayor temperatura registran son los que incorporan un 15% de LDPE en un tamaño de partículas de 0.30 mm. Además, es notorio que, durante el periodo de 30 minutos, es en el que hay una discrepancia marcada entre las temperaturas alcanzadas por los distintos ladrillos sometidos a fuego directo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en el desarrollo y caracterización de los ladrillos ecológicos de concreto incorporando LDPE procedente de desecho, llevado a cabo a través de este proyecto de investigación, se pueden emitir varias conclusiones que resultan importantes mencionar, las cuales se muestran a continuación.

En primer lugar, es importante señalar que, durante la etapa de recolección del material de LDPE en forma de desecho, se ha observado que la mayor concentración de este producto puede ser obtenido de aquellos lugares en los que las personas generalmente compran productos procedentes de la naturaleza como son frutas y verduras, en este caso en mercados de abastos, en dichos sitios es muy común encontrar bolsas de plástico tiradas en el piso de las calles donde se venden dichos productos.

Un punto importante, con lo que respecta al diseño de las mezclas, es que se ha observado que cuanto mayor sea el tamaño y cantidad de las partículas de LDPE, peor será la trabajabilidad de la mezcla total, esto debido a que, aunque el peso final del LDPE es pequeño, la cantidad de volumen que genera dentro de la mezcla es muy elevado con respecto al de los otros materiales como el cemento y la arena.

Al trabajar dos tipos de tamaños muy similares entre las partículas de LDPE como son de 0.30 y 0.60 mm, se observó que no existe una diferencia demasiado notoria en las pruebas de laboratorio realizadas a los ladrillos, quizás si se trabajaran otros tamaños de partículas muy distantes en tamaños, las propiedades físico mecánicas de los mismos podrían variar demasiado una con respecto a la otra, pero eso sería cuestión de demostrarlo en una investigación futura.

Al considerar el valor promedio de los especímenes ensayados en la prueba de compresión por medio del equipo especializado de laboratorio, se pudieron observar algunas cosas interesantes durante la etapa de experimentación. En primer lugar, que mientras más pequeñas son las partículas de LDPE, mayor será la resistencia a la compresión de los ladrillos; además, si en conjunto con un tamaño pequeño de partículas se utiliza un porcentaje menor de LDPE, en comparación con la arena y el cemento, mayor será la resistencia de los especímenes. En este caso, para la prueba de compresión, se encontró que los ladrillos con

un porcentaje de incorporación del 5% de LDPE y un tamaño de partículas de 0.30 mm obtuvieron un valor de 11.24 Mpa, lo cual es un valor aceptable en comparación con los 11.00 Mpa que especifica la normativa; además, para el tamaño de 0.60 mm también se obtuvo un valor de 11.03, lo cual es aceptable de acuerdo a la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013 para. Por otro lado, para los porcentajes de 10 y 15% en cualquier tamaño de partículas, los resultados no se consideran aceptables.

De la misma manera, para los promedios de los especímenes ensayados en la prueba de absorción inicial, se observó que mientras menor es el tamaño de partículas de plástico, mayor será la cantidad de agua que absorberán los especímenes de manera inicial en inmersión de 10 minutos en agua; sin embargo, al aumentar el porcentaje de incorporación de LDPE, la absorción inicial de agua se eleva en un intervalo de 1 a 2 unidades cada 5% de incorporación debido a que al integrar una mayor cantidad de polímero en las muestras, se generan una mayor cantidad de poros, lo que permite una permeabilidad elevada en los mismos; por lo tanto, el uso de una cantidad elevada de plástico, deriva en que un ladrillo absorba más agua de la que debería, esto con base en lo que dicta la normativa NMX-C-037-ONNCCE-2013. Al realizar la comparación gráfica de los valores promedios de absorción inicial de los especímenes ensayados en laboratorio, con el valor que dicta la norma citada anteriormente, se demostró que los ladrillos que mejor propiedades presentan son los que incorporan un 5% de LDPE del diseño total de la mezcla, obteniendo valores de 6.70 a 7.67 unidades para los tamaños de 0.60 y 0.30 mm respectivamente, lo cual se considera un valor aceptable de acuerdo al parámetro de 7.50 unidades especificado en la normativa.

Con respecto a la prueba de absorción total de agua o absorción total en 24 horas, al comparar los promedios obtenidos por medio del análisis gráfico de los resultados, se pudo notar que al igual que en las pruebas de resistencia a la compresión y absorción inicial, un fenómeno característico es que, al reducir el tamaño de las partículas de LDPE, en este caso de 0.60 a 0.30 mm, el porcentaje de absorción total de los ladrillos aumenta un poco a comparación de cuando se utiliza un tamaño de partícula de LDPE más grande. Por otro lado, al observar los resultados, se pudo ver que el porcentaje de LDPE que mejores propiedades de absorción total muestra es el del 5% en cualquiera de los dos tamaños de partículas

utilizadas, ya que se obtuvieron valores de 11.99 a 12.49 %, mostrando un valor aceptable al ser comparado con el de la normativa NMX-C-037-ONNCCE-2013, el cual es de 12.00%.

Considerando que también se realizó la prueba de resistencia al fuego en los ladrillos desarrollados en este trabajo, se puede comentar que, al revisar los promedios de las muestras ensayadas, y de acuerdo a la metodología seguida, se pudo corroborar que a medida que se reduce el porcentaje de incorporación de LDPE en la mezcla de concreto, mayor es el periodo de resistencia al fuego que pueden tener los ladrillos, ya que al comparar los valores de las muestras ensayadas, se notó que los ladrillos con un 5% de incorporación de LDPE tiene un tiempo máximo de exposición al fuego de aproximadamente 180 minutos (3 horas), mientras que las muestras con un mayor porcentaje de LDPE (15%) únicamente resisten cerca de 90 minutos al fuego (1.5 horas), lo cual representa la mitad de las muestras con menor cantidad de LDPE.

Como conclusión general se puede emitir que, mientras menor sea la cantidad de incorporación de LDPE en la mezcla de concreto, mejores serán las propiedades físico mecánicas de los ladrillos. También sería necesario comentar que, al menos que se elabore un diseño de mezcla distinto a los utilizados en este trabajo, el utilizar un porcentaje de LDPE mayor al 10% no es factible, ya que no se obtienen los valores de los parámetros que marcan las normas para ladrillos de uso estructural, además que, al utilizar un porcentaje elevado de LDPE en la mezcla de arena, cemento y agua, empeora la trabajabilidad de la mezcla de los materiales. Por lo tanto, al considerar los resultados y compararlos con la hipótesis planteada en esta investigación, se puede considerar que, la modificación de las mezclas de concreto para la elaboración de ladrillos, mediante la incorporación de LDPE, sí permite reutilizar bolsas de plástico procedentes de desecho; además, los elementos creados con incorporación del 5% LDPE tiene propiedades físicas y mecánicas similares a las especificadas en normativas vigentes para mampostería, por lo que en este valor de incorporación, y de acuerdo al diseño de mezcla planteado, pueden ser utilizados en la industria de la construcción, ya que la cantidad de incorporación de LDPE, comparada con la de los otros materiales (arena y grava) no es muy representativa en el diseño de mezcla planteado.

Para investigaciones futuras que sean similares a la presentada en este documento, se recomendaría realizar una mayor cantidad de diseños de mezcla, en la que se busque optimizar la utilización de LDPE, es decir lograr que el plástico represente una mayor proporción dentro de lo que es la mezcla total de concreto, reduciendo el uso de Cemento y arena en la medida de lo posible buscando que se pueda obtener una buena trabajabilidad de los materiales.

También, es aconsejable considerar la búsqueda de un método más eficiente de corte, trituración o desmenuzamiento del LDPE, ya que para esta investigación no se considera la optimización del tiempo, ya que al ser un desarrollo primigenio no se hizo necesario el darle una mayor importancia a esto, debido al acotamiento del interés de esta investigación.

Por otro lado, se consideraría bueno y productivo, realizar algún proyecto similar con otro tipo de plástico de aquellos que son comercialmente abundantes y que, por lo tanto, se encuentran muy presentes en forma de desecho en el medio ambiente.

Finalmente, sería conveniente para los lectores de este proyecto, generar conciencia acerca del uso que se les da a los desechos generados por el uso desmedido de los plásticos, quizás este trabajo puede contribuir a reducir la contaminación generada por los desperdicios del LDPE; sin embargo, en cualquier caso, siempre será mejor aprender a convivir de manera sustentable con el medio ambiente por parte de todos los seres humanos que habitamos este planeta llamado tierra.

6. REFERENCIAS

- Abduljabbar, N., Al-Busaltan, S., Dulaimi, A., Al-Yasari, R., Sadique, M., & Nageim, H. Al. (2022). The effect of waste low-density polyethylene on the mechanical properties of thin asphalt overlay. *Construction and Building Materials*, 315, 125722. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125722>
- Akçaözöğlü, S., Atiş, C. D., & Akçaözöğlü, K. (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30(2), 285–290. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.033>
- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Matheus, A., & Gutiérrez, A. (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*, 29(10), 2707–2716. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.007>
- Anand Daftardar, Rashmi patel, Ronak Shah, Parth Gandhi, H. G. (2017). Use of Waste Plastic as a Construction Material. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 4(11), 148–151.
- Aracil, I. (2008). Formación de contaminantes y estudio cinético de la pirólisis y combustión de plásticos (PE, PVC y PCP). Universidad de Alicante, 414. http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9608/1/tesis_doctoral_ignacio_aracil.pdf
- Ardón García, E. P., Dardón Orellana, M. E., & Torres Turcios, Á. A. (2007). “Guía para el control de calidad del diseño estructural y de la construcción de viviendas de una y dos plantas de mampostería de bloque de concreto.”
- Babu, G. L. S., & Chouksey, S. K. (2011). Stress-strain response of plastic waste mixed soil. *Waste Management*, 31(3), 481–488. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.09.018>
- Busra, S. T., Ceren, I., Juliana, C., Kurchania, R., & J, B. R. (2021). Use of brick waste for mortar-substrate optimisation of mortar-masonry systems. *Construction and Building Materials*, 301(February), 124256. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124256>

- Calvente, I. A. M. (2007). El concepto moderno de sustentabilidad. 1–7.
- Charitou, A., Naasan Aga-Spyridopoulou, R., Mylona, Z., Beck, R., McLellan, F., & Addamo, A. M. (2021). Investigating the knowledge and attitude of the Greek public towards marine plastic pollution and the EU Single-Use Plastics Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 166(September 2020), 112182.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112182>
- Chauhan, S. S., Kumar, B., Shankar Singh, P., Khan, A., Goyal, H., & Goyal, S. (2019). Fabrication and Testing of Plastic Sand Bricks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 691(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/691/1/012083>
- Chauhan, Shailendra Singh, Singh, J. K., Singh, H., Mavi, S., & Singh, V. (2021). *Materials Today : Proceedings An overview on recycling plastic wastes in bricks. Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.697>
- Choi, N. W., Mori, I., & Ohama, Y. (2006). Development of rice husks-plastics composites for building materials. *Waste Management*, 26(2), 189–194.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.05.008>
- Coreño-Alonso, J., & Méndez-Bautista, M. T. (2010). Relationship between structure and properties of polymers. *Educacion Quimica*, 21(4), 291–299.
[https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30098-3](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30098-3)
- Di Marco, R., & León, H. (2017). Ladrillos con adición de PET. Universidad Libre de Colombia. <http://www.unilibre.edu.co/bogota/pdfs/2017/5sim/39D.pdf>
- Dietrich, M. L., Brandolin, A., Sarmoria, C., & Asteasuain, M. (2021). Mathematical modelling of rheological properties of low-density polyethylene produced in high-pressure tubular reactors. *IFAC-PapersOnLine*, 54(3), 378–382.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.271>
- Durán González, D. (2020). Guía de acciones para reducir la contaminación por plásticos de un solo uso en los municipios de Colombia.
[https://www.marviva.net/sites/default/files/2020-12/10D8 Contaminación plásticos](https://www.marviva.net/sites/default/files/2020-12/10D8%20Contaminaci%C3%B3n%20pl%C3%A1sticos)

cartilla digital%5B3%5D%5B1%5D%5B5%5D%5B2%5D%5B1%5D_0.pdf

Facultad de Ingeniería Civil. (2021).

Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 30(6), 1101–1106. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>

Galán Tellez, M. D. (2018). Aumento de enfermedades mentales por contaminación ambiental. *LIV Congreso Virtual Internacional de Enfermería En Salud Mental*, 5. <https://psiquiatria.com/congresos/pdf/3-3-2018-4-comu8.pdf>

Gencel, O., Minhaj, S., Kazmi, S., Junaid, M., Sutcu, M., Erdogmus, E., & Yaras, A. (2021). Feasibility of using clay-free bricks manufactured from water treatment sludge , glass , and marble wastes : An exploratory study. *Construction and Building Materials*, 298, 123843. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123843>

Gómez, I. D. L., & Escobar, A. S. (2022). The dilemma of plastic bags and their substitutes: A review on LCA studies. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 107–116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.021>

Gopu, C., Ninan, J., Moolayil, J., Mathew, M., & C., S. (2016). Fabrication of Plastic Brick Manufacturing Machine and Brick Analysis. 2.

Grodzińska-Jurczak, M., Krawczyk, A., Akhshik, A., Dedyk, Z., & Strzelecka, M. (2022). Contradictory or complementary? Stakeholders' perceptions of a circular economy for single-use plastics. *Waste Management*, 142, 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.01.036>

Hamzah, A. F., & Alkhafaj, R. M. (2022). Materials Today : Proceedings An investigation of manufacturing technique and characterization of low-density polyethylene waste base bricks. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.318>

Hannawi, K., Kamali-Bernard, S., & Prince, W. (2010). Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste Management*, 30(11),

2312–2320. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.03.028>

Ikechukwu, A. F., & Shabangu, C. (2021). Strength and durability performance of masonry bricks produced with crushed glass and melted PET plastics. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00542. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00542>

Ismail, Z. Z., & AL-Hashmi, E. A. (2008). Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Management*, 28(11), 2041–2047. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.023>

Kumar, R., Kumar, M., Kumar, I., & Srivastava, D. (2020). A review on utilization of plastic waste materials in bricks manufacturing process. *Materials Today: Proceedings*, 46(xxxx), 6775–6780. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.337>

Martin, N., Mulligan, S., Fuzesi, P., & Hatton, P. V. (2022). Quantification of single use plastics waste generated in clinical dental practice and hospital settings. *Journal of Dentistry*, 118, 103948. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.103948>

Meert, J., Izzo, A., & Atkinson, J. D. (2021). Impact of plastic bag bans on retail return polyethylene film recycling contamination rates and speciation. *Waste Management*, 135, 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.043>

Mohan, H. T., Whitaker, F., Danielgaskell, Mohan, R., & Mini, K. M. (2020). Performance assessment of recycled LDPE with sand fillers. *Materials Today: Proceedings*, 42, 1526–1530. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.285>

Molina Flores, S., Dumon, M., Elizondo Martínez, P., & Sánchez Anguiano, M. G. (2020). Development of a new compound based on low-density polyethylene degraded with zeolite waste for the removal of diesel from water. *Journal of Environmental Management*, 271(June). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110939>

Mutha, N. H., Patel, M., & Premnath, V. (2006). Plastics materials flow analysis for India. *Resources, Conservation and Recycling*, 47(3), 222–244. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.09.003>

- Muthu, S. S., Li, Y., Hu, J. Y., & Mok, P. Y. (2011). Carbon footprint of shopping (grocery) bags in China, Hong Kong and India. *Atmospheric Environment*, 45(2), 469–475. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.054>
- Páez, D. (2006). Efectos Sísmicos. 91–104.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75050808>
- Pet, R. (2017). Universidad san ignacio de loyola ladrillos ecológicos con material trabajo de investigación para optar el grado académico de josé abelardo altamirano príncipe – oliver daniel bullon westreicher – kelvin cajacuri carbonero – felix alejandro chiok meza – i.
- Piñeros, Mi., & Herrera, R. (2018). Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda. 118. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22382>
- Quevedo Haro, E. C. (2017). Influencia de las unidades de albañilería tipo PET sobre las características técnicas y económicas de viviendas ecológicas para la zona de expansión del distrito de Nuevo Chimbote, Áncash. Repositorio Institucional - UNS. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3105>
- Salvador, M. I. D. D., Puesto, M., Hugo, J., & Mauricio, M. C. J. S. (2013). Empleo De Bloques Con Basura En La Construcción...
- Santagata, C., Iaquaniello, G., Salladini, A., Agostini, E., Capocelli, M., & De Falco, M. (2020). Production of low-density poly-ethylene (LDPE) from chemical recycling of plastic waste: Process analysis. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119837. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119837>
- Senturk, G., & Duumludag, D. (2020). An evaluation of the effect of plastic bag fee on consumer behavior : Case of Turkey. *Waste Management*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.042>
- Shent, H., Pugh, R. J., & Forssberg, E. (1999). A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics. 25, 85–109.

- Siddique, R., Khatib, J., & Kaur, I. (2008). Use of recycled plastic in concrete : A review. 28, 1835–1852. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.011>
- Subramanian, P. M. (2000). Plastics recycling and waste management in the US. *Resources, Conservation and Recycling*, 28(3–4), 253–263. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(99\)00049-X](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(99)00049-X)
- Taaffe, J., O’Sullivan, S., Rahman, M. E., & Pakrashi, V. (2014). Experimental characterisation of Polyethylene Terephthalate (PET) bottle Eco-bricks. *Materials and Design*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.03.045>
- Ter, J. C. (2010). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Caracterización físico-mecánica de un material compuesto a base de aserrín y cemento Ing . Jarinzi Corona Terán.
- Ullah, S., Raheel, M., Khan, R., & Tariq Khan, M. (2021). Characterization of physical & mechanical properties of asphalt concrete containing low- & high-density polyethylene waste as aggregates. *Construction and Building Materials*, 301(May), 124127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124127>
- Un, A., Del, E., Guillermo, J., & Serrato, G. (2016). No Title. 1–81.
- Vaid, K., Chaurasia, A., Rawat, S., & Dwivedi, U. K. (2020). Structural and dielectric properties of copper ferrite/LDPE composite. *Materials Today: Proceedings*, 43, 373–377. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.680>

7. ANEXOS

7.1 Anexo I. Datos generales para cálculos en prueba de resistencia a la compresión

Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Densidad (gr/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	24.14	10.31	6.02	2210.50	248.88	1498.28	272.48	27785.22	1.48	111.64	10.95
2	24.10	10.18	6.15	2215.80	245.34	1508.83	275.15	28057.49	1.47	114.36	11.22
3	24.18	10.07	6.15	2208.50	243.49	1497.48	279.15	28465.37	1.47	116.90	11.46
4	24.11	10.12	6.19	2218.80	243.99	1510.32	278.55	28404.19	1.47	116.41	11.42
5	24.12	10.17	6.12	2210.70	245.30	1501.24	274.13	27953.47	1.47	113.96	11.18
Promedios	24.13	10.17	6.13	2212.86	245.40	1503.23	275.89	28133.15	1.47	114.66	11.24

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Densidad (gr/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	24.55	10.22	6.15	2211.80	250.90	1543.04	271.27	27661.84	1.43	110.25	10.81
2	24.15	10.17	6.19	2219.60	245.61	1520.30	274.15	27955.51	1.46	113.82	11.16
3	24.29	10.14	6.16	2218.50	246.30	1517.21	278.16	28364.42	1.46	115.16	11.29
4	24.10	10.38	6.17	2210.50	250.16	1543.47	275.87	28130.91	1.43	112.45	11.03
5	24.34	10.19	6.88	2212.90	248.02	1706.41	269.16	27446.68	1.30	110.66	10.85
Promedios	24.29	10.22	6.31	2214.66	248.20	1566.09	273.72	27911.87	1.42	112.47	11.03

Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Densidad (gr/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	24.16	10.46	6.12	2234.30	252.71	1546.61	248.10	25299.15	1.44	100.11	9.82
2	24.49	10.42	6.05	2215.60	255.19	1543.87	254.16	25917.10	1.44	101.56	9.96
3	24.45	10.32	6.17	2210.50	252.32	1556.84	252.18	25715.20	1.42	101.91	9.99
4	24.33	10.25	6.11	2230.60	249.38	1523.73	249.78	25470.47	1.46	102.13	10.02
5	24.21	10.17	6.08	2210.80	246.22	1496.99	255.29	26032.33	1.48	105.73	10.37
Promedios	24.33	10.32	6.11	2220.36	251.16	1533.61	251.90	25686.85	1.45	102.29	10.03

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Densidad (gr/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	24.28	10.12	6.12	2211.20	245.71	1503.77	242.25	24702.62	1.47	100.53	9.86
2	24.16	10.18	6.18	2216.50	245.95	1519.96	249.16	25407.24	1.46	103.30	10.13
3	24.12	10.16	6.15	2256.50	245.06	1507.11	248.39	25328.73	1.50	103.36	10.14
4	24.10	10.18	6.17	2248.60	245.34	1513.74	238.26	24295.75	1.49	99.03	9.71
5	24.18	10.16	6.14	2216.80	245.67	1508.41	239.56	24428.32	1.47	99.44	9.75
Promedios	24.17	10.16	6.15	2229.92	245.55	1510.60	243.52	24832.53	1.48	101.13	9.92

Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Densidad (gr/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	24.15	10.58	6.17	2201.20	255.51	1576.48	211.84	21601.66	1.40	84.54	8.29
2	24.30	10.23	6.13	2210.50	248.59	1523.85	219.26	22358.29	1.45	89.94	8.82
3	24.25	10.34	6.20	2215.80	250.75	1554.62	215.16	21940.21	1.43	87.50	8.58
4	24.29	10.16	6.10	2238.50	246.79	1505.40	214.58	21881.07	1.49	88.66	8.69
5	24.19	10.24	6.09	2233.20	247.71	1508.53	215.59	21984.06	1.48	88.75	8.70
Promedios	24.24	10.31	6.14	2219.84	249.87	1533.77	215.29	21953.06	1.45	87.88	8.62

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Densidad (gr/cm ³)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
1	24.18	10.15	6.12	2213.10	245.43	1502.01	210.25	21439.53	1.47	87.36	8.57
2	24.36	10.12	6.18	2242.50	246.52	1523.51	214.58	21881.07	1.47	88.76	8.70
3	24.12	10.23	6.11	2218.20	246.75	1507.63	214.56	21879.03	1.47	88.67	8.70
4	24.36	10.32	6.02	2216.40	251.40	1513.40	205.36	20940.89	1.46	83.30	8.17
5	24.48	10.19	6.17	2211.10	249.45	1539.11	212.35	21653.67	1.44	86.81	8.51
Promedios	24.30	10.20	6.12	2220.26	247.91	1517.13	211.42	21558.84	1.46	86.98	8.53

7.2 Anexo II. Datos generales para cálculos en prueba de absorción inicial

Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Superficie Sumergida (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo de inmersión (min)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Agua absorbida (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	24.11	10.12	6.15	243.99	1500.56	1.48	10.00	2226.40	2285.30	58.90	7.63
2	24.16	10.18	6.18	245.95	1519.96	1.46	10.00	2218.70	2277.40	58.70	7.55
3	24.15	10.20	6.14	246.33	1512.47	1.48	10.00	2236.50	2297.60	61.10	7.84
Promedios	24.14	10.17	6.16	245.42	1511.00	1.47	10.00	2227.20	2286.77	59.57	7.67

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Superficie Sumergida (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo de inmersión (min)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Agua absorbida (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	24.15	10.15	6.11	245.12	1497.70	1.48	10.00	2219.20	2272.20	53.00	6.84
2	24.52	10.12	6.15	248.14	1526.08	1.45	10.00	2216.10	2265.30	49.20	6.27
3	24.16	10.25	6.21	247.64	1537.84	1.45	10.00	2234.70	2289.50	54.80	7.00
Promedios	24.28	10.17	6.16	246.97	1520.54	1.46	10.00	2223.33	2275.67	52.33	6.70

Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Superficie Sumergida (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo de inmersión (min)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Agua Absorbida (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	24.15	10.12	6.13	244.40	1498.16	1.50	10.00	2242.20	2310.30	68.10	8.81
2	24.18	10.15	6.21	245.43	1524.10	1.47	10.00	2235.70	2306.10	70.40	9.07
3	24.32	10.31	6.19	250.74	1552.08	1.43	10.00	2216.40	2281.10	64.70	8.16
Promedios	24.22	10.19	6.18	246.85	1524.78	1.46	10.00	2231.43	2299.17	67.73	8.68

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Superficie Sumergida (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo de inmersión (min)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Agua Absorbida (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	24.16	10.15	6.13	245.22	1503.22	1.48	10.00	2231.20	2296.70	65.50	8.45
2	24.22	10.13	6.20	245.35	1521.16	1.46	10.00	2214.10	2280.50	66.40	8.56
3	24.13	10.24	6.17	247.09	1524.55	1.46	10.00	2225.80	2293.70	67.90	8.69
Promedios	24.17	10.17	6.17	245.89	1516.31	1.47	10.00	2223.70	2290.30	66.60	8.56

Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Superficie Sumergida (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo de inmersión (min)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Agua Absorbida (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	24.13	10.18	6.13	245.64	1505.79	1.47	10.00	2216.10	2308.20	92.10	11.86
2	24.15	10.50	6.21	253.58	1574.70	1.41	10.00	2221.50	2317.30	95.80	11.95
3	24.18	10.32	6.17	249.54	1539.65	1.44	10.00	2214.60	2298.20	83.60	10.59
Promedios	24.15	10.33	6.17	249.59	1540.05	1.44	10.00	2217.40	2307.90	90.50	11.47

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Superficie Sumergida (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo de inmersión (min)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Agua Absorbida (gr)	Coefficiente de absorción inicial (Cb)
1	24.10	10.15	6.12	244.62	1497.04	1.48	10.00	2215.10	2301.90	86.80	11.22
2	24.15	10.17	6.14	245.61	1508.02	1.47	10.00	2216.16	2298.50	82.34	10.60
3	24.53	10.21	6.18	250.45	1547.79	1.43	10.00	2215.35	2300.17	84.82	10.71
Promedios	24.26	10.18	6.15	246.89	1517.62	1.46	10.00	2215.54	2300.19	84.65	10.84

7.3 Anexo III. Datos generales para cálculos en prueba de absorción total

Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Agua absorbida (gr)	Absorción (%)
1	24.38	10.15	6.14	1519.39	1.47	2226.40	2495.10	268.70	12.07
2	24.25	10.25	6.17	1533.63	1.45	2218.70	2504.50	285.80	12.88
3	24.34	10.34	6.28	1580.52	1.42	2236.50	2516.80	280.30	12.53
Promedios	24.32	10.25	6.20	1544.51	1.44	2227.20	2505.47	278.27	12.49

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Agua absorbida (gr)	Absorción (%)
1	24.25	10.15	6.12	1506.36	1.47	2219.20	2485.80	266.60	12.01
2	24.51	10.21	6.23	1559.04	1.42	2216.10	2495.60	279.50	12.61
3	24.32	10.37	6.28	1583.81	1.41	2234.70	2488.30	253.60	11.35
Promedios	24.36	10.24	6.21	1549.74	1.44	2223.33	2489.90	266.57	11.99

Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Agua absorbida (gr)	Absorción (%)
1	24.24	10.17	6.13	1511.17	1.48	2242.20	2608.10	365.90	16.32
2	24.35	10.22	6.12	1523.00	1.47	2235.70	2625.40	389.70	17.43
3	24.18	10.34	6.18	1545.13	1.43	2216.40	2598.80	382.40	17.25
Promedios	24.26	10.24	6.14	1526.44	1.46	2231.43	2610.77	379.33	17.00

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Agua absorbida (gr)	Absorción (%)
1	24.15	10.15	6.14	1505.05	1.48	2231.20	2595.15	363.95	16.31
2	24.51	10.24	6.21	1558.60	1.42	2214.10	2568.70	354.60	16.02
3	24.29	10.34	6.10	1532.07	1.45	2225.80	2601.70	375.90	16.89
Promedios	24.32	10.24	6.15	1531.91	1.45	2223.70	2588.52	364.82	16.41

Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Agua absorbida (gr)	Absorción (%)
1	24.51	10.12	6.18	1532.89	1.45	2216.10	2650.50	434.40	19.60
2	24.35	10.27	6.37	1592.97	1.39	2221.50	2675.80	454.30	20.45
3	24.38	10.31	6.27	1576.01	1.41	2214.60	2668.90	454.30	20.51
Promedios	24.41	10.23	6.27	1567.29	1.42	2217.40	2665.07	447.67	20.19

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Peso inicial (gr)	Peso Sss (gr)	Agua absorbida (gr)	Absorción (%)
1	24.51	10.21	6.14	1536.52	1.44	2215.10	2631.70	416.60	18.81
2	24.32	10.17	6.23	1540.89	1.44	2216.16	2598.10	381.94	17.23
3	24.61	10.30	6.28	1591.87	1.39	2215.35	2622.50	407.15	18.38
Promedios	24.48	10.23	6.22	1556.43	1.42	2215.54	2617.43	401.90	18.14

7.4 Anexo VI. Datos generales en prueba de resistencia al fuego

Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área de exposición (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo máximo de exposición (min)
1	24.65	10.16	6.17	2215.30	250.44	1545.24	1.43	168.00
2	24.56	10.25	6.21	2217.30	251.74	1563.31	1.42	185.00
3	24.27	10.17	6.14	2211.50	246.83	1515.51	1.46	184.00
4	24.16	10.22	6.11	2225.70	246.92	1508.65	1.48	179.00
5	24.38	10.51	6.13	2219.20	256.23	1570.71	1.41	195.00
Promedios	24.40	10.26	6.15	2217.80	250.43	1540.68	1.44	182.20

Tabla de datos con temperaturas en intervalos de 5 minutos en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Tiempo (min)	Temperatura °C				
	1	2	3	4	5
5	23	24.4	23.8	23.2	24
10	27.3	27.5	28.1	27.9	28.5
15	31.8	32.4	31.8	32.1	31.6
20	42.6	41.6	41.7	41.8	41.9
25	50.9	51.8	52.1	51.2	52.5
30	58.8	57.6	57.4	58.4	58.4
35	70.5	71.2	70.4	71.5	72.1
40	77.1	74.5	75.4	77.8	78.1
45	84.5	83.5	83.4	85.4	85.1
50	86	87.7	85.2	86.5	86.1
55	88	89.1	88.6	88.3	88.6
60	89.4	91.4	89.2	90.6	92.2

Ladrillos con incorporación de LDPE al 5 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área de exposición (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo máximo de exposición (min)
1	24.15	10.25	6.27	2218.80	247.54	1552.06	1.43	168.00
2	24.18	10.14	6.21	2247.40	245.19	1522.60	1.48	185.00
3	24.52	10.16	6.16	2218.70	249.12	1534.60	1.45	178.00
4	24.47	10.24	6.11	2229.20	250.57	1531.00	1.46	194.00
5	24.68	10.32	6.17	2234.10	254.70	1571.48	1.42	195.00
Promedios	24.40	10.22	6.18	2229.64	249.42	1542.35	1.45	184.00

Tabla de datos con temperaturas en intervalos de 5 minutos en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Tiempo (min)	Temperatura °C				
	1	2	3	4	5
5	23.4	23.9	23	23.1	23.4
10	27.1	26.7	27.1	27.4	27.8
15	32.8	33.8	31.5	32.8	31.4
20	41.6	42.1	42.4	41.5	41.5
25	49.8	48.9	51.2	51.9	51.2
30	58.4	56.5	58.4	57.4	58.1
35	71.5	72.1	71.5	70.6	71.4
40	76.2	77.4	77.5	77.8	77.1
45	83.4	84.1	84.6	85.6	84.1
50	86.2	88.2	85.6	86.4	86.2
55	88.2	89.6	88.2	88.3	88.7
60	89.4	92.1	89.6	90.7	89.9

Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área de exposición (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo máximo de exposición (min)
1	24.25	10.34	6.17	2217.60	250.75	1547.10	1.43	164.00
2	24.36	10.18	6.28	2229.50	247.98	1557.34	1.43	156.00
3	24.18	10.32	6.23	2224.80	249.54	1554.62	1.43	184.00
4	24.58	10.19	6.41	2216.50	250.47	1605.51	1.38	173.00
5	24.16	10.29	6.27	2220.60	248.61	1558.76	1.42	168.00
Promedios	24.31	10.26	6.27	2221.80	249.47	1564.67	1.42	169.00

Tabla de datos con temperaturas en intervalos de 5 minutos en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Tiempo (min)	Temperatura °C				
	1	2	3	4	5
5	23.4	23.1	23.1	23.5	23.6
10	27.2	26.9	27.4	27.3	26.8
15	33.4	32.9	33.7	33.8	34.1
20	41.9	50	42.5	42.1	42.5
25	52.1	51.7	51.4	51.8	51.7
30	59.8	61.2	65	60	61.5
35	71.7	70.1	72.5	70.2	74
40	79.5	78.4	77.6	78.5	78.9
45	84.2	85.4	84.9	85.3	85.4
50	86.1	86.4	86.9	86	86.5
55	87.1	88.3	88.2	88.1	88.7
60	90.7	89.7	89.2	89.6	89.4

Ladrillos con incorporación de LDPE al 10 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área de exposición (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo máximo de exposición (min)
1	24.64	10.17	6.12	2217.60	250.59	1533.60	1.45	159.00
2	24.55	10.32	6.14	2251.90	253.36	1555.61	1.45	184.00
3	24.16	10.19	6.21	2274.50	246.19	1528.84	1.49	175.00
4	24.14	10.24	6.17	2229.10	247.19	1525.18	1.46	154.00
5	24.25	10.32	6.13	2236.40	250.26	1534.09	1.46	163.00
Promedios	24.35	10.25	6.15	2241.90	249.52	1535.47	1.46	167.00

Tabla de datos con temperaturas en intervalos de 5 minutos en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Tiempo (min)	Temperatura °C				
	1	2	3	4	5
5	24.2	23.4	23	23.7	23.9
10	26.4	27.8	28.4	27.9	27.2
15	32.1	32.9	33.4	33.1	32.9
20	41.8	42.5	42.8	42.4	41.6
25	51.8	52.8	51.2	52	55.6
30	63.2	61.3	60.8	60.3	61.4
35	71.9	71	70.8	72.1	70.3
40	77.9	76.8	78.4	77.5	78.9
45	84.9	84.3	84.6	86.5	85.6
50	86.9	87.1	86.3	88.4	86.9
55	88.2	89.2	88.4	89.6	89.5
60	92.6	90.9	91.2	90.6	91

Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área de exposición (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo máximo de exposición (min)
1	24.51	10.16	6.14	2234.50	249.02	1528.99	1.46	85.00
2	24.16	10.21	6.23	2211.60	246.67	1536.78	1.44	102.00
3	24.48	10.14	6.15	2217.80	248.23	1526.60	1.45	92.00
4	24.36	10.18	6.27	2235.40	247.98	1554.86	1.44	96.00
5	24.17	10.31	6.19	2216.80	249.19	1542.50	1.44	87.00
Promedios	24.34	10.20	6.20	2223.22	248.22	1537.95	1.45	92.40

Tabla de datos con temperaturas en intervalos de 5 minutos en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Tiempo (min)	Temperatura °C				
	1	2	3	4	5
5	21	23.4	23	24.1	23.6
10	26.8	29.6	27.9	26.4	25.5
15	31.2	34.2	33.4	31.7	32.8
20	46.7	45.2	45.8	45.7	46.7
25	50.2	50.8	51.2	49.2	50.3
30	67.5	65.4	61.5	66.5	68.6
35	70.6	70.4	71.6	70.8	70.5
40	77.5	76.8	72.5	77.3	77.6
45	83.6	82.9	82.7	83.1	81.5
50	85.3	84.6	85.6	85.4	85.3
55	96.1	98.1	97.3	94.2	94.2
60	98.4	100.5	99.4	99.8	98.2

Ladrillos con incorporación de LDPE al 15 %

Tabla de datos para calculo en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.60 mm

Espécimen N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Área de exposición (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Tiempo máximo de exposición (min)
1	24.17	10.27	6.15	2216.30	248.23	1526.59	1.45	110.00
2	24.34	10.32	6.17	2226.70	251.19	1549.83	1.44	96.00
3	24.24	10.08	6.23	2251.10	244.34	1522.23	1.48	83.00
4	24.16	10.21	6.10	2238.80	246.67	1504.71	1.49	81.00
5	24.51	10.15	6.19	2229.20	248.78	1539.93	1.45	106.00
Promedios	24.28	10.21	6.17	2232.42	247.84	1528.66	1.46	95.20

Tabla de datos con temperaturas en intervalos de 5 minutos en ladrillos con un tamaño de partículas de LDPE de 0.30 mm

Tiempo (min)	Temperatura °C				
	1	2	3	4	5
5	23.5	23.6	24.2	23.1	23
10	27.8	28.4	28.7	26.2	26.4
15	33.9	32.4	31.6	30.4	32.1
20	47.1	45.1	48.4	47.3	46.7
25	51.8	52.6	51.9	49.1	51.6
30	67.5	68.1	67.2	67.1	67.4
35	71.6	70.2	71.3	70.9	72.6
40	78.4	77.5	77	76.8	78.9
45	85.4	81.3	81.6	81.7	86.4
50	86	85.1	83.2	82.4	89.3
55	88.1	86.9	85.4	84.4	95.1
60	89.3	88.4	87.9	86.9	99.7