



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL USO DE TEREFTALATO DE
POLIETILENO (PET) PARA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DIVISORIOS EN
VIVIENDAS.

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

PRESENTA:
KAREN FLOMARA ALSINA RANGEL

TUTOR
ING. GUILLERMO CASAR MARCOS
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, CD. MX, noviembre 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Primero quiero dar gracias a Dios porque me llenó de salud, sabiduría, paciencia y entusiasmo para culminar esta etapa de mi vida académica y personal.

Agradezco sinceramente a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación y por su excelencia académica.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al ingeniero Guillermo Casar Marcos, mi tutor de tesis, por su valiosa orientación, apoyo y conocimientos expertos. Su guía ha sido fundamental para el éxito de este trabajo.

También quiero agradecer a todos los docentes que compartieron su conocimiento y experiencia conmigo. Sus enseñanzas han sido clave para mi desarrollo académico.

Agradezco de corazón a mi familia, en especial mi madre, Flor María Rangel Acosta, por su amor, apoyo incondicional y sacrificios que han hecho posible mi educación; su constante aliento ha sido mi motivación. A mis amigos, les agradezco por su compañía, apoyo y momentos de distracción en este viaje académico. Su amistad ha sido un gran respaldo.

A todas estas personas, les estoy enormemente agradecido. Su contribución ha sido invaluable en mi trayectoria académica y personal.

RESUMEN

Conforme aumenta la población y se desarrollan los países, el medio ambiente se va deteriorando año tras año debido al uso desproporcionado de los recursos naturales, y a la alta producción de residuos a nivel mundial; sin embargo, a medida que el planeta se fatiga generando desastres naturales, los gobiernos de todo el mundo están apostando a reducir dichos impactos generados por el ser humano. El sector de la construcción es uno de los que más daño generan en el medio ambiente, pues es responsable de la mayor parte de las emisiones de gases, de los residuos de construcción y demolición, de la explotación de los bancos de agregados y los recursos hídricos, es por tanto una industria importante que requiere medidas para promover nuevos métodos de construcción o innovación basados en prácticas y materiales sostenibles. Otra problemática es la contaminación que se vive actualmente y se prevé a futuro por culpa de los residuos sólidos. En México solo el 6% del plástico que se produce es reutilizado (Calderón, 2022).

El objetivo de esta tesis se basa en analizar productos innovadores para construcción de muros divisorios, que requieren 100% del uso de tereftalato de polietileno (PET) o sustitución parcial del mismo, los cuales ya han sido estudiados por diferentes autores. El fin es comparar la dimensión ambiental, económica y funcional de usar materiales convencionales vs materiales con PET, y de acuerdo con eso promover su uso para lograr construcciones sostenibles, que ayuden a mitigar el impacto ambiental de los residuos plásticos.

Los resultados de la investigación muestran un gran potencial de los bloques y paneles 100% de plástico extruido como recurso para la construcción de muros divisorios, pues reduce costos en el presupuesto de obra y contribuye con el medio ambiente por su integración en la economía circular y apuesta por certificaciones ambientales.

ABSTRACT

As the population increases and countries develop, the environment deteriorates year after year due to the disproportionate use of natural resources, and the high production of waste worldwide; however, as the planet wearies itself generating natural disasters, governments around the world are betting on reducing such human-generated impacts. The construction sector is one of the sectors that generates the most damage to the environment, since it is responsible for most of the gas emissions, construction and demolition waste, the exploitation of aggregate banks and natural resources. water, is therefore an important industry that requires measures to promote new construction methods or innovation based on sustainable practices and materials. Another problem is the pollution that is currently experienced and is expected in the future due to solid waste. In Mexico, only 6% of the plastic produced is reused (Calderón, 2022).

The objective of this thesis is based on analyzing innovative products for the construction of dividing walls, which require 100% use of polyethylene terephthalate (PET) or partial substitution thereof, which have already been studied by different authors. The purpose is to compare the environmental, economic and functional dimension of using conventional materials vs materials with PET, and accordingly to promote its use to achieve sustainable constructions, which help to mitigate the environmental impact of plastic waste.

The results of the research show a great potential of 100% extruded plastic blocks and panels as a resource for the construction of dividing walls, since it reduces costs in the work budget and contributes to the environment due to its integration into the circular economy and commitment to environmental certifications.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	3
CAPÍTULO I.....	12
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Justificación	13
1.3 Viabilidad.....	14
1.4 Preguntas de investigación	14
1.5 Objetivos	15
1.6 Hipótesis.....	16
1.7 Metodología	17
1.8 Utilidad de la tesis	18
1.9 Relación de las fuentes de información a consultar.....	19
1.10 Marco teórico.....	22
CAPÍTULO II.....	29
2.1 Visión mundial	29
2.2 Visión local	34
2.3 Manejo de residuos plásticos	34
2.4 Aplicación del uso de residuos plásticos en el sector de la construcción	37
2.5 ¿Qué es el PET?.....	40
2.6 Características y propiedades del PET.....	41
2.7 Métodos de reciclaje	43
2.8 Tipos de moldeo del PET reciclado para obtener nuevos elementos	46
2.8.1 Moldeado por inyección.....	46
2.8.2 Moldeado por extrusión	47
2.8.3 Moldeado por compresión.....	48
CAPÍTULO III.....	49
3.1 Impacto ambiental.....	49
3.2 Construcción sostenible	50
3.3 Certificaciones ambientales a nivel mundial.....	51
3.4 Evaluación y certificación ambiental.....	52

3.5	<i>Importancia de las certificaciones ambientales</i>	54
3.5.1	<i>LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)</i>	56
3.5.2	<i>EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)</i>	58
3.5.3	<i>NMX-AA-164-SCF1-2013 de Edificación Sustentable</i>	59
3.5.4	<i>CASA COLOMBIA</i>	61
3.6	<i>Casos de estudio con diferentes sistemas para muros divisorios en un proyecto</i> ...	62
3.7	<i>Incorporación de fibras en morteros como sustituto de agregados</i>	62
3.7.1	<i>Caso 1 – Bloques con sustitución del 20% arena por fibras PET recicladas</i>	64
3.7.2	<i>Caso 2 – Bloques 100% de PET reciclado extruido</i>	67
3.7.3	<i>Caso 3 – Paneles 100% de PET con malla termoacústica</i>	70
<i>CAPÍTULO IV</i>		73
4.1	<i>Impacto económico</i>	73
4.2	<i>Análisis de precios unitarios (APU)</i>	80
4.2.1	<i>Precio de producción de un bloque 100% de pet extruido artesanal</i>	80
4.2.2	<i>Precio de producción de un bloque con sustitución del 20% de arena por fibras pet artesanal</i>	81
4.2.3	<i>Precio de producción de un bloque convencional de arcilla</i>	82
4.2.4	<i>Precio de producción de un bloque convencional de concreto</i>	83
4.3.1	<i>Caso 1 – Muro de bloque con sustitución del 20% de arena por PET</i>	84
4.3.2	<i>Caso 2 – Muro con bloque 100% PET extruido</i>	85
4.3.3	<i>Caso 3 – Muro con panel 100% PET y malla termoacústica</i>	86
4.3.4	<i>Muro convencional de arcilla</i>	87
4.3.5	<i>Muro convencional de concreto</i>	88
4.3.6	<i>Muro convencional de placas de yeso</i>	89
<i>CAPÍTULO V</i>		90
5.1	<i>Análisis comparativo al usar bloques de PET vs bloques convencionales</i>	90
5.2	<i>Desempeño ambiental</i>	90
5.2.1	<i>Potencial de reutilización y reciclaje</i>	91
5.2.2	<i>Residuos generados</i>	93
5.2.3	<i>Uso total de energía primaria no renovable</i>	95
5.2.4	<i>Potencial de calentamiento global (GWP)</i>	96

5.2.5	<i>Cantidad de PET retirado del medio ambiente por m2 de muro construido para mitigar la contaminación en mares por plástico.....</i>	97
5.2.6	<i>Certificación ambiental a la que se puede apuntar.....</i>	99
5.3	<i>Desempeño económico.....</i>	101
5.3.1	<i>Costo por unidad del material preparado artesanalmente.....</i>	102
5.3.2	<i>Costo de muro por m2 basado en los APUs.....</i>	103
5.3.3	<i>Costos de mantenimiento.....</i>	104
5.3.4	<i>Economía circular.....</i>	105
5.3.5	<i>Aumento de costo por peso del material usado.....</i>	106
5.4	<i>Desempeño funcional de los materiales.....</i>	107
5.5	<i>Análisis de sostenibilidad de los materiales estudiados.....</i>	109
	<i>CAPÍTULO VI.....</i>	115
6.1	<i>Modelado de la información para análisis de muros divisorios, presupuesto e impacto ambiental de un proyecto de 3 pisos con uso habitacional.....</i>	115
6.2	<i>Datos de obra (vivienda unifamiliar).....</i>	116
6.3	<i>Render proyección de vivienda realizado con software Lumion.....</i>	116
6.4	<i>Planos Arquitectónicos realizados con software ArchiCAD.....</i>	117
6.5	<i>Análisis de cargas muertas elementos no estructurales horizontales y verticales</i>	118
6.5.1	<i>Bloque de concreto macizo.....</i>	121
6.5.2	<i>Bloque de barro hueco.....</i>	121
6.5.3	<i>Panel de yeso.....</i>	122
6.5.4	<i>Bloque PET 100% extruido.....</i>	122
6.5.5	<i>Panel de PET 100% extruido.....</i>	123
6.6	<i>Modelado estructural con software CypeCAD de las cargas evaluadas.....</i>	123
6.6.1	<i>Factores para diseño por sismo.....</i>	123
6.6.2	<i>Resultados de modelado en CypeCAD con mampostería bloque concreto.....</i>	124
6.6.3	<i>Resultados de modelado en CypeCAD con bloque de barro hueco.....</i>	126
6.6.4	<i>Resultados de modelado en CypeCAD con panel de yeso.....</i>	127
6.6.5	<i>Resultados de modelado en CypeCAD con bloque PET 100% extruido.....</i>	128
6.6.6	<i>Resultados de modelado en CypeCAD con panel de PET 100% extruido.....</i>	129
6.7	<i>Análisis de precios unitarios de actividades de estructura, muros y acabados....</i>	130
6.7.1	<i>Precios unitarios con el generador de precios de Cypecad.....</i>	130

6.7.2	<i>Resultado de presupuestos obra en estudio.....</i>	135
6.7.3	<i>Cantidad de pet reciclado para uso en obra en estudio.....</i>	141
7.	<i>Conclusiones</i>	142
8.	<i>Referencias.....</i>	143

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1- Tipos de plástico objeto de investigación</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2- Productos fabricados con plástico reciclado en construcción</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3- Máquina de moldeo por inyección.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4- Máquina de moldeo por extrusión</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5- Máquina de moldeo por compresión.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 6- Requisitos obligatorios para edificaciones de obra nueva</i>	<i>60</i>
<i>Figura 7- Fibra de residuos PET</i>	<i>63</i>
<i>Figura 8- Bloque con adición de fibras PET</i>	<i>64</i>
<i>Figura 9- Bloques con sustitución de agregados por fibras PET</i>	<i>65</i>
<i>Figura 10- Bloque 100% PET extruido.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 11- Dimensiones bloque de pet 100% extruido.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 12- Panel PET con Malla.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 13- Pasos que dan forma a una economía circular.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 14- Porcentaje de residuos en la construcción y demolición de obras en México ..</i>	<i>78</i>
<i>Figura 15- Potencial de reutilización o reciclaje de casos en estudio</i>	<i>92</i>
<i>Figura 16- Desechos generados por la construcción</i>	<i>93</i>
<i>Figura 17 - Render de la edificación en estudio con software LUMION</i>	<i>116</i>
<i>Figura 18- Planta piso tipo A.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 19- Planta piso tipo B.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 20- Densidad de materiales comunes en la construcción</i>	<i>118</i>
<i>Figura 21- Cargas muertas de elementos no estructurales verticales</i>	<i>119</i>
<i>Figura 22- Cargas muertas de elementos no estructurales horizontales.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 23- Cargas muertas de elementos no estructurales horizontales.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 24- Modelo de estructura en concreto.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 25- Cantidades de obra estructura con cargas de bloque de concreto macizo</i>	<i>125</i>
<i>Figura 26- Cantidades de obra estructura con cargas de tacimbra.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 27- Cantidades de obra estructura con cargas de muro en panel de yeso</i>	<i>127</i>
<i>Figura 28- Cantidades de obra estructura con cargas de bloque PET</i>	<i>128</i>
<i>Figura 29- Cantidades de obra estructura con cargas del panel de pet.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 30- APU concreto de losa.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 31- APU concreto columnas.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 32- APU concreto vigas.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 33- APU acero losa</i>	<i>131</i>
<i>Figura 34- APU acero columnas.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 35- APU acero vigas</i>	<i>132</i>
<i>Figura 36- APU revoques con mortero.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 37- APU estuco.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 38- APU pintura interior</i>	<i>134</i>

LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1- Representación de porcentajes asignado según tipo de plástico con mayor número de investigaciones.....</i>	<i>21</i>
<i>Gráfico 2- Países con mayor producción de plásticos.....</i>	<i>30</i>
<i>Gráfico 3- Producción mundial de botellas PET.....</i>	<i>32</i>
<i>Gráfico 4- Producción anual mundial de botellas PET.....</i>	<i>33</i>
<i>Gráfico 5- Resultados de resistencia a la flexión diferentes ladrillos a los 28 días.....</i>	<i>66</i>
<i>Gráfico 6- Valor de mercado en la industria de la construcción América Latina en 2021.....</i>	<i>74</i>
<i>Gráfico 7- Producto interno bruto del sector construcción en México.....</i>	<i>75</i>
<i>Gráfico 8- Porcentajes de generación de residuos de diferentes materiales.....</i>	<i>94</i>
<i>Gráfico 9- Residuos generados en kg/m².....</i>	<i>94</i>
<i>Gráfico 10- Uso total de energía no renovable en MJ/m², entre los bloques pet, mallas PET y los materiales convencionales.....</i>	<i>95</i>
<i>Gráfico 11- Emisiones de dióxido de carbono generadas en kg/m².....</i>	<i>96</i>
<i>Gráfico 12- Peso de pet necesario por m² de muro en kg/m².....</i>	<i>98</i>
<i>Gráfico 13- Comparación costos por unidad de elementos con diferentes dimensiones... </i>	<i>102</i>
<i>Gráfico 14- Comparación costos de m² de muro con materiales estudiados.....</i>	<i>103</i>
<i>Gráfico 15- Comparación costo por mantenimiento m² cada 10 años.....</i>	<i>104</i>
<i>Gráfico 16- Comparación pesos de sistema en kg/m² de muro.....</i>	<i>106</i>
<i>Gráfico 17- Comparación de resistencia a la compresión promedio y absorción de piezas.....</i>	<i>108</i>
<i>Gráfico 18- Comparación de conductividad térmica (W/(m °C)).....</i>	<i>109</i>
<i>Gráfico 19- Comparación de costos de estructura y acabados vivienda unifamiliar.....</i>	<i>140</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1- Aplicación global actual de diferentes plásticos</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2- Mejor práctica del manejo residuos plásticos</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3- Propiedades del tereftalato de polietileno (PET)</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4- Resultados del impacto ambiental generado en los tipos de reciclaje</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 5- Primeras certificaciones ambientales a nivel mundial</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 6 – Resultados absorción del Bloque con adición de fibras PET</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 7- Ingreso de sectores económicos de producción</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 8- Empresas que implementan economía circular en México</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 9- Análisis costo de elaboración de un bloque PET 100% Extruido Artesanal</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 10- Análisis costo de elaboración de un bloque sustitución de arena por pet</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 11- Análisis costo de elaboración de un bloque arcilla artesanal</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 12- Análisis costo de elaboración de un bloque convencional de concreto</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 13- APU de muro con bloque sustitución de arena del 20% por fibra pet</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 14- APU de muro con bloque 100% pet</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 15- APU de muro con panel 100% pet</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 16- APU de muro con tabique de barro</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 17- APU de muro con bloque de concreto</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 18- APU de muro con placas de yeso</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 19 - Aspectos que se pueden destacar en la evaluación de certificaciones ambientales</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 20- Distribución de porcentajes a cada desempeño evaluado</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 21- Resultados para el valor correspondiente al desarrollo ambiental</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 22- Resultados para el valor correspondiente al desarrollo económico</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 23- Resultados para el valor correspondiente al desarrollo funcional</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 24- Resultado del índice de sostenibilidad</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 25- Presupuesto de actividades para muro en bloque de concreto macizo</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 26- Presupuesto de actividades para muro en bloque de barro hueco</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 27- Presupuesto de actividades para muro en bloque de panel de yeso</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 28- Presupuesto de actividades para muro en bloque 100% PET extruido</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 29- Presupuesto de actividades para muro en panel 100% PET extruido</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 30- Kg totales reciclados para muros de la vivienda unifamiliar</i>	<i>141</i>

CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del problema

Conforme aumenta la población y se desarrollan los países, el medio ambiente sufre un deterioro constante debido al uso desmesurado de los recursos naturales y a la elevada producción de residuos a nivel mundial. A pesar de ello, los gobiernos de todo el mundo están comenzando a tomar medidas para reducir los impactos causados por el ser humano, especialmente después de que el planeta haya experimentado desastres naturales devastadores. El sector de la construcción es uno de los principales responsables del daño ambiental, ya que contribuye significativamente a las emisiones de gases, la generación de residuos de construcción y demolición, la explotación de los bancos de agregados y los recursos hídricos. Otra problemática importante es la contaminación que surge debido a la producción de residuos sólidos, en donde sólo el 6% del plástico que se produce en México se reutiliza (Calderón, 2022).

Actualmente, el uso de materiales convencionales (como bloques de concreto, ladrillos y paneles de yeso) para construir muros divisorios es una práctica común en el sector de la construcción, sin embargo, esto representa un alto costo tanto económico como ambiental para las empresas y el entorno en general, sin considerar alternativas más sostenibles.

Por todo lo anterior, se propone un análisis comparativo de los aspectos ambientales, económicos y funcionales del uso del PET como sistema alternativo de construcción de muros divisorios (bloques 100% PET, paneles 100% PET y bloques con sustitución del 20% de arena por fibra PET) en comparación con los materiales convencionales (bloques de concreto, ladrillos y paneles de yeso). Esto permitirá evaluar las ventajas y desventajas de

cada opción y promover el uso de materiales más sostenibles en la construcción de obras verdes.

1.2 Justificación

Las empresas dedicadas a la construcción y obras civiles enfrentan altos costos económicos al preparar el mortero y concreto utilizados en diferentes actividades de construcción. En respuesta a esta problemática y a la creciente preocupación ambiental, surge la siguiente pregunta: ¿Cómo podemos contribuir al medio ambiente y al mismo tiempo reducir los altos costos que implica la fabricación y uso de concreto en obras, especialmente para elementos no estructurales?

En este estudio, se analiza el uso de plástico reciclado extruido para elementos no estructurales, como son los muros divisorios, con el fin de aprovechar dicho material y contribuir a la problemática ambiental. La idea surge del hecho de que los elementos que aún se fabrican con concreto o mortero requieren del uso de agua como recurso de fabricación, el cual cada vez es más escaso y debe ser cuidado de manera más efectiva. Además, utilizar plástico reciclado puede reducir costos en un proyecto, ya que la inversión en materia prima para el concreto es mayor que la inversión en el uso del plástico reciclado. En algunos países, contribuir al medio ambiente puede ser beneficioso para las empresas que implementan políticas ambientales.

Desde una perspectiva ambiental, el uso del plástico reciclado puede disminuir la explotación de bancos para los agregados, la huella de carbono que produce el proceso de clinkerización, la explotación del recurso hídrico y la contaminación de los mares, entre otros. En general,

utilizar plástico reciclado en la construcción puede ser una solución efectiva para abordar la problemática ambiental actual y reducir los costos económicos en la fabricación de elementos no estructurales en la construcción y obras civiles.

1.3 Viabilidad

La investigación en marcha es posible gracias al apoyo del Posgrado en Construcción de la Universidad Nacional Autónoma de México, que facilitará los medios para obtener todo el contenido literario y apoyo académico con la asignación de un tutor, así mismo el proceso de extrusión en el caso de los bloques hechos con plástico extruido serán tomado como casos de ejemplo de la investigación de diferentes autores; por otro lado se cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación y conseguir todo el material de apoyo necesario. La única deficiencia que en el momento se presenta es la gran cantidad de información para usar el plástico reciclado extruido en elementos no estructurales mencionados en el título, por ende, la búsqueda de información debe ser exhausta y acertada para poder tener claro el camino y no presentar dudas o desvíos más adelante.

1.4 Preguntas de investigación

1. ¿Cuál es el costo de producción de un muro divisorio fabricado con plástico reciclado extruido en comparación con un muro divisorio construido con bloque convencional?

2. ¿Cuál es la contribución en la problemática ambiental en cuanto a la explotación de bancos de agregados, la contaminación por plástico, el agotamiento del recurso hídrico, la contaminación por emisiones de CO₂, al utilizar plástico reciclado extruido o con adición de fibras de tereftalato de polietileno en comparación con la utilización de un bloque convencional?

Palabras clave: extrusión, durabilidad, PET, PETE, bloque, concreto, tabique, costo, APUs, ambiente, explotación, producción, cemento, arena, grava, plástico, reciclaje, sostenibilidad, economía circular.

Alcance: esta investigación no determina las causas de los fenómenos o las condiciones en las que se puedan manifestar, lo cual la orienta a tener un alcance cuantitativo con enfoque correlacional, ya que tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más variables o categorías en un contexto particular, teniendo en cuenta que debemos cuantificar para así poder analizar.

1.5 Objetivos

Objetivo general:

Analizar desde el punto de vista económico y ambiental el uso del tereftalato de polietileno como material para la construcción de elementos no estructurales como son los muros divisorios.

Objetivos específicos:

- Estudiar la durabilidad que presenta el tereftalato de polietileno extruido como elemento no estructural.
- Determinar los factores ambientales que se benefician al implementar el uso tereftalato de polietileno reciclado para construcción de muros divisorios.
- Analizar las certificaciones ambientales a las que pueden aspirar las empresas que usen el tereftalato de polietileno como alternativa de construcción de muros divisorios.
- Comparar costos de producción de bloques convencionales vs bloques de tereftalato de polietileno reciclado extruido.
- Comparar costos de producción de bloques convencionales vs bloques con adición de fibras de plástico reciclado.
- Comparar costos de producción de bloques convencionales vs paneles de plástico reciclado extruido.

1.6 Hipótesis

A continuación, se describen las hipótesis asociadas al proyecto de investigación.

1- Sustituir elementos de concreto y mortero en la fabricación de muros divisorios, por elementos de plástico reciclado extruido o con adición de fibras de tereftalato de polietileno disminuye los costos en un proyecto de construcción.

2- Utilizar PET como reemplazo de concreto o mortero en elementos no estructurales como muros divisorios disminuye un porcentaje en la explotación de bancos de agregados.

4- Utilizar plástico reciclado como reemplazo de concreto en elementos no estructurales como muros divisorios disminuye la contaminación en los mares por plástico.

6- La producción de un bloque de plástico reciclado extruido implica un menor uso de energía que la producción de bloques convencionales.

7- El peso considerado para cálculos estructurales de una edificación diseñada con muros divisorios de plástico reciclado extruido, es menor en comparación de una edificación diseñada con bloques convencionales.

1.7 Metodología

La metodología que se implementará en la investigación está constituida por las siguientes etapas:

Investigación previa: en esta etapa se procederá a investigar sobre trabajos, investigaciones, o cualquier tipo de información afín con el tema de utilización de plástico reciclado para fabricar elementos estructurales y no estructurales.

Recolección de materiales y preparación: Para la fabricación de los elementos, se usarán los resultados obtenidos por investigadores que usaron tereftalato de polietileno (PET) extruido y bloques con fibras de tereftalato de polietileno para conocer el comportamiento y

así evaluar y comparar resultados de sus propiedades físicas y mecánicas con las de bloques tradicionales.

Aplicación de los sistemas a evaluar en un proyecto: Este trabajo revisa, analiza y compara exhaustivamente los resultados obtenidos por diferentes investigadores sobre las propiedades de los materiales de construcción de estudio, en muros divisorios aplicados a un proyecto de viviendas, de igual forma se establecen los impactos ambientales y económicos cuando se usa dicho material.

Análisis de resultados: de acuerdo con los resultados obtenidos mediante la revisión exhaustiva (comparación de propiedades mecánicas de los elementos y los materiales (bloques convencionales, bloques de plástico y paneles de plástico), se estará realizando el análisis de precios unitarios de los elementos a producir en concreto y en plástico reciclado para determinar, evaluar la mejor alternativa para poder dar una clara respuesta, a la investigación.

1.8 Utilidad de la tesis

La tesis que presento será de gran utilidad para empresas del sector privado y público, especialmente aquellas que se encargan de proyectos urbanísticos como viviendas de interés social. Este trabajo ofrece una alternativa a los bloques convencionales, utilizando plástico reciclado en su lugar. Además de ser beneficioso desde el punto de vista económico, el uso de este material es también altamente beneficioso para el medio ambiente, lo que se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030.

La implementación de esta alternativa no solo contribuye al cuidado del medio ambiente, sino que también puede ayudar a las empresas a obtener certificaciones ambientales, demostrando su compromiso con el medio ambiente y la comunidad. En consecuencia, esto puede tener un impacto positivo en la sociedad, especialmente en la construcción de viviendas y en la comunidad de construcción en general. Por lo tanto, la información proporcionada en esta tesis puede ser de gran ayuda para las empresas en las etapas de prediseño, investigación, planificación y estudio económico del proyecto.

certificaciones ambientales que acrediten la calidad y el compromiso ambiental al que apuestan como empresa, dando como resultado un impacto positivo en la comunidad de construcción de viviendas y en la sociedad.

1.9 Relación de las fuentes de información a consultar

La búsqueda de la información se realizó por medio de las bases de datos que ofrece la biblioteca German Bula Meyer perteneciente a la Universidad del Magdalena, específicamente en ScienceDirect, Scopus, Jstore; utilizando como frases claves como plástico extruido, plástico reciclado, elementos no estructurales en plástico reciclado y utilización de plástico reciclado extruido. La base de datos arrojó un resultado de 7290 artículos publicados, luego, teniendo en cuenta los resultados en los cuales se presentó la utilización de PET y PETE en elementos no estructurales, se realizó el análisis detallado a los artículos seleccionados, basándose en toda información considerada como importante. Las referencias fueron buscadas a lo largo de los 20 últimos años (2001-2021). De la misma forma se utilizó Google Academic, en el cual se buscó libros, y trabajos de investigación publicados relacionados con el uso de plástico resultado en elementos de construcción. Se

tuvieron en cuenta la realización de tablas y gráficas para mostrar de manera eficiente y clara la información consultada, las cuales se presentan y detallan a continuación:

De acuerdo con lo anterior; en la etapa 1 se realizó la tabulación por medio de un mapa conceptual tipo radial, de los tipos de plástico que fueron objeto de estudio en los artículos a los cuales se les hizo la revisión como muestra la figura 1.

Figura 1- Tipos de plástico objeto de investigación



Nota. Fuente propio autor

Resultados de la etapa 2. Se puede observar las proporciones de las investigaciones con más relevancia. Se tuvo en cuenta el tereftalato de polietileno en la construcción como punto de

partida del 100% ya que ésta tenía el mayor número de publicaciones, de allí hacía abajo al disminuir los autores que investigaron sobre el resto de los tipos de plástico mencionadas representado en el gráfico 1 de la siguiente manera:

Gráfico 1- Representación de porcentajes asignado según tipo de plástico con mayor número de investigaciones



Nota. Fuente propio autor

1.10 Marco teórico

En la actualidad, las empresas en todo el mundo buscan reemplazar los materiales tradicionales utilizados en la construcción debido a sus altos costos e impacto ambiental. Con el tiempo, ha surgido una creciente necesidad de nuevos materiales que sean de menor costo, se adapten a las necesidades requeridas y presenten un adecuado comportamiento mecánico, físico y químico. Además, se requiere que estos nuevos materiales sean más eficientes y eficaces que los utilizados actualmente.

En cuanto al término "reciclaje", actualmente no existe una definición universalmente aceptada. Para el público en general, reciclar es sinónimo de recolectar materiales para volver a utilizarlos, pero esto es solo el principio del proceso de reciclaje. Una definición acertada señala que el reciclaje consiste en aprovechar materiales u objetos que la sociedad de consumo ha descartado por considerarlos inútiles, es decir, darles un nuevo valor para que puedan ser reutilizados en la fabricación o preparación de nuevos productos, que no necesariamente tienen que parecerse al producto original en forma o aplicación (Naranjo & Merchán, 2014).

En 1953, Karl Ziegler, un químico alemán, descubrió el polietileno, y al año siguiente, en 1954, el polipropileno fue desarrollado por Giulio Natta de Italia. Estos dos tipos de plásticos son actualmente los más utilizados. En 1963, los dos químicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios en polímeros. El PET, también conocido como tereftalato de polietileno, es uno de los plásticos más fáciles de recuperar y reciclar a partir de residuos sólidos. Puede ser reutilizado en una variedad de productos como fibra de relleno, cintas de embalaje, geotextiles y más. A medida que la industria de envases sigue la tendencia de

optimización, el PET ha seguido esta dirección, utilizando una menor cantidad de material para cumplir su función. (Ross et al., 2001).

El reciclaje primario mecánico se lleva a cabo mediante la molienda y el calentamiento por extrusión de los residuos plásticos para su transformación en un material con propiedades físicas y químicas casi idénticas a las del original, y tiene la ventaja de que puede repetirse una y otra vez. El material recuperado generalmente se utiliza en la industria de la construcción (Virginie, 2011). La extrusión de polímeros es un proceso industrial mecánico en el que se realiza el moldeo del plástico.

El material se alimenta mediante una tolva en un extremo de la máquina y se mezcla en el cuerpo de la extrusora mediante un flujo continuo con presión y empuje, obteniendo un perfil geométrico preestablecido en el otro extremo (Fink, 2013). Los compuestos fabricados con plástico se han destacado entre los productos que presentan un aumento de la rigidez y bajos costos, y son actualmente usados en la industria de la construcción para revestimientos, marcos de puertas, ventanas y cubiertas, como reemplazo a la madera tradicional tratada a presión. Estos productos son resistentes a la humedad e insectos y no presentan pudrición, ni deformación, (Li y Matuana 2003).

El PIC (siglas en inglés para "Símbolo de Identificación de Plásticos") fue creado por la Sociedad de la Industria del Plástico para proporcionar un sistema uniforme de identificación de diferentes tipos de polímeros y ayudar a las empresas de reciclaje a separar los distintos tipos de plástico para su reprocesamiento. En algunos países es obligatorio que los fabricantes de productos plásticos coloquen identificaciones PIC (Delgado, 2014).

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta la sociedad actualmente y seguirá haciéndolo en el futuro es el consumo de plástico. Este material es uno de los desperdicios

más contaminantes y requiere años para biodegradarse. Además, la producción de plástico ha aumentado exponencialmente en las últimas décadas. El 79% del plástico desechado se encuentra en vertederos o en el medio ambiente, mientras que solo el 12% se incinera y el 9% se recicla (El Economista, 2018). Cada segundo, más de 200 kg de plástico terminan en mares y océanos (Fundación Aquae, 2019).

Desafortunadamente, el plástico tiene características como brillo, impermeabilidad, resistencia al impacto y ser inerte, lo que le permite estar en contacto con alimentos, pero también lo convierte en un problema ambiental, ya que no se degrada de forma natural y puede permanecer en la naturaleza durante mucho tiempo.

El Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca estiman que aproximadamente el 6% de las 85,000 toneladas de residuos por día en México se reciclan o reutilizan, principalmente en las grandes ciudades (Juárez, et al; 2011). Además, entre el 30% y el 40% de los residuos sólidos en México, según el INE, provienen de paquetería, y hay un 10% a 30% adicional (15% en la Ciudad de México) de residuos industriales. Si bien no hay una definición uniforme de qué constituyen los residuos industriales, los estudios realizados por la Oficina General de Servicios Urbanos del Gobierno del Distrito Federal han encontrado que el 90% de los residuos industriales en la Ciudad de México consisten en concreto, bloques de cemento o ladrillos y material de excavación y plásticos (Frías, 2009).

Sin embargo, la reutilización de los plásticos en empresas mexicanas, como materia prima, es mínima. De acuerdo con Santiago García (2007), Gerente General del APREPET, en el documento "Los precios del PET en el mercado internacional", el proceso de transformación de las botellas de PET en materia prima nueva se limita al triturado de las mismas. En el

reciclaje del PET, se llevan a cabo etapas como el acopio, la limpieza, la selección y el triturado, con el fin de obtener hojuelas. Es importante destacar que, en comparación con otros productos, los plásticos no tienen un valor significativo en el mercado. A diferencia del aluminio, el hierro, el papel y el vidrio, que son comprados por las empresas recicladoras, el PET usado tiene un bajo valor de compra. (Juárez et al., 2011).

Una ventaja para los fabricantes y consumidores de bebidas es que las botellas de plástico son ligeras y ocupan mucho volumen. Por ejemplo, una botella de refresco de 600 ml solo pesa 30 gramos, lo que reduce significativamente los costos de transporte. Sin embargo, para los recolectores, esto implica tener que juntar 33 botellas para obtener un kilogramo. Algunas empresas están abordando esta situación mediante la instalación de centros de acopio donde se prensa o muele el material, facilitando así su transporte. No obstante, el mercado del PET es fluctuante y la tecnología de transformación está principalmente en manos de países desarrollados, según menciona el documento elaborado por la Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental (Juárez et al., 2011). Sustanciales esfuerzos hoy día se están realizando para mejorar las deficiencias que presentan los compuestos de plásticos (fragilidad). Recientemente, el concepto de la creación de estructuras celulares espumadas está siendo incorporada a través de procesos de extrusión e inyección y se ha demostrado mejoras significativamente en estas deficiencias. Debido a la presencia de burbujas, la densidad del plástico se ha reducido considerablemente (reducción de peso), disminuyendo el costo e importantes mejoras en la ductilidad y resistencia al impacto se han logrado, como lo indican Matuana et al. (2003); Kishbaugh et al. (2002); Bledzki y Faruk (2006). Por otro lado, el costo de producir y comprar la materia prima para preparar el concreto y el mortero cada día se eleva más, los recursos son cada vez más limitados y más

protegidos, debido a lo anterior se busca reemplazar esos elementos que aún siguen diseñándose en dicho material por elementos diseñados con plástico reciclado extruido, pues beneficiaría en aspectos económicos, ambientales, y hasta culturales, pues se podría ir concientizando a las personas para que cada vez más se sumen a la práctica del reciclaje.

Dentro de la tecnología de reciclado mecánico, existen diversos desarrollos y estudios sobre el PET como el realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en la que convierte el PET en escobas, láminas translúcidas, canales para irrigación, tuberías para drenaje y otros productos, la revista electrónica “Reciclar para ganar: el mejor negocio” refiere que científicos de la UNAM, del Instituto de Investigaciones en Materiales, utilizan las nanopartículas y un cabezal mezclador para exfoliar las arcillas por medio de la incorporación química de partículas, que son de dimensiones nanoscópicas (más pequeñas que las microscópicas), que le confieren al PET propiedades excepcionales. (Sánchez, 2007).

Aunque el reciclado mecánico de plásticos para carga en mezclas de cemento presenta la ventaja de la incorporación del residuo en la producción, se ha probado que algunas propiedades técnicas de los morteros y hormigones con el agregado de plásticos se ven afectadas negativamente. Son destacables las propiedades de los mampuestos de plástico PET desarrollados por Gaggino (2009) o la mejora frente a la aparición de fisuras por dilatación o a la retracción a bajas temperaturas, de algunos hormigones con fibras plásticas (Choi, Moon, Chung, & Cho, 2005) (Chandra, Aavik, & Berntsson, 1982). Además, en el primer caso, la tecnología fue transferida a numerosos productores. Sin embargo, recientemente nuevos métodos para la incorporación del plástico PET, en procesos de reciclado y nueva producción de piezas moldeadas han sido investigados. En estos a diferencia de los anteriores son aprovechadas todas sus características técnicas como,

facilidad en el moldeo, resistencia mecánica, impermeabilidad y posibilidad de reciclado en procesos sucesivos. Ejemplo de esto son los desarrollos de plásticos mezcla de PET y PE, con aditivos en algunos casos que cita Gonzalez, et al, 2018, los cuales permiten reincorporar el plástico nuevamente a procesos de inyección o extrusión obteniendo piezas de propiedades mecánicas similares a las de los vírgenes. Es importante resaltar que el reto de utilizar dicho plástico radica en el reciclado que se lleva actualmente, debido a los diferentes pesos moleculares de sus largas cadenas de polímero, los plásticos poseen una baja entropía de mezclado. Por lo que cuando diferentes tipos de plástico se mezclan, tienden a separarse en capas por fases, como el aceite y el agua, de tal forma que los tipos de plásticos tienen que ser idénticos para mezclarse eficientemente. Las interfaces entre fases causan puntos estructurales débiles en el material que se obtiene, por lo que las mezclas de distintos polímeros poseen muy pocos usos, otro problema al reciclar el plástico es el uso de tintes, rellenos y demás aditivos que están en los plásticos, que generalmente son difíciles de eliminar sin dañar al plástico. Una última barrera es que muchos artículos pequeños y comunes, como los cubiertos de plástico, no tienen el símbolo universal del triángulo y su número correspondiente (Castells & de Gracia, 2012).

Respecto a utilizar dicho plástico como muros divisorios con el pasar del tiempo, surgieron cambios, reformulaciones o nuevos métodos de construcción de viviendas prefabricadas. Por ejemplo, arquitectos como Walter Gropius o Frank Lloyd Wright incorporaron diseño y producción a las viviendas utilizadas en Alemania tras la primera Guerra Mundial, o en Estados Unidos, tras la crisis del 29, las cuales eran accesibles y se utilizaban principalmente materiales como hierro y acero. En el artículo Las casas prefabricadas y su historia, señalan que Wright “produjo cerca de novecientos dibujos de un sistema de viviendas en las que la

estructura de madera, los revestimientos, las vigas, las viguetas, el tejado, las molduras, las ventanas y las puertas estarían cortadas con precisión en taller de forma que no requirieran labores carpintería in situ, salvo el ensamblaje de piezas” (Mahecha, 2013).

Si se comparan las casas prefabricadas con las de mampostería en ladrillo, se encuentran diferencias significativas, como las que se plantean en el reportaje construcciones modulares prefabricadas: Versatilidad y fiabilidad. Soluciones rápidas y de calidad: “El impacto medio ambiental de las diferentes soluciones modulares es menor, ya que se lleva a cabo un mayor control en la gestión de residuos, se producen menores emisiones de polvo y de ruido en obra y el tráfico rodado de mercancías es mínimo. Respecto a la arquitectura modular e industrializada, la industrialización del proceso permite un uso más racional de los recursos y la disminución del impacto durante la construcción, así como de los residuos generados.

Por todo lo anterior el presente proyecto, apuesta por la reutilización del plástico para elaborar elementos no estructurales, en este caso en muros divisorios teniendo en cuenta la investigación existente de diferentes autores.

CAPÍTULO II

2.1 Visión mundial

Analizando el sector de la construcción rápidamente se advierte que, a pesar de todas las medidas que han sido implementadas por los gobiernos, aún está lejos de ser considerado sustentable, comprometiendo así la calidad de vida de las futuras generaciones. De este modo se puede decir que la producción de productos de plástico aumenta de manera exponencial y no se ataca dicha problemática por las ineficientes medidas que establecen los gobiernos para poder lograr edificaciones sustentables.

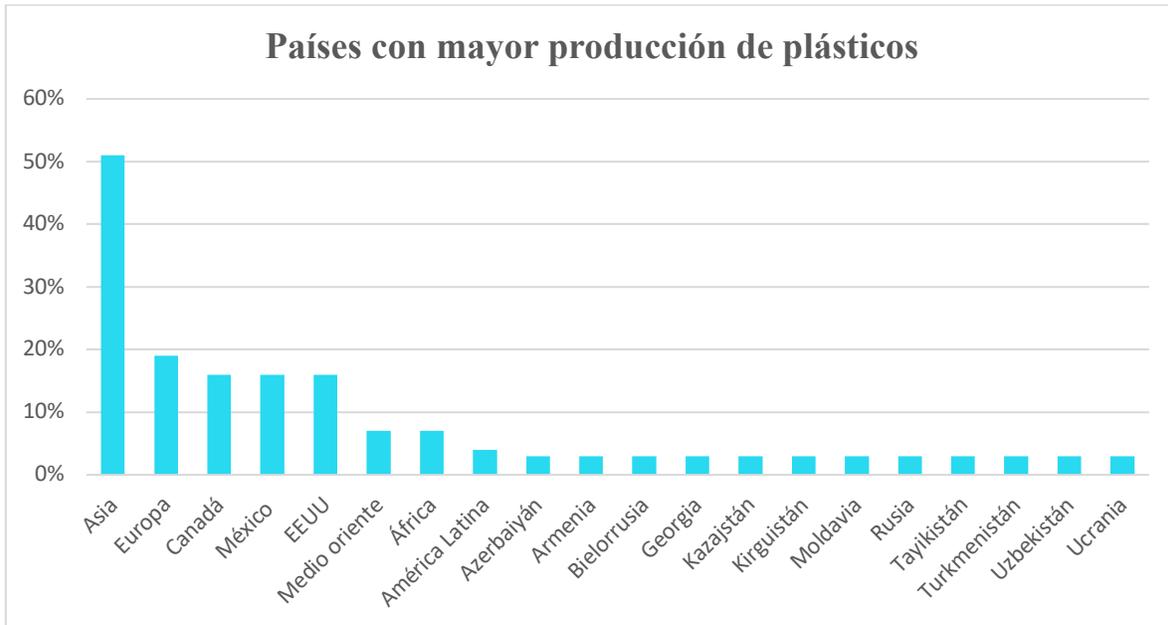
Los plásticos se utilizan ampliamente en muchas aplicaciones debido a su combinación única de ligereza, alta durabilidad y otras propiedades inherentes. La producción mundial de plásticos aumentó de 180 millones de toneladas en 2000 a 360 millones de toneladas en 2020 (duplicándose en los últimos 20 años). Datos publicados por (W. Ferdous et al., 2021) indican lo siguiente:

“Asia es el mayor productor de plásticos (51% del total) seguido de Europa (16%), la zona del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN, es decir, Canadá, México y Estados Unidos) (19%), Oriente Medio Oriente, África (7 %), América Latina (4 %) y la Comunidad de Estados Independientes (CEI, es decir, Azerbaiyán, Armenia, Bielorrusia, Georgia, Kazajstán, Kirguistán, Moldavia, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Uzbekistán y Ucrania) (3%) (Plásticos-Europa 2020). Los principales tipos de plásticos son el polipropileno (PP), el polietileno de baja densidad (LDPE),

el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno de alta densidad (HDPE), el tereftalato de polietileno (PET o PETE) y el poliestireno (PS).

En el gráfico 2 se puede observar qué países producen más residuos plásticos a nivel mundial, algunos de estos países tienen importantes sanciones gubernamentales, pero otros se quedan atrás y solo apuestan al movimiento de la economía al país, lo cual los lleva a ser más flexibles con sus sanciones gubernamentales y no tan amigables con las construcciones sostenibles.

Gráfico 2- Países con mayor producción de plásticos.



Nota. Adaptado de los datos obtenidos por (Plásticos-Europa 2020).

En la tabla 1 se presenta un resumen de la producción global, propiedades, reciclabilidad y las aplicaciones actuales más comunes que se llevan a cabo con los plásticos.

Tabla 1- Aplicación global actual de diferentes plásticos

Tipo de plástico	% del total	Propiedades	Reciclaje	Uso	Referencia
PP	26.8%	Semi rígido	Si	a	(Fiona 2018)
LDPE	20.3%	Flexible y que se rompen fácilmente	Reutilizable	b	(Hahladakis et al., 2018)
PVC	18.3%	Plástico frágil	Rara vez	c	(Cao, 2010)
HDPE	17.9%	Plástico grueso al tacto	Si	d	(Eriksen et al., 2019)
PET o PETE	8.6%	Plástico resistente	Si	e	(Fan et al., 2014)
PS y otros	8.1%	Rígido o espumado	Generalmente no	f	(Hahladakis and Iacovidou, 2018)

Nota. (Plastics-Europe; citado por W. Ferdous et al . 2021)

a- Botellas de medicinas, vasos de yogur, utensilios de cocina, etc.

b- Bolsas de plástico, envoltorios de plástico.

c- Envoltura de alimentos, cortinas de baño, botellas de aceite, tuberías de plomería, colchones inflamables, etc.

d- Frascos de leche, botellas de jugo y detergente, tinas de mantequilla, recipientes de artículos de tocador.

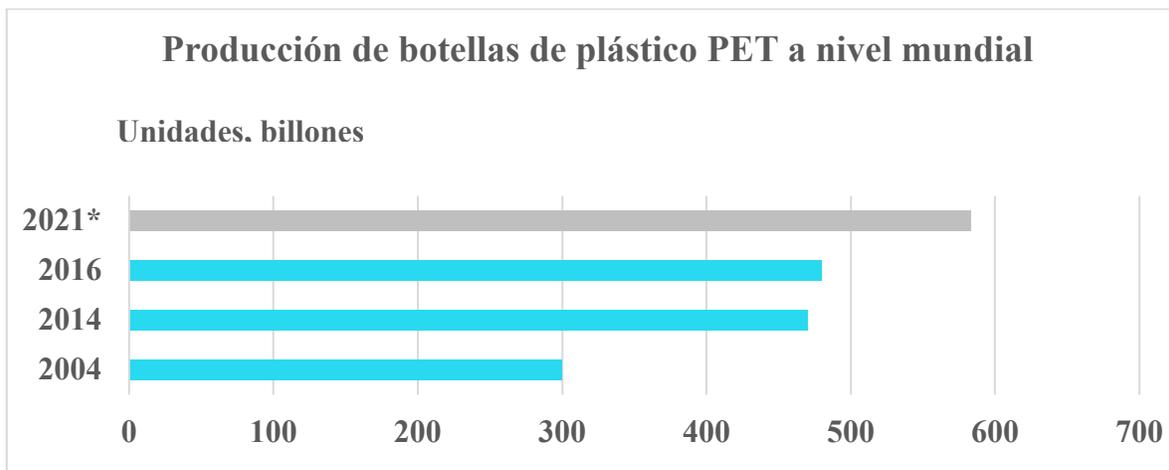
e- Envases de alimentos y bebidas.

f- Envases de yogur, estuches de CD, empaques de paquetes, materiales para llevar, vasos desechables.

Según el informe de tendencias globales de envases de Euromonitor International, publicado en “The Guardian” en 2017, se ilustraron las cifras de producción del polietileno de

tereftalato; en 2016 se vendieron más de 480 mil millones de botellas de plástico en todo el mundo. Si se colocaran uno al lado del otro, se extenderían más de la mitad del camino hacia el sol. El mismo informe estima que se producen alrededor de 20.000 botellas de plástico por segundo, y que para finales del año 2021 se venderán más de 583.300 millones de botellas PET, como se puede apreciar en el gráfico 3.

Gráfico 3- Producción mundial de botellas PET.

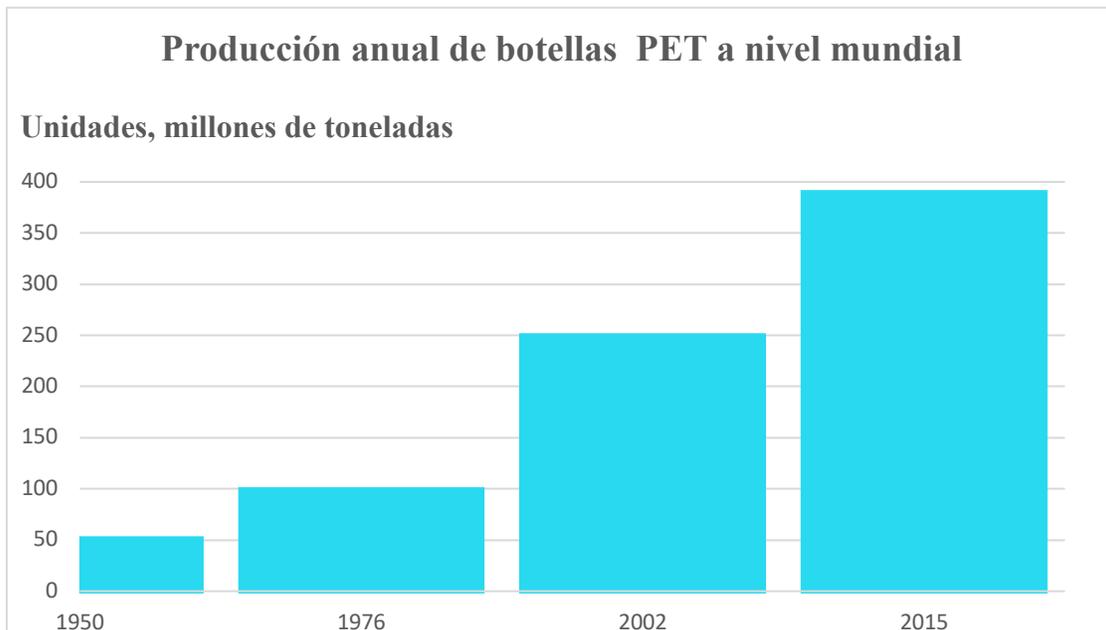


Nota. Adaptado de (Laville & Matthew Taylor, 2017).

“Hugo Tagholm, del grupo activista y de conservación marina Surfers Against Sewage, dijo que las cifras eran devastadoras. “La crisis de la contaminación plástica rivaliza con la amenaza del cambio climático, ya que contamina todos los sistemas naturales y un número cada vez mayor de organismos en el planeta Tierra. En el Reino Unido, se utilizan 38,5 millones de botellas de plástico todos los días: solo un poco más de la mitad se recicla, mientras que más de 16 millones se depositan en vertederos, se queman o se filtran al medio ambiente y los océanos cada día”.

“La producción de plástico se duplicará en los próximos 20 años y se cuadruplicará para 2050, por lo que ahora es el momento de actuar”, dijo Tagholm. La cantidad de plástico producido en un año es aproximadamente el mismo que el peso total de la humanidad. (The Guardian, 2017).

Gráfico 4- Producción anual mundial de botellas PET.



Nota. Adaptado de (Laville & Matthew Taylor, 2017).

Las principales marcas de bebidas producen la mayor cantidad de botellas de plástico. CocaCola produce más de 100 mil millones de botellas de plástico desechables cada año, o 3400und/seg, según un análisis realizado por Greenpeace después de que la compañía se negara a revelar públicamente su uso global de plástico. Las seis principales empresas de bebidas del mundo utilizan un promedio combinado de solo el 6,6 % de PET reciclado en sus productos, según Greenpeace. Un tercio no tiene objetivos para aumentar su uso de plástico reciclado y ninguno tiene como objetivo utilizar el 100% en su producción global. (Efe, 2021).

2.2 Visión local

La fabricación de plástico en México tiene un costo de 25 mil millones USD al año, pero solo el 13% de este es reciclado debido a la falta de elementos y equipos necesarios para llevar a cabo un mayor porcentaje de reciclaje de PET. Esto se debe principalmente a que la sociedad mexicana no tiene una cultura establecida de reciclaje y clasificación de residuos. Es importante destacar que el plástico puede ser reciclado en un 95% si se recupera después de su uso para ser reutilizado en una segunda y tercera generación (García, 2017).

En cuanto a la economía de México en la producción y reciclaje de plástico, este es uno de los sectores más dinámicos debido a su tasa de crecimiento anual superior al 7%, lo que indica su estabilidad. Para el año 2011, el consumo de plásticos en el mercado mexicano fue de 5,300,000 toneladas (Morales, 2014). Según un informe de la SEMARNAT citado por Moreno et al (2014), los residuos de envases plásticos han presentado el mayor crecimiento en los últimos 15 años, cuadruplicando su porcentaje en peso en la mezcla de residuos sólidos urbanos (RSU), en comparación con el papel o el vidrio que han duplicado su volumen de generación.

2.3 Manejo de residuos plásticos

En la actualidad existe una gran disputa sobre si los residuos plásticos deben reciclarse, quemarse o desecharse en vertederos. Las opiniones difieren dependiendo de los problemas que se presentan, sean estos de salud, económicos y ambientales. “El mejor enfoque para el tratamiento de residuos plásticos se puede evaluar por su potencial de calentamiento global

(PCG) y el uso total de energía (TEU). Durante los últimos 20 años, varios estudios han analizado la gestión de los residuos plásticos desde la perspectiva del ciclo de vida” (Roussinos & Cestari, citado por Ferdous, W., et al, 2021).

En la Tabla 2, se resumen los hallazgos de estos estudios y se comparan los resultados del reciclaje (R), la incineración (I) y el vertedero (V) de residuos plásticos en función de su impacto. Los resultados se presentan de menor a mayor impacto, es decir, $R < V < I$. Esto indica que la mejor práctica para la gestión de residuos plásticos es el reciclaje, seguido del vertedero y, por último, la incineración.

Los estudios realizados por los autores citados en la Tabla 2 demuestran que el reciclaje es la forma más favorable de manejar los residuos sólidos, ya que presenta el menor potencial de calentamiento global y el menor uso total de energía. Es importante tener en cuenta que, teóricamente, por cada tonelada de plástico reciclado se evita la producción de una tonelada de plástico nuevo. No obstante, aún existe incertidumbre sobre si el plástico reciclado debería ser o no reutilizado. Además, es crucial tener en cuenta que no es fácil decidir utilizar plástico reciclado, ya que depende en gran medida de la economía del petróleo. Si el precio del petróleo cae, resulta más económico producir plástico nuevo que reutilizar el que ya está en circulación. En resumen, la gestión de residuos plásticos es un tema complejo y controversial, y se debe abordar desde una perspectiva global que tenga en cuenta los impactos económicos, sociales y medioambientales a largo plazo. El reciclaje parece ser la mejor opción para minimizar el impacto de los residuos plásticos, pero se requiere una mayor cultura y compromiso social para alcanzar una verdadera gestión sostenible. A continuación, se presenta el resultado de diferentes investigadores sobre el manejo del plástico.

Tabla 2- Mejor práctica del manejo residuos plásticos

Reciclaje (R), Vertedero (V) e Incineración (I)

Año de estudio	Materiales / Aplicación	PCG	TEU	Referencia
2019	PET and PE	R<V<I	-	(Aryan et al., 2019)
2018	Film plástico	R<V<I	-	(Hou et al., 2018)
2013	PET	R<V<I	R<V<I	(Foolmaun and Ramjeeawon, 2013)
2012	Plásticos	R<V<I	R<I<V	(Al-Maaded et al., 2012)
2010	Plásticos no reciclables	R<I	-	(Chilton et al., 2010)
2009	Plásticos	I<V	-	(Eriksson and Finnveden, 2009)
2008	Plásticos	R<V<I	R<I<V	(Shonfield, 2008)
2008	Plásticos (PE, PS y PVC)	R<I	-	(Dodbiba et al., 2008)
2006	HDPE, LDPE y PET	R<V<I	R<I<V	(EPA 2006)
2005	PE, PP, PS, y PET	R<V<I	R<I<V	(Eriksson et al., 2005)
2005	PE y PET Contenedores de plástico	R<V<I	R<I<V	(Perugini et al., 2005)
2005	PVC	R≈I<V	R<I<V	(Finnveden et al., 2005)
	PE, PP, PS, PET y PVC	I<V<R	I<R<V	(Finnveden et al., 2005)
2004	Bolsas de empaque	R<I	-	(Beigl and Salhofer, 2004)
2004	Plásticos	R≈I	-	(Wenisch et al., 2004)
2003	PE y PET contenedores de plástico	R<V<I	R<I<V	(Arena et al., 2003)
2001	PET, HDPE y PVC	R<V	R<V	(Grant et al., 2001)
2001	Bolsas de empaque	R<V<I	R<I<V	(Wollny et al., 2001)

Nota. (Plastic-expert; “Sin embargo, reciclar en general es la mejor de las tres opciones”. citado por W. Ferdous et al. 2021)

El PET, debido a sus propiedades físicas, puede permanecer en los vertederos durante más de 500 años, lo que resulta en una acumulación significativa de residuos plásticos. En el océano, la misma botella de PET se descompone en micro plásticos y persiste durante otros 500 años, lo que contribuye a la contaminación marina. A medida que estos son consumidos por los animales marinos, ingresan a la cadena alimentaria y eventualmente a los seres

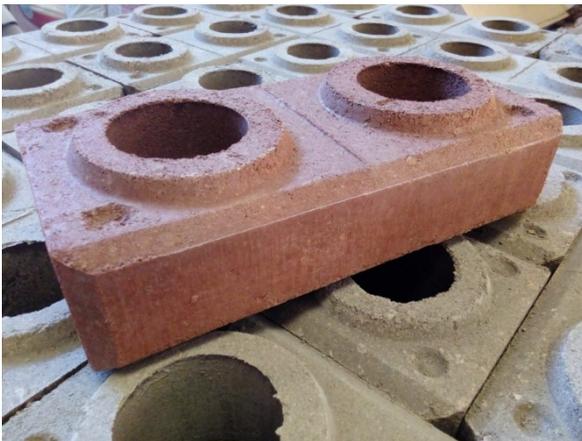
humanos que los consumen. De esta manera, los micro plásticos representan una amenaza significativa para la salud pública (De Osés Francesc Xavier, 2022). Además, en los océanos es responsable de la muerte de millones de animales marinos cada año y ha llevado a la extinción de algunas especies.

2.4 Aplicación del uso de residuos plásticos en el sector de la construcción

Los desechos plásticos deben reducirse, reutilizarse y reciclarse para apoyar el desarrollo sostenible. Además del concreto (Siddique et al., 2008, p. 5), los desechos plásticos se utilizan para fabricar bancos, cubiertas, cercas, losas, productos de jardinería, pavimentos, componentes de puentes, tuberías y soportes. Algunas aplicaciones se muestran en la Figura 2. Los productos de plástico reciclado no solo son buenos para el medio ambiente, sino que también brindan una solución económica para reemplazar los materiales naturales tradicionales.

Figura 2- Productos fabricados con plástico reciclado en construcción

a- Ladrillos



b- Láminas o tejas para cubierta



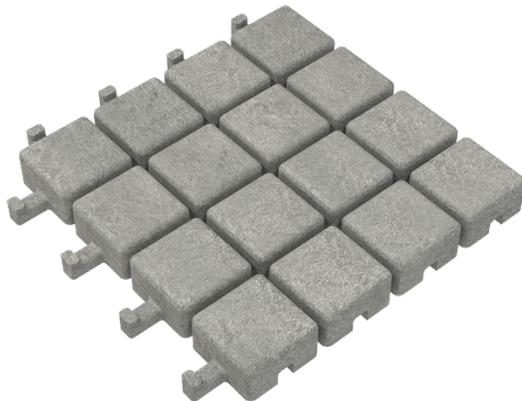
c- Bancas urbanos



d- Separador de carril de bicicletas



e- Adoquines



f- Tubería de plástico reciclado



Nota. (rte 2021; Redacción inmobiliarie 2020; Ecoinventos 2015; Adoquines 2021)

Para lograr una integración efectiva de las dimensiones ambiental y económica en la sostenibilidad de una construcción, se deben tomar decisiones y medidas específicas que permitan establecer una relación coherente entre ambas, sin descuidar la dimensión social que no es objeto de estudio en este trabajo de investigación. Por lo tanto, es fundamental analizar la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción para identificar los materiales y soluciones constructivas que tienen el mayor impacto ambiental y aquellos que no permiten la economía circular. Además, se deben considerar los materiales que pueden

causar problemas de salud a largo plazo para los ocupantes del edificio, lo que puede generar la necesidad de mantenimiento o rehabilitación en el futuro.

Según Mateus & Bragança, 2006: teniendo en cuenta lo anterior, enfocándose en lo que respecta los materiales de construcción se puede elegir en construcción de acuerdo con lo siguiente:

- **Materiales con baja energía incorporada (PEC):** PEC corresponde a la energía consumida durante la producción de materiales (extracción, transporte y procesamiento de materias primas), lo que corresponde a aproximadamente el 80% de la energía incorporada en los materiales a lo largo de todo su ciclo de vida.
- **Materiales de bajo impacto ecológico:** Materiales cuyo ciclo de vida no suponga emisiones significativas de gases por efecto invernadero (GEI). Además, se deben evitar los materiales compuestos, es decir, materiales que contienen áridos tomados de la naturaleza y que, además de este problema, no pueden separarse al final de su ciclo de vida para su posible reutilización.
- **Materiales con alto potencial de reutilización y reciclaje:** Materiales cuya reutilización/reciclado es posible y que conlleva un menor gasto energético y menores emisiones de GEI que la producción de estos materiales vírgenes.
- **Analizar los costos asociados al ciclo de vida de los materiales:** Considerar no solo el costo de adquisición de materiales, sino también los costos de operación, mantenimiento y rehabilitación. Además de lo anterior, optar por materiales que puedan entrar en la economía circular, es decir, que tras su reutilización/reciclado sigan generando valor en la economía.

2.5 ¿Qué es el PET?

En la actualidad, el aumento en la demanda de productos envasados ha tenido un gran impacto ambiental, manifestado en altas temperaturas, contaminación de mares, animales intoxicados y muertos, virus ambientales y descongelamiento de glaciares, entre otros. Es importante destacar que gran parte de esta problemática se debe al gran porcentaje de residuos de plástico a nivel mundial.

El PET es un material conocido desde hace muchos años. En 1941, dos químicos en Inglaterra lo empezaron a investigar, pero fue hasta 1973 cuando Nathaniel Wyeth, científico de Du Pont, patentó la primera botella de PET.

El tereftalato de polietileno es un polímero termoplástico, lo que significa que puede moldearse a una temperatura dada. Es naturalmente transparente y semicristalino, resistente al agua, impermeable, resistente, liviano, económico y reciclable. Después de enfriarse, se endurece y toma la forma de cualquier tipo de molde. Además, es altamente reciclable, ya que conserva las propiedades del producto inicial tras el reciclado.

El etileno y el paraxileno son las materias primas derivadas del petróleo utilizadas en la producción de PET. Reaccionan a altas temperaturas y presiones para producir resina de PET en un estado amorfo que cristaliza y polimeriza para formar pequeños cilindros blancos llamados chips. El PET se identifica con el número uno rodeado de flechas en forma de triángulo y debajo la palabra PET, porque es de fabricación reciente y nunca se ha reciclado ni reutilizado su materia prima.

El PET comenzó a ser utilizado debido a que, anteriormente, envasar bebidas o productos en latas de vidrio, aluminio o acero tenía consecuencias negativas, como la liberación de químicos en las bebidas que podían causar enfermedades. Además, presentaba

inconvenientes en cuanto al peso, lo que hacía que no fuera factible envasar en latas de acero. El descubrimiento y lanzamiento del PET en el mercado resolvió estas problemáticas en la industria, pero también trajo consigo un problema mundial debido a su alta demanda de producción para los desechables. Aproximadamente el 50% de la producción mundial de plásticos se asocia a estos desechables, lo que ha generado un impacto ambiental negativo. El tereftalato de polietileno es un material que tarda entre 100 y 1000 años en degradarse, por lo que ahora se busca mitigar los daños que ocasionan los residuos de PET en todo el mundo.

2.6 Características y propiedades del PET

El PET en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo con su orientación presenta propiedades de transparencia y resistencia química. Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería, (Mariano, 2011)

El PET es un polímero que no se estira y no se ve afectado por agentes de la atmósfera como gases o ácidos, también un buen material resistente al calor, en cuanto a su absorción es baja por lo que se puede considerar casi impermeable y se puede moldear fácilmente en su punto de fusión.

El PET presenta las siguientes propiedades:

El tereftalato de polietileno, conocido como PET, es un material que cuenta con una amplia variedad de propiedades. Entre ellas destacan su capacidad para ser procesado por soplado, inyección y extrusión, su transparencia, aunque permite cargas de colorantes y su brillo, el

cual crea un efecto lupa. Además, presenta una alta resistencia al desgaste y un muy buen coeficiente de deslizamiento. En cuanto a sus características químicas y térmicas, es resistente y presenta una muy buena barrera al CO₂, aunque su barrera al O₂ y a la humedad es aceptable. Es reciclable, aunque su viscosidad tiende a disminuir con la historia térmica. También cuenta con excelentes propiedades mecánicas, es Biorientable y cristalizable, y puede ser esterilizado mediante rayos gamma y óxido de etileno. Su relación costo/rendimiento es buena y, de hecho, se encuentra en el primer lugar en cuanto a su capacidad de ser reciclado. Finalmente, cabe destacar que es un material liviano. Cuenta con los siguientes datos técnicos:

Tabla 3- Propiedades del tereftalato de polietileno (PET)

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Nota. Industria del Plástico. Plástico Industrial. Richardson & Lokensgard.

2.7 Métodos de reciclaje

Cada vez se estudia más el reciclaje del PET como una opción sostenible para evitar que los residuos contaminantes reingresen a la economía y para conservar su valor económico. Aunque aún se recicla un porcentaje bajo de residuos de PET, el proceso de reciclaje es fundamental para preservar los recursos naturales, proteger el medio ambiente y ahorrar energía (Samak et al., 2020).

La mejor manera de abordar el problema de los desechos plásticos es a través de una combinación de reducción en la producción, reutilización, limpieza de los residuos acumulados en vertederos y océanos, y reciclaje. Es importante destacar que los procesos de reciclaje mencionados en este texto son genéricos, y que su complejidad depende del producto final deseado. Por lo tanto, es esencial adaptar el tipo de método y su complejidad al objetivo final.

El reciclaje mecánico es un proceso ampliamente utilizado que no modifica la estructura básica del material a reciclar. Este método consta de cinco pasos fundamentales: separar, triturar, lavar, secar y extruir y granular para moldear. De estos cinco pasos, los tres primeros son especialmente importantes, ya que se debe eliminar cuidadosamente los contaminantes presentes en el material para asegurar la calidad del producto final.

Por ejemplo, las botellas de PET suelen llevar PVC en las tapas y papel en las etiquetas, lo que debe eliminarse con cuidado.

El reciclaje químico es responsable de la degradación de los posibles contaminantes presentes en el PET, pero tiene como desventajas su alto costo y la generación de nuevos residuos nocivos.

En conclusión, los residuos generados por el PET representan una oportunidad para una segunda vida, siempre y cuando se realice una adecuada recogida y transporte de las botellas usadas. Por lo tanto, el reciclaje del PET es fundamental para promover la sostenibilidad, evitar que los residuos plásticos reingresen a la economía, preservar los recursos naturales y proteger el medio ambiente. En la tabla 4 se presentan los resultados del impacto ambiental.

Tabla 4- Resultados del impacto ambiental generado en los tipos de reciclaje

Tipos de Reciclaje				
Impacto ambiental	Mecánico	Semi mecánico	Química - Oligómero	Fibra PET virgen
Uso de energía no renovable (GJ equiv.)	40	49	66	95
Potencial de calentamiento global 100a (tCO2)	2,03	2,95	3,66	4,06
Agotamiento abiótico (kg Sb equiv.)	19	23	31	45
Acidificación (kg SO2 equiv.)	8	14	19	21
Eutrofización (kg PO4 3- equiv.)	1,1	1,0	2,6	1,2
Toxicidad humana (kg 1,4-DB equiv.)	1640	1700	2030	4390
Ecotoxicidad en agua dulce (kg 1,4-DB equiv.)	300	250	305	58
Ecotoxicidad Terrestre (kg 1,4-DB equiv.)	8	7	17	12
Formación de oxidante fotoquímico (kg C2H4 equiv.)	0,4	0,6	0,8	1,0

Nota. Resultado de LCA para 1 tonelada de fibra PET reciclada, basado en el enfoque “cut-off”. Adaptado de (Shen et al., 2010).

El análisis de los resultados obtenidos muestra que las fibras regeneradas pueden ahorrar entre un 40% y un 65% del consumo de energía no renovable en comparación con las fibras vírgenes. Además, el potencial de calentamiento global (GWP) de las fibras de PET recicladas 50% (mecánica), un 73% (semi-mecánica), un 90% (química) del total de GWP necesaria para fibras vírgenes. El PET, es decir, cualquier forma de reciclaje, tiene un potencial de calentamiento global mucho menor que la producción de fibras de desecho. El reciclaje mecánico tiene el menor impacto en 7 de las 9 categorías ambientales en comparación con los 3 tipos de reciclaje enumerados. De este estudio surgieron importantes conclusiones que se presentan a continuación:

- Las fibras de PET recicladas ahorran un 40-65 % de energía no renovable y un 30-50% de GWP en comparación con el PET puro.
- El reciclaje mecánico reduce el impacto en la mayoría de las categorías ambientales.
- El reciclaje mecánico y semi-mecánico tiene un impacto menor que el reciclaje químico.

Diversa literatura, y estudios que evalúan el impacto del reciclaje de PET, distintos a los analizados en esta sección, indican que se requiere electricidad para operar toda la maquinaria involucrada en el proceso de la planta de reciclaje, y se ha encontrado que es el factor más influyente sobre la huella de carbono. Además, son dispositivos grandes con partes móviles pesadas, lo que se refleja en el consumo de energía. En cuanto al consumo de agua, estos no son críticos ya que el agua solo se utiliza para operaciones de limpieza.

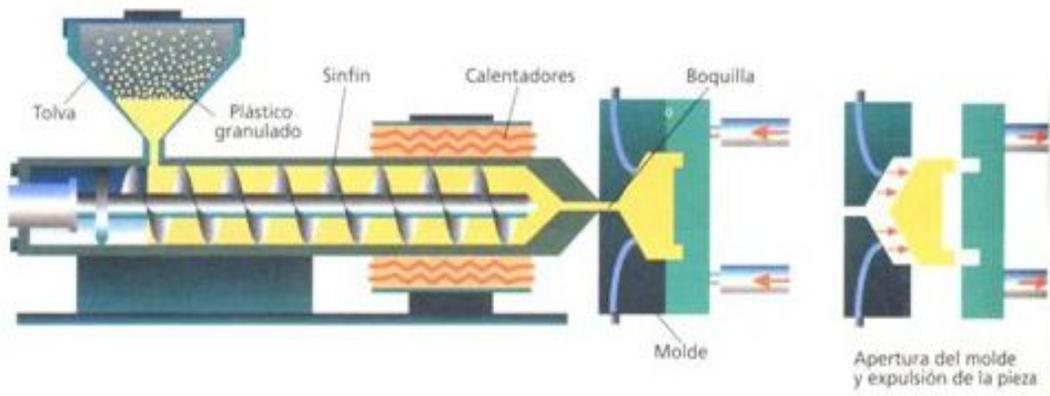
2.8 Tipos de moldeo del PET reciclado para obtener nuevos elementos

Cuando se moldean piezas de fundición de plástico, los moldes no siempre son necesarios y el ciclo de producción rentable es muy largo, por lo que los procesos de fabricación de piezas objeto de interés se describen en el siguiente párrafo.

2.8.1 Moldeo por inyección

El proceso comienza con el triturado, lavado y secado de las fibras de PET reciclado. Posteriormente, las fibras se calientan y se inyectan en un molde a través de una compuerta bajo presión fría, lo que permite que el material se solidifique y cristalice en un polímero semicristalino como se muestra en la Figura 3. Este proceso es semicontinuo y la pieza final se obtiene al abrir el molde y retirar la pieza moldeada de la cavidad (Procesos de moldeo, 2018). El moldeo por inyección es un proceso rápido y versátil, que permite la creación de piezas de diferentes formas con una mecánica sencilla. Además, se ha observado que la mezcla de PET reciclado con modificadores, como el etileno-etilo, puede aumentar significativamente la resistencia del moldeo por inyección.

Figura 3- Máquina de moldeo por inyección

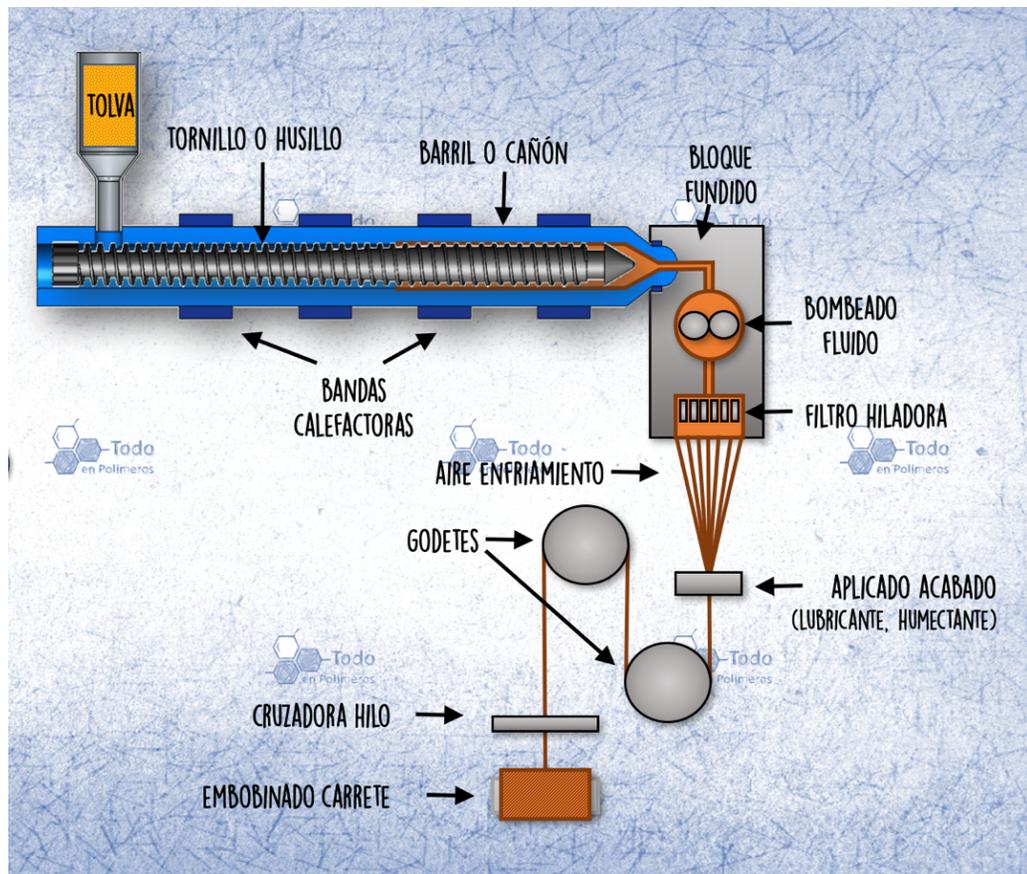


Nota. Moldeo por inyección. Tomado de (Blog Grupo Plastiform; 2016)

2.8.2 Moldeo por extrusión

La extrusión es un método utilizado para la creación de objetos con un perfil de sección transversal fijo, en el que el material se empuja o se tira a través de un troquel con una sección transversal deseada, tal y como se muestra en la figura 4. La técnica tiene dos principales ventajas sobre otros procesos de fabricación: la capacidad de crear secciones transversales muy complejas y de trabajar con materiales frágiles, debido a que solo se producen tensiones de compresión y fricción en el material. Además, la extrusión proporciona un acabado superficial excelente a las piezas. (Todo en polímeros; 2018).

Figura 4- Máquina de moldeo por extrusión



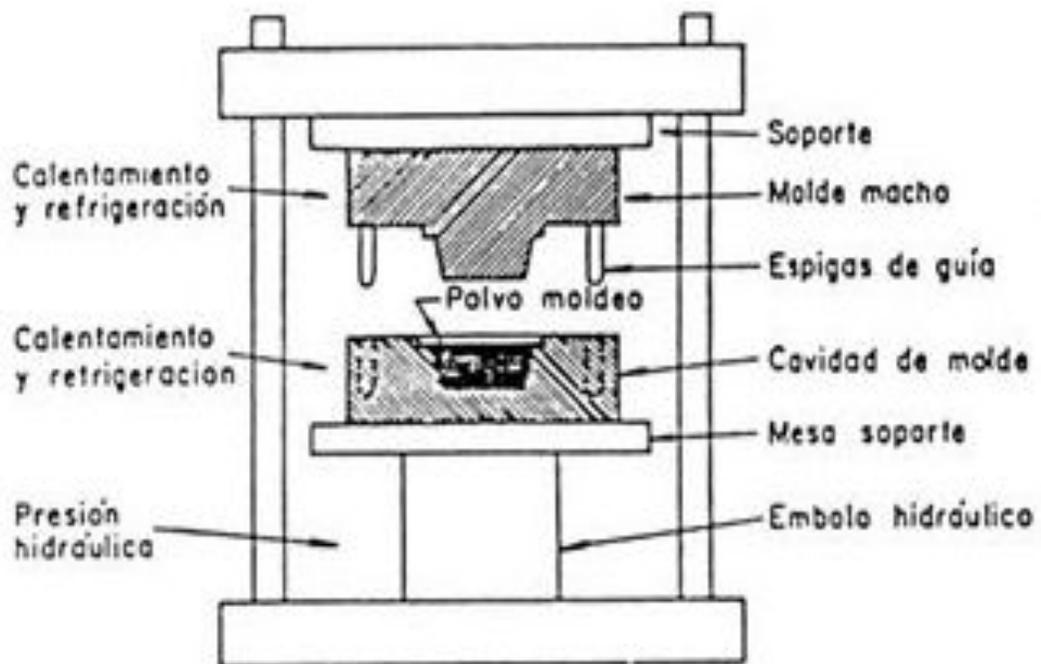
Nota. Moldeo por extrusión. Tomado de (Blog todoenpolimero; 2018)

2.8.3 Moldeado por compresión

El moldeado por compresión es un proceso en el que el polímero se inserta en un molde abierto, se aplica presión para darle al material la forma del molde y se aplica calor para unir el material (véase figura 5).

Según lo publicado en el blog todopolímeros (2018), este proceso implica calentar la materia prima en polvo a una temperatura de entre 140 °C y 160 °C y procesarla a alta presión. Es importante mantener tanto el calor como la presión constante hasta que se complete la reacción. Una vez que se completa el proceso de plastificación y curado en el mismo molde, el producto terminado se retira después de unos minutos, dependiendo del espesor de este.

Figura 5- Máquina de moldeo por compresión



Nota. Moldeo por compresión. Tomado de (Blog Grupo Plastiform; 2016)

CAPÍTULO III

3.1 Impacto ambiental

El sector de la construcción tiene un gran impacto ambiental, siendo responsable del 50% de los residuos sólidos, del 30% de la extracción de recursos naturales y del 40% del consumo de energía en la Unión Europea (Redação, 2017).

La Agencia Internacional de Energía (IEA) informa que, en 2013, el consumo de energía en México fue del 17% del total producido y se estima que, si no se implementan medidas para minimizar el impacto ambiental, en el año 2050 aumentará en un 150% (IEA, 2014).

La implementación de normas y códigos de eficiencia energética podría reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en un 49% y el consumo final de energía en un 35% para el año 2050 (Redação 2017).

Además, la producción de gases de efecto invernadero, en particular del dióxido de carbono (CO₂), es otro problema ambiental del que la construcción es en gran parte responsable (Nunez, 2022). Estos gases absorben energía del sol y crean un efecto invernadero alrededor de la tierra, provocando cambios climáticos que afectan a la fauna y la flora, aumentan el nivel del mar, los incendios forestales y la extinción de especies.

Es crucial tomar medidas para minimizar el impacto ambiental de la construcción, incluyendo la implementación de prácticas sostenibles y la adopción de tecnologías y materiales más eficientes en términos energéticos.

3.2 Construcción sostenible

Para entregar edificios sostenibles de alto rendimiento que cumplan con nuevos requisitos técnicos y de entrega únicos, es fundamental que los contratistas administren claramente su negocio para sus propios profesionales, subcontratistas y proveedores (Kibert, 2005). La productividad y el grado de sostenibilidad dependen, entre otras cosas, de la competencia y control de la gestión del proyecto y de los involucrados en la producción.

Se hace necesario y beneficioso incluir a trabajadores calificados en la planificación de la producción, ya que su conocimiento y experiencia en la ejecución puede aumentar su motivación en el trabajo. En la actualidad, es común que los contratistas contraten a muchos subcontratistas para la producción de la construcción, por lo que es importante que estos últimos estén conscientes de las diferencias entre los proyectos de construcción sostenibles y la construcción convencional (Kibert, 2005). Además, también señala que los materiales de construcción sostenibles pueden implicar riesgos adicionales debido a los plazos de entrega desconocidos y la competencia de los subcontratistas, lo que requiere una consideración adicional para gestionar este tipo de incertidumbres.

Hwang y Ng (2013) identificaron los diez principales desafíos para la gestión de proyectos en construcción sostenible, en orden de mayor impacto. El primer punto se refiere al tiempo extra necesario en la planificación, seguido de la dificultad para seleccionar subcontratistas que presten servicios en la producción de edificios sostenibles y la incertidumbre con los materiales de construcción sostenibles. Los desafíos para la gestión de proyectos en construcción sostenible están relacionados con la falta de experiencia en proyectos de construcción sostenible.

La producción de construcción sostenible está determinada por muchos factores, y las certificaciones ambientales nacionales e internacionales califican diferentes factores en diferentes grados. La producción de la construcción es, en gran medida, específica del proyecto y, además de ese desafío, las certificaciones ambientales presentan desafíos adicionales con más aspectos en mente. Existe una conexión entre la gobernanza del proyecto y el grado de sostenibilidad alcanzado, y la recomendación es involucrar más a los subcontratistas y trabajadores calificados en la producción de construcción sostenible. Se afirma que las certificaciones ambientales pueden influir en la producción de la construcción a través, por ejemplo, de los plazos de entrega de materiales sostenibles. Además, los diseños incorrectos en la producción pueden resultar en el incumplimiento de los criterios para las certificaciones ambientales.

3.3 Certificaciones ambientales a nivel mundial

La evaluación ambiental comenzó a ser utilizada en la década de 1990 en países como Estados Unidos de América y Canadá, mientras que en Europa su desarrollo se dio principalmente en la conferencia ECO '92. Gomes da Silva (2003) afirma que esta herramienta surgió con el objetivo de ayudar a los diseñadores a lograr etiquetas ecológicas mediante un mayor compromiso con el concepto de sostenibilidad y promover un mejor desempeño ambiental. En la tabla 5 se pueden observar las primeras certificaciones creadas a nivel mundial, según lo establecido por estas mismas fuentes.

Tabla 5- Primeras certificaciones ambientales a nivel mundial

Primeras certificaciones ambientales en el mundo		
Nombre	País de origen	Año de creación
BREEAM	REINO UNIDO	1990
LEED	EE. UU.	1993
Green Star	AUSTRALIA	2002
CASBEE	JAPÓN	2002
HQE	FRANCIA	2002
CAL-ARCH	EE. UU.	2003
Procel EDIFICA	BRASIL	2003
NABERS	AUSTRALIA	2004
ENERGY STAR	EE. UU.	2004
AQUA	BRASIL	2007
DGNB	ALEMANIA	2007
QUALIVERDE	BRASIL	2012

Nota. Adaptado de Valente (2009) y Sustentarqui (2014)

3.4 Evaluación y certificación ambiental

Según Gomes da Silva y Agopyan (2003), la evaluación ambiental de edificios se divide en dos categorías principales: la primera se enfoca en el marketing y utiliza los sellos obtenidos por los esfuerzos ambientales como una forma de promoción. En contraste, la segunda categoría tiene una función de investigación y desarrollo, y busca integrar nuevos sistemas que puedan ser compartidos. Los autores señalan que la mayoría de los certificados se basan en listas de verificación que enumeran las actividades que otorgan créditos, y que, a mayor número de créditos, mejor será el certificado.

Las certificaciones se pueden obtener a través de dos procedimientos diferentes. El primero se basa en un sistema de puntos que forman índices y estos reciben clasificaciones según la categoría analizada y el nivel de servicio al tema ambiental. Para ello, existen normas y directrices de diseño. Ejemplos de este tipo de evaluación son LEED y BREEAM. En cambio, la segunda forma de evaluación no tiene niveles de certificación, sino que solo mide si el edificio es ambientalmente sostenible o no. Para ello, las categorías tienen como referencia desempeños estandarizados, que permiten analizar si el desempeño aplicado se ajusta. HQE y AQUA son ejemplos de este tipo de certificación.

Costa & Moraes (2014) explican que algunos criterios, como la salud del usuario y la gestión de recursos, son obligatorios para obtener la certificación, y además de estos elementos, se debe cumplir con un número mínimo para garantizar la certificación. Los criterios, a su vez, dependen del tipo de edificación: residencial, comercial, industrial, penitenciaria, vivienda de una sola planta.

Leite (2011) señala que, además del edificio en sí, se evalúa el entorno circundante en términos de construcción, requisitos climáticos y ambientales, y se otorgan puntos por cada uno de estos requisitos. Los indicadores de desempeño son una herramienta importante para obtener la puntuación necesaria. La mayoría de las certificaciones incluyen varios indicadores, como materiales y residuos, gestión de residuos y selección de materiales adecuados con bajo impacto ambiental, condiciones ambientales interiores en términos de calidad del aire y comodidad del usuario, análisis de sistemas de aire acondicionado e iluminación, impactos ambientales como la erosión, el polvo y la accesibilidad, y enfoque en el uso consciente del agua para conservar el agua potable.

3.5 Importancia de las certificaciones ambientales

Las certificaciones ambientales tienen un papel fundamental en la industria, específicamente en la construcción civil, al garantizar una construcción sustentable y sostenible que es amigable con el medio ambiente, la calidad de vida de los trabajadores y el entorno en general. En la actualidad, es cada vez más importante construir de manera sostenible, lo que ha llevado a contratistas, constructores, consumidores e inversores a buscar soluciones que reduzcan el impacto negativo en el medio ambiente y contribuyan a la preservación de las generaciones futuras.

Según Leite (2011), una de las principales metas de las certificaciones ambientales es concientizar a los participantes de la construcción civil para que adopten prácticas sostenibles en todos los proyectos, ya que estas prácticas generan beneficios económicos y de reconocimiento a largo plazo. Por ejemplo, el menor costo de condominio en un edificio puede lograrse al reducir los costos de agua y energía, y estos ahorros pueden invertirse en mejoras como áreas de recreación. Además, la certificación ambiental aumenta el valor del edificio en términos inmobiliarios al demostrar su eficiencia ambiental.

Otro objetivo importante es la reducción del impacto en el entorno y el avance en las ciudades donde se implementan proyectos sostenibles. Las certificaciones están relacionadas con el buen desempeño de un edificio en términos de sustentabilidad y deben ser cumplidas. El uso de materiales locales reduce el impacto de los largos transportes y la reutilización de materiales es necesaria para reducir la contaminación y los desperdicios causados por la producción de nuevos materiales.

Según Costa & Moraes (2014, p. 169), cuando se analizan los costos indirectos (constitución, mantenimiento y operación), el impacto se invierte. El GBCB indica que, en Estados Unidos, los edificios sostenibles han mostrado mejoras significativas en los índices de control ambiental, con una reducción de hasta un 30% en el consumo de energía, un 50% en el consumo de agua, un 35% en las emisiones de CO₂ y un 90% en la eliminación de residuos. Además, estas construcciones garantizan un ambiente interno sano y productivo.

Las certificaciones ambientales que serán caso de estudio al evaluar los casos de los diferentes investigadores tomados como ejemplo serán:

LEED

EDGE

NMX-AA-164-SCF1-2013 de Edificación Sustentable

CASA Colombia

A continuación, se definirá brevemente cada una de las certificaciones ambientales mencionadas anteriormente, la información será tomada de sus sitios oficiales y se estudiará más a fondo cuando sean puestas a consideración en los casos de estudio tomados en la presente investigación.

3.5.1 LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)

Según lo publicado en la empresa de consultoría de Bioconstrucción y Energía Alternativa (BEA), por Treviño “La Certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés) es un sistema de certificación con reconocimiento internacional para edificios sustentables creado por el Consejo de Edificación Sustentable de Estados Unidos (U.S. Green Building Council). Entre los beneficios que proporciona esta evaluación se encuentran literalmente:

- Espacios con mejores condiciones para la salud y productividad.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Acceso a incentivos fiscales.
- Disminución en los costos de operación y residuos.
- Incremento del valor de sus activos.
- Ahorro energético y de recursos.

Para obtener un certificado, debe seguir varias recomendaciones. Es un sistema de evaluación con requisitos previos requeridos obligatorios (sin otorgar puntos) y créditos (opcional) le permite alcanzar uno de los cuatro niveles de certificación:

- Certificado, al obtener de 40 a 49 puntos
- Plata, al alcanzar de 50 a 59 puntos
- Oro, al lograr de 60 a 79 puntos
- Platino, si se obtiene 80 puntos o más

El número total de créditos es de 110: los primeros 100 son por cumplimiento adecuado de las categorías y los 10 son bonos por innovación en la ejecución. Los créditos se

clasifican en siete familias y cada una reúne créditos relacionados con su categoría”. Las familias son:

- **Ubicación y transporte:** Se enfoca en el uso de medios de transporte variables que eviten el uso del medio de transporte común (auto).
- **Sitios Sustentables:** Esta familia se enfoca en los impactos ambientales en el entorno, y cómo evitarlos o disminuirlos, ejemplo de estos es la erosión, sedimentación, tratamiento del agua, restauración de hábitats, entre otros.
- **Eficiencia del agua:** Los créditos de esta familia se basan en el aprovechamiento óptimo del agua, su tratamiento, captación, reutilización, ahorro y su desecho correcto.
- **Energía y atmósfera:** Esta familia es la que toma más créditos dentro de la escala LEED. Procura una utilización óptima de la energía, la fuente de esta y cómo la eficiencia energética impacta en la comunidad.
- **Materiales y recursos:** Esta familia de créditos toma en cuenta el origen de los materiales en la construcción, dando prioridad a materiales reutilizados. Además, evalúa la manera en que los residuos propios de la construcción son manejados.
- **Calidad de ambiente interior:** Familia enfocada en el bienestar de los ocupantes del inmueble a través de estrategias que influyan en su salud y bienestar, así como acciones que procuren una renovación del aire interior.
- **Innovación:** Esta familia de créditos se basa en el compromiso constante de mejora de las estrategias implementadas.

- **Prioridad regional:** Con la finalidad de eliminar que la huella de carbono aumente debido al transporte de materiales que se fabrican a distancias largas y promueve el desarrollo sustentable las estrategias empleadas con materiales y soluciones regionales.

3.5.2 EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)

De acuerdo con lo publicado en la página de la empresa de consultoría de Bioconstrucción y Energía Alternativa (BAE); “La certificación EDGE (Excelencia en Diseños para Mayores Eficiencias por sus siglas en español) es una evaluación para construcciones nuevas o existentes, disponible en más de 130 países de economías en desarrollo, entre ellas México. Este sistema fue creado por la Corporación Financiera Internacional (IFC, por sus siglas en inglés), miembro del Grupo Banco Mundial, y propone una disminución en la cantidad de recursos utilizados mediante una escala comparativa que toma como base estándares locales. Para obtener la certificación EDGE, se necesita cumplir con un ahorro de mínimo de 20% de energía, 20% en agua y 20% en energía incorporada en los materiales en el edificio. Esta evaluación sólo es aplicable para las construcciones nuevas o existentes de las siguientes tipologías: aeropuertos, educacional, residencial, hospitales, hoteles, industria ligera, oficina, comercios y almacenes”.

Los tipos de certificación EDGE que se pueden obtener según la BAE pueden ser las siguientes:

- **EDGE CERTIFIED:** Es la manera tradicional en la que se puede obtener este reconocimiento: se otorga al cumplir un ahorro de mínimo de 20% en energía, 20% en agua y 20% en energía incorporada en los materiales en el edificio. Estos son los «porcentajes base» en los que se fundamenta la evaluación EDGE.

- **EDGE ADVANCED:** Esta modalidad premia a los proyectos inmobiliarios que demuestran una reducción de mínimo 40% en energía; mientras que los porcentajes en el ahorro de agua y energía incorporada en los materiales se mantienen al 20% como en EDGE Certified.
- **ZERO CARBON:** Este exigente nivel de certificación busca la máxima reducción y compensación de consumo energético del edificio. Para conseguirlo es necesario que mínimo el 40% de la energía sea reducida mediante el diseño y estrategias del edificio (como EDGE Advanced) y la cantidad que falte para completar el 100% del consumo energético sea mitigado mediante fuentes renovables en sitio y/o bonos de carbono. Asimismo, los porcentajes en el ahorro de agua y energía incorporada en los materiales se mantienen al 20% como en EDGE Certified.

3.5.3 **NMX-AA-164-SCF1-2013 de Edificación Sustentable**

Para definir dicha normativa, se tomó la información de la norma en mención la cual establece lo siguiente: “Aplica a las edificaciones y sus obras exteriores. Ya sea individuales o en conjuntos de edificios, nuevas o existentes, sobre uno o varios predios, en arrendamiento o propias. Se aplica a una o varias de sus fases: diseño, construcción, operación, mantenimiento y demolición, incluyendo proyectos de remodelación, renovación o reacondicionamiento del edificio”. La NMX-AA-164-SCF1-2013 presenta los criterios y requerimientos mínimos a considerar en cuanto a:

- Suelo
- Energía
- Agua
- Materiales y Residuos

- Biodiversidad
- Calidad del Ambiente Interior
- Responsabilidad Social

Los requisitos obligatorios para obtener la certificación se muestran en la figura 6, la cual indica el inciso de la norma que debe cumplir, para no extender la información en la presente investigación, se opta por adjuntar la norma como documento para aquellos que deseen saber el contenido de cada ítem.



Figura 6- Requisitos obligatorios para edificaciones de obra nueva

Suelo	Energía	Agua	Materiales y Residuos	Biodiversidad	Calidad de ambiente interior	Responsabilidad Social
5.2.1.1	5.2.2.1	5.2.3.1	5.2.4.1	5.2.5.1.1	5.2.5.3.4	5.2.5.4.1
5.2.1.2	5.2.2.2	5.2.3.2	5.2.4.2	5.2.5.1.2	5.2.5.3.12	5.2.5.4.3
5.2.1.5	5.2.2.3	5.2.3.3	5.2.4.11	5.2.5.1.4		5.2.5.4.7
5.2.1.8	5.2.2.5	5.2.3.4	5.2.4.13	5.2.5.1.7		
5.2.1.15	5.2.2.6	5.2.3.6	5.2.4.15	5.2.5.1.10		
5.2.1.16	5.2.2.9	5.2.3.9	5.2.4.18	5.2.5.1.11		
5.2.1.18	5.2.2.10	5.2.3.10				
	5.2.2.11	5.2.3.12				
	5.2.2.12	5.2.3.13				
	5.2.2.13	5.2.3.15				
	5.2.2.14	5.2.3.16				
	5.2.2.15	5.2.3.17				
	5.2.2.16	5.2.3.18				

Nota. Tomado de la norma NMX-AA-164-SCF1-2013 de edificación sustentable

3.5.4 CASA COLOMBIA

La empresa SIMGEA de edificaciones sostenibles establece en su página que: “CASA COLOMBIA es una iniciativa del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), cuyo objetivo principal es brindar a la industria de la construcción colombiana una herramienta que facilite la construcción sostenible de viviendas, en el marco de una metodología transparente y ágil, en alineación con las políticas nacionales de crecimiento verde. Se enfoca en las personas y su calidad de vida, generando entornos prósperos y saludables que respeten el medio ambiente.

CASA COLOMBIA según el CCCS, se basa en un sistema de puntos distribuidos a lo largo de siete categorías claves de la sostenibilidad integral:

- Sostenibilidad en el Entorno
- Sostenibilidad en la Obra
- Eficiencia en Agua
- Eficiencia en Energía
- Eficiencia en Materiales
- Bienestar
- Responsabilidad Social

Los niveles de certificación son: +80 Sostenible Excepcional, +75 Sostenible Sobresaliente, +50 Sostenible.

3.6 Casos de estudio con diferentes sistemas para muros divisorios en un proyecto

La sostenibilidad es un tema crucial en el mundo actual, y la industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) tiene un impacto significativo en la producción de residuos, emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de recursos naturales y energía. Para abordar estos problemas y promover la economía circular, en los últimos años se han realizado estudios con el fin de incorporar residuos de PET en materiales de construcción. Varios materiales y soluciones constructivas han sido estudiados y probados para incorporar PET reciclado en su constitución, incluyendo asfaltos, geotextiles, vigas de concreto y materiales bituminosos. En muchos casos, los residuos de PET se utilizan como sustitutos de áridos finos en la composición de estos materiales.

En el sector de AEC, se han llevado a cabo diversos trabajos de investigación y desarrollo que han demostrado cómo la incorporación de residuos de PET puede contribuir a la industria de la construcción. Estos avances muestran una forma innovadora de abordar los problemas ambientales y fomentar la economía circular en la producción de materiales de construcción.

3.7 Incorporación de fibras en morteros como sustituto de agregados

En los últimos años, ha habido varios estudios que se han centrado en la posibilidad de sustituir los áridos en morteros por residuos de PET. Un ejemplo de ello es la investigación llevada a cabo por Spósito et al. en 2020, en la que evaluaron la eficacia y mejora de los morteros de enlucido a base de cemento Portland (con un 6% de puzolana y un 14% de cal hidráulica) mediante la incorporación de residuos de PET, tal como se muestra en la figura 7. Estos residuos fueron obtenidos mediante el reciclaje mecánico de botellas de PET.

Figura 7- Fibra de residuos PET



Nota. Fibras PET. Tomado de (Spósito et al., 2019)

Se llevaron a cabo ensayos en los estados frescos y endurecidos del mortero, en los que se sustituyó la arena por residuos de PET en diferentes proporciones: 2,5%, 5%, 10%, 15% y 20%. El mortero de yeso se nombró como "Mx", donde "x" es el porcentaje de arena reemplazada por residuos de PET. Por ejemplo, M0 corresponde al mortero de referencia sin residuos de PET, M2,5 al mortero con una sustitución del 2,5% de arena por residuos de PET, y así sucesivamente hasta M20.

Se observó que el aumento del porcentaje de residuos de PET en el mortero de yeso está directamente relacionado con un aumento en la fluidez y en los vacíos, siendo M20 el que mostró los valores más altos en ambas propiedades, y M0 los valores más bajos. Es importante destacar que no es necesario añadir más residuos de PET a la mezcla.

Por otro lado, la densidad fresca y la retención de agua disminuyen a medida que aumenta el contenido de residuos de PET en el mortero, lo que significa que cuanto mayor sea la cantidad de residuos de PET, menor será la densidad y el contenido de humedad.

Además, se analizaron otras propiedades en estado seco como la densidad, porosidad aparente, absorción por inmersión, permeabilidad al vapor de agua y módulo elástico. Se encontró que, similar al estado fresco, la densidad disminuyó cuando se reemplazó la arena por residuos de PET, mientras que la porosidad aparente y la absorción de agua de inmersión aumentaron con el aumento del contenido de residuos de PET.

En conclusión, los resultados sugieren que la sustitución de una parte de la arena por residuos de PET es una solución viable para el reciclaje de PET en la industria de la construcción. Es necesario continuar la investigación para evaluar otros parámetros, como la resistencia al fuego y al desgaste, entre otros.

Figura 8- Bloque con adición de fibras PET



Nota. Ladrillos producidos a partir de residuos plásticos. (CONICET, 2015)

3.7.1 Caso 1 – Bloques con sustitución del 20% arena por fibras PET recicladas

El estudio realizado utilizó un método experimental para procesar bloques de concreto no portantes con dimensiones de 24x12x10cm. Estos bloques se produjeron mediante la sustitución de los agregados por fibras de tereftalato de polipropileno (PET) trituradas por método mecánico. Las sustituciones de los agregados fueron del 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

y 30%, como se muestra en la figura 9. El proceso de producción de los bloques tuvo en cuenta una dosificación de 1:5:2 (cemento: arena: grava), producido en una fábrica artesanal y fundidos en moldes de metal y sobre mesas vibratorias. Luego, los bloques se sumergieron en agua para realizar el curado (Tuero Rojas & López Jara, 2016).

Los resultados indicaron que la muestra que presentaba una sustitución del 20% de agregados por polímeros fue la que mostró un comportamiento óptimo en la mayoría de las propiedades mecánicas y físicas del bloque, especialmente en la absorción y la resistencia a flexión. Se pudo demostrar que a medida que el porcentaje de adición de fibras aumentaba, la absorción disminuía, al igual que la resistencia, pero cumplía con los parámetros mínimos establecidos en la NSR-10.

Figura 9- Bloques con sustitución de agregados por fibras PET



Nota. Bloques fibras pet. Tomado de (Morales et al, 2016)

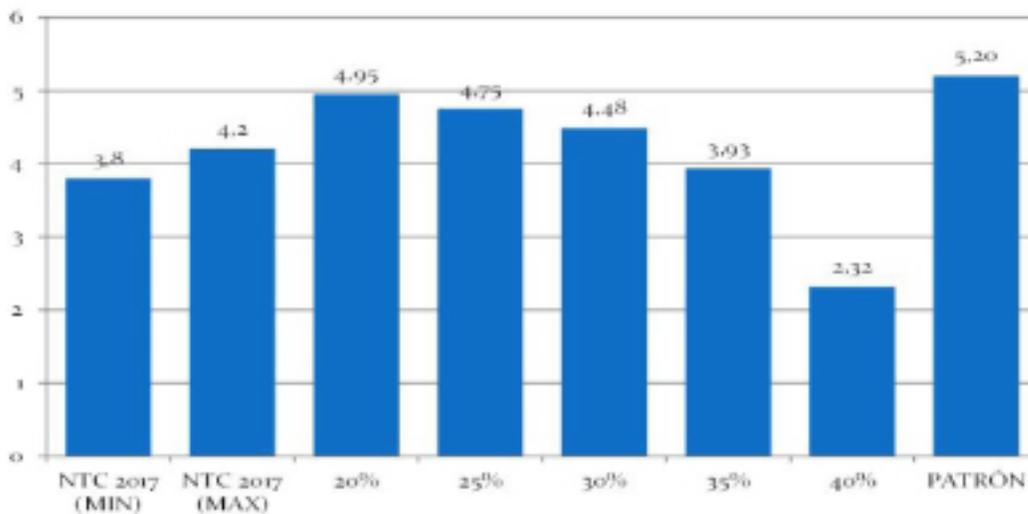
Los resultados en cuanto a la absorción se presentan en la tabla 6 y los resultados en cuanto a la resistencia a flexión se presenta en el gráfico 5.

Tabla 6 – Resultados absorción del Bloque con adición de fibras PET

Muestra (N°)	Porcentaje de PET	Peso (Normal)	Peso (Húmedo)	Absorción (%Aa)
1	20%	5494,1	5946,1	8,2
2	25%	5547	5995	8,2
3	30%	5530,7	5971	8
4	35%	5620	6074	8,1
5	40%	5588,4	6032	7,9
PATRÓN	0%	6034,4	6551	8,6
			Promedio	8,10%

Nota. Resultados ensayo absorción. Adaptado de (Morales et al, 2016)

Gráfico 5- Resultados de resistencia a la flexión diferentes ladrillos a los 28 días



Nota. Resultados ensayo flexión. Tomado de (Morales et al, 2016)

En cuanto a sus propiedades mecánicas, se puede observar en la tabla anterior que todos los resultados están por encima de los valores recomendados en las diferentes normatividades de las instituciones mencionadas. Según la investigación hecha por Ryu et al, 2020, el costo por m² usando un bloque con adición de fibras PET con medidas similares (20x20x8cm) con adición de fibras del 30% es de 3,2 dólares estadounidenses, que equivalen a 62.25 pesos mexicanos (a noviembre de 2022), si aplico dicho análisis a el bloque con dimensiones

24x12x10cm el precio es de 2,88 dólares estadounidenses, es decir, el precio por m² de bloque con sustitución de fibras PET del 20% ronda los 56.03 pesos mexicanos; comparando éste precio con otros en el mercado de bloques convencionales, el bloque del caso es el que presenta mejor viabilidad financiera. En cuanto a su contribución ambiental, cada bloque con sustitución de arena del 20% por fibra pet pesa 5,6 kg de los cuáles 666,3 gr equivale a la fibra pet, quiere decir que por cada m² de muro que se construya con dicho bloque, se ésta eliminando del medio ambiente aproximadamente 22.975,9 gramos de residuos que a su vez equivale a 766 botellas pet de 1,5 litros aproximadamente (teniendo en cuenta que el peso aproximado de una botella pet de 1.5. lts es de 30 gramos).

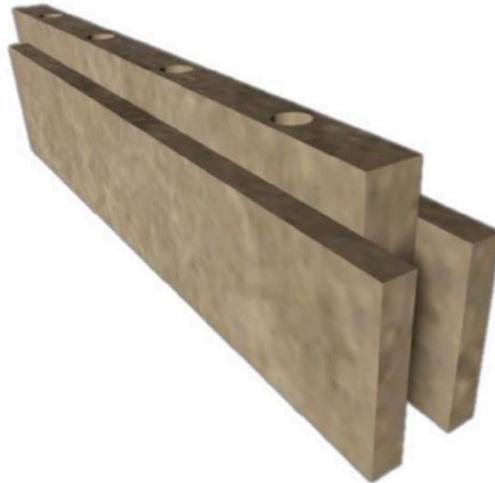
3.7.2 Caso 2 – Bloques 100% de PET reciclado extruido

En base a la información presentada, surge la idea de utilizar el mismo proceso de reciclaje donde se elaboraba a partir de una mezcla de residuos de PET y agregados, pero ahora se utilizan bloques de PET para tabiques. Sin embargo, estos bloques de PET están compuestos al 100% de PET reciclado sin áridos añadidos.

De tal forma que se adopta el reciclaje mecánico, donde los fragmentos de botellas de PET después de ser trituradas, lavadas y secadas se introducen en un mezclador de calentamiento. Una vez terminada la mezcla a $270^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, la resina obtenida se vierte en un molde. que debe tener piezas que encajen como las de un juego de Lego, lo que facilita y acelera el armado en el sitio. Esta arquitectura tipo Lego requiere menos materiales, como cemento, mortero y tornillos, lo que se traduce en menos residuos de construcción y menor costo de producción. Después de verter la mezcla en el molde, se enfría a temperatura ambiente y se prensa con una carga de 400 MPa. En la figura 10 se muestra el modelo de los bloques, que tienen caras laterales de 53 x 10 x 2 cm y una cara interior de 53 x 10 x 3 cm, dando un

espesor total de 7 cm. Es importante mencionar que el material no se divide en láminas, sino que se produce en un solo molde.

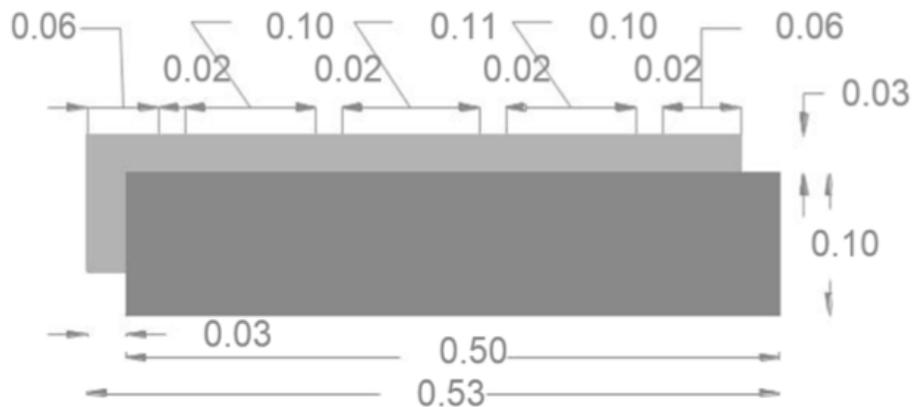
Figura 10- Bloque 100% PET extruido



Nota. Modelo de bloque 100% PET extruido. Tomado de (Moncayo, 2018)

De acuerdo con las investigaciones realizadas por Moncayo, 2018; en la figura 11 se presentan las dimensiones del bloque tipo brickarp.

Figura 11- Dimensiones bloque de pet 100% extruido



Nota. Dimensiones de bloque 100% PET extruido. Tomado de (Moncayo, 2018)

Cuando se trata de los toques finales (acabado de muros), se puede optar por llevar sus estudios y consideraciones de sostenibilidad más allá, es decir que se pueden seleccionar

cuidadosamente colores de desechos específicos en la etapa de recolección de desechos para lograr la estética deseada.

Finalmente, las paredes construidas con estos bloques pueden ser de cualquier color que permitan los desechos. Optar por esta alternativa disminuye los costos de pintura y mano de obra.

Teniendo en cuenta que la densidad del PET es 1,38 gr/cm³; un bloque con las dimensiones que tenemos (53x10x7 cm) que está hecho 100% de PET, contiene aproximadamente 5.119,8g de residuos. De esta forma, se eliminará del medio ambiente aproximadamente 96600 gramos de residuos de PET reciclado por m², o 3220 botellas de PET de 1,5 litros (sabiendo que la botella pet de 1,5 lts pesa aproximadamente 30 gramos).

Algunas de las propiedades y particularidades del bloque 100% extruido de PET es su conservación y durabilidad, pues una de las propiedades del PET es que tiene baja porosidad, por lo que no acumula moho ni humedad y no favorece el crecimiento de estos problemas que se presenta en la mayoría de las construcciones con tabiques convencionales.

En términos de durabilidad, el PET reciclado tiene una vida útil de unos 300 años sin cambiar sus propiedades y representa otro valor adicional pues no requiere mantenimiento.

También se encuentra su tiempo y uso luego de la vida útil siendo ésta otra ventaja importante que posee el PET, debido a que cuando cumple su ciclo de vida útil, poder ser retirado y reciclado nuevamente, a su vez no produce desperdicios durante el montaje de dichos bloques, a diferencia de los altos desperdicios que se producen al usar tabiques convencionales.

3.7.3 Caso 3 – Paneles 100% de PET con malla termoacústica

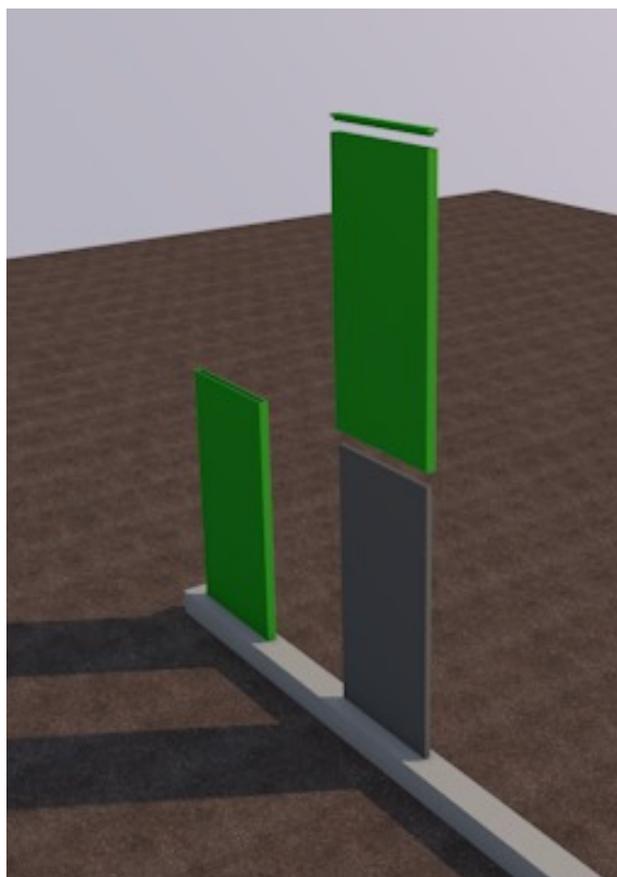
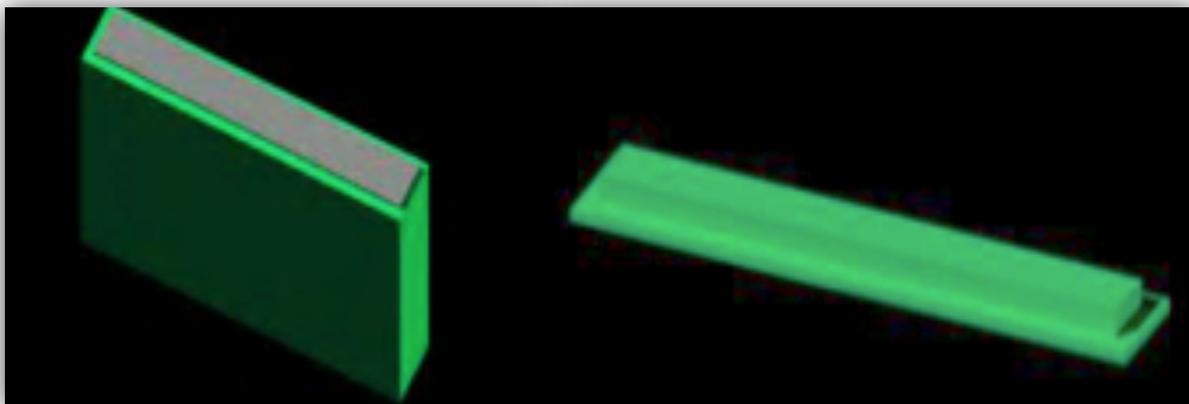
Los tableros de PET están diseñados para crear soluciones de diseño alternativas que reduzcan los impactos ambientales, económicos y sociales y creen soluciones de diseño más sostenibles. Es una lámina hueca fabricada en PET con forma rectangular y que luego se rellena con una malla de fibra PET que proporciona aislamiento térmico y acústico; dicha malla se obtiene mediante reciclaje mecánico. Para producir 1 m² de malla como se muestra en la figura 12, se necesitan aproximadamente 13 botellas.

El gas natural que se utiliza para la producción y la temperatura de compactación de la fibra es de 160 °C ~ 180°C y solo se usa agua para el lavado de los residuos sólidos, más no para producir la malla. El precio por m² de tablero de malla en el mercado ronda alrededor de los 35,51 pesos mexicanos (a noviembre del 2022).

El panel se compone por un molde y dentro de éste, una malla. El volumen del molde/malla es de 22100 cm³ y es armado con tapas que forman un cajón con las siguientes dimensiones: la pared frontal 120 cm x 250 cm x 0,5 cm, la pared trasera 120 cm x 250 cm x 0,2 cm, las paredes laterales 5 cm x 250 cm x 0,3 cm, por último, el piso y techo, ambos con medidas, 120 cm x 5 cm x 0,3 cm. Es importante resaltar que las dimensiones de la malla que irá dentro del molde PET es de 120 cm x 250 cm x 5 cm.

De acuerdo con lo anterior para hacer 1 m² de malla se necesitan 13 botellas pet de 1.5lts que equivalen a 390 gramos, quiere decir que para producir un panel se necesitan 1170 gramos para la malla y 30511,8 gramos para el molde, eliminando del medio ambiente un total de 31681,8 gramos por molde, que es igual a eliminar 10560,6 gramos por m², es decir, 352 botellas pet de 1.5 lts por m².

Figura 12- Panel PET con Malla



Nota. Modelo de panel pet con malla, adaptado (Correia, 2021)

Algunas de las propiedades y particularidades del panel de PET es que como mencionamos anteriormente en el caso 2, el tereftalato de polietileno presenta alta durabilidad y por su baja porosidad se mitigan los problemas de moho y humedad que se presentan algunas veces cuando se hace uso del tabique convencional.

En cuanto a su vida útil, como ya hemos ahondado en la investigación, el pet es un material que puede ser reciclado hasta su quinto ciclo de reciclado, pues a partir de allí empieza a perder sus propiedades. Presenta buen comportamiento como aislante térmico ($0,034\text{W/m}^{\circ}\text{C}$) y acústico (R_w medio de 42 dB) para un espesor de 5cm.

Respecto al costo del mercado, el molde ronda los 18,56 pesos mexicanos y la malla 35,51 pesos mexicanos, obteniendo un precio final del panel de 54,07 pesos mexicanos por m^2 (a noviembre del 2022). Dentro de las ventajas que se presentan al usar el panel de pet es su facilidad de montaje y desmontaje, no genera desperdicios, mejora del ambiente interior por ser termoacústico, es un material sostenible en cuánto ahorra energía del edificio al usar menos aparatos de calefacción o acondicionador que a su vez disminuye costos, también es importante resaltar que este panel no requiere mantenimiento.

El material es 100% ecológico por ser reciclado en su totalidad, y su consumo de agua y energía de fabricación es menor que otros materiales en el mercado. Entre sus desventajas se encuentra que el m^2 de panel pet (10,56kg) pesa más que el m^2 de un panel convencional de tabla roca de 9.6 mm que pesa 6,9kg (tomado de la ficha técnica de la empresa USG).

CAPÍTULO IV

4.1 Impacto económico

La construcción es un sector clave de la economía mexicana y el más importante de América Latina en términos de valor de mercado. Según datos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), "el sector de la construcción en América Latina y el Caribe representa el 8% del PIB regional y es un importante generador de empleo, con una tasa de 11% del empleo total".

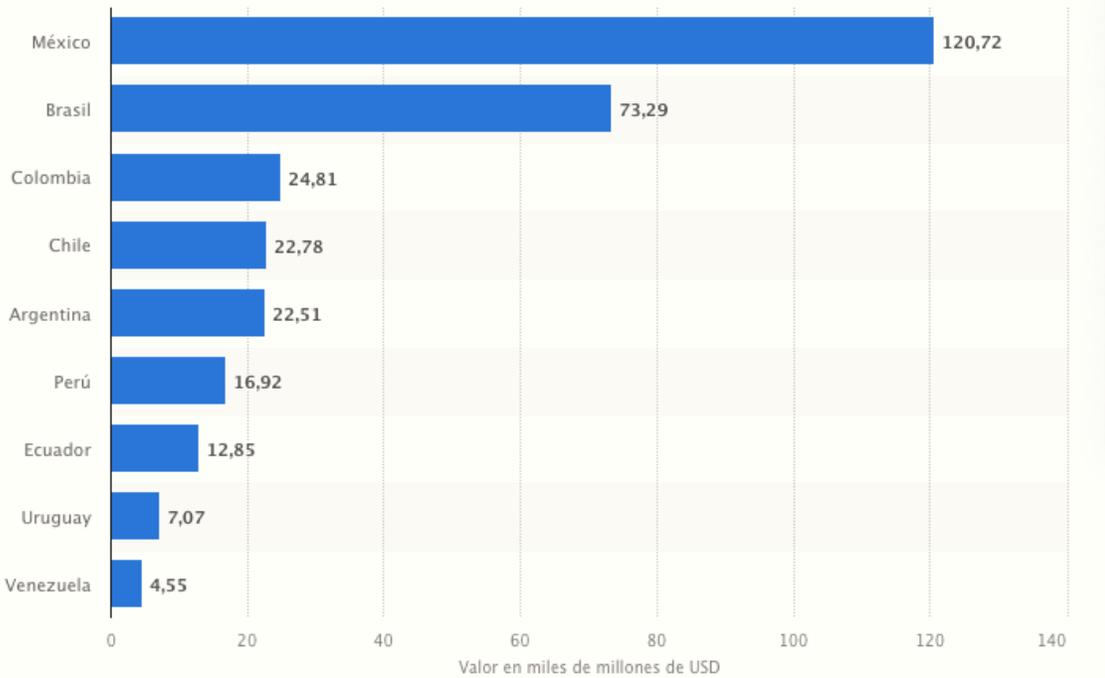
En México, la construcción ha atraído grandes inversiones tanto del sector público como del privado, generando numerosos puestos de trabajo y contribuyendo al crecimiento de sectores relacionados. Como señala el BID, "la construcción es un sector clave para el desarrollo económico de la región, ya que su crecimiento puede impulsar la actividad económica en otros sectores a través de la demanda de insumos y servicios".

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2021, la industria de la construcción representó aproximadamente el 6.8% del Producto Interno Bruto (PIB) de México. Además, según el "Informe sobre el Mercado de la Construcción en América Latina 2021" de la consultora GlobalData publicado en Statista, México lidera el mercado de la construcción en la región, con un valor de mercado estimado en 163.7 mil millones de dólares en 2021. En segundo lugar, se encuentra Brasil, con un valor de mercado de 137.3 mil millones de dólares, seguido por Colombia, con 45.9 mil millones de dólares.

En conclusión, la construcción es un sector clave de la economía mexicana y de América Latina, generando empleo y contribuyendo al crecimiento de sectores relacionados.

Como país líder en la industria de la construcción en la región, México ha atraído importantes inversiones y ha demostrado un fuerte desempeño en el mercado de la construcción.

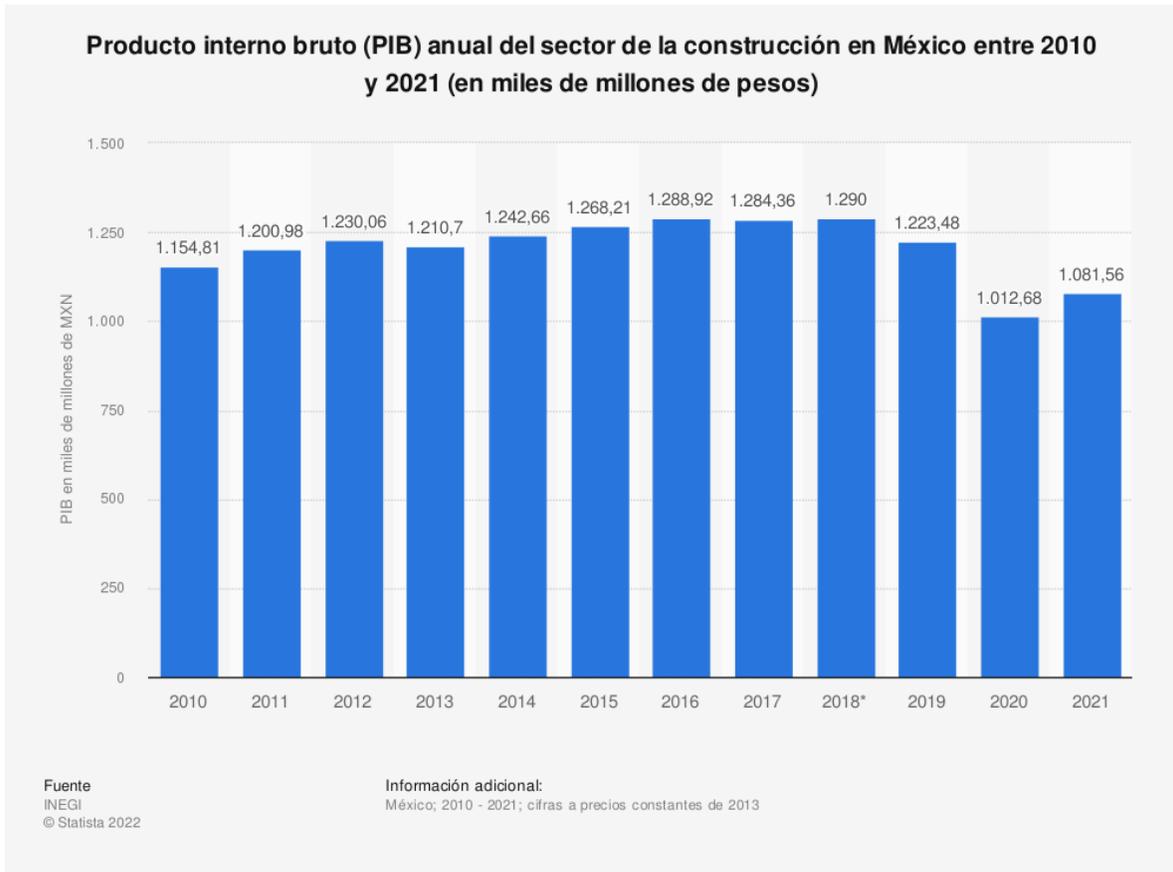
Gráfico 6- Valor de mercado en la industria de la construcción América Latina en 2021



Nota. Valor del sector construcción en 2021. (Statista, 2023)

En el gráfico 7, se presenta la evolución histórica desde 2010 hasta 2021 del producto interno bruto (PIB) de la construcción en México obtenido del INEGI, 2022 y publicado por Statista Research Department para la empresa consultora GlobalData, el último país que presenta ingresos debido al sector de la construcción es Venezuela debido a los problemas económicos en los que se encuentra actualmente (entre ellos la inflación y con ellos la falta de inversión); pero se puede resaltar que aún con eso el mercado de la construcción se mantiene con 4,55 millones de dólares, lo cual muestra el gran potencial de la construcción en los países.

Gráfico 7- Producto interno bruto del sector construcción en México



Nota. PIB del sector construcción según INEGI 2021. (Statista, 2022)

De acuerdo con la estadística anterior, se puede notar desde el 2010 un incremento del PIB en México gracias al sector de la construcción el cuál mueve mucho dinero, inversiones, entre otros. También se puede notar la caída del producto interno bruto en los años 2020-2021, esto se debió a la pandemia del COVID-19, que azotó a casi todos los sectores económicos. Es importante resaltar que el sector de la construcción al 2020 según datos publicados por el INEGI y que se muestran en la tabla 7, es el segundo sector de la economía y se posiciona en tercer lugar después de la generación y distribución de la energía eléctrica.

Tabla 7- Ingreso de sectores económicos de producción

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).			
Sistema de Cuentas Nacionales de México. Productividad Total de los Factores Modelo KLEMS. Año Base 2013. Serie 1990-2020. 2020 revisada			
Cuenta de capital/ Costo de usuario del capital, no TIC/ Precios corrientes en millones de pesos			
Concepto	2018	2019	2020 ^R
Millones de pesos a precios corrientes			
Total	69.138.432	81.858.627	14.498.504
Sector primario	659.215	675.011	702.607
11 - Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	659.215	675.011	702.607
111 - Agricultura	422.744	434.205	458.040
112 - Cría y explotación de animales	197.759	202.173	206.105
113 - Aprovechamiento forestal	20.575	20.737	20.774
114 - Pesca, caza y captura	16.919	16.997	17.028
115 - Servicios relacionados con las actividades agropecuarias y forestales	1.219	900	660
Sector secundario	17.215.070	20.565.674	4.846.585
21 - Minería	882.480	959.783	842.928
22 - Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final	389.810	446.568	400.277
23 - Construcción	1.022.891	946.334	792.788
236 - Edificación	623.888	586.534	473.908
2361 - Edificación residencial	433.834	417.026	346.705
2362 - Edificación no residencial	190.054	169.508	127.202
237 - Construcción de obras de ingeniería civil	199.449	175.799	145.464
238 - Trabajos especializados para la construcción	199.554	184.001	173.416
31-33 - Industrias manufactureras	14.919.888	18.212.989	2.810.592
Sector terciario	51.264.147	60.617.941	8.949.312
43-46 - Comercio	3.727.998	3.792.277	3.588.274
48-49 - Transportes, correos y almacenamiento	2.806.859	3.421.360	818.053

Nota. Tomado de INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Productividad Total de los Factores - Modelo KLEMS

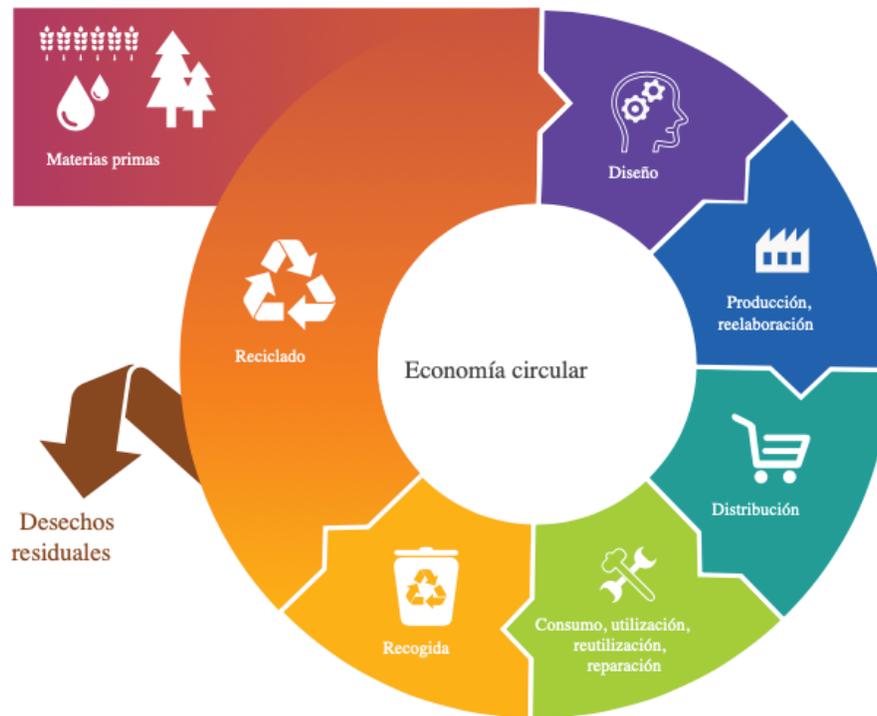
Los gobiernos nacionales están adoptando la economía circular como una estrategia para lograr una economía sostenible que combine factores económicos, ambientales y sociales. El objetivo es generar beneficios económicos, aumentar el PIB, reducir la cantidad de materiales

utilizados, crear más empleos y disminuir el riesgo precario, así como la gestión de los recursos utilizados desde el inicio hasta la finalización del proyecto.

De acuerdo con el Parlamento Europeo, la economía circular implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes tantas veces como sea posible para crear un valor añadido, tal como se muestra en la figura 13.

De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende y el producto nunca pierde valor, lo que significa tomar, producir, consumir, reparar, reusar y reciclar.

Figura 13- Pasos que dan forma a una economía circular.



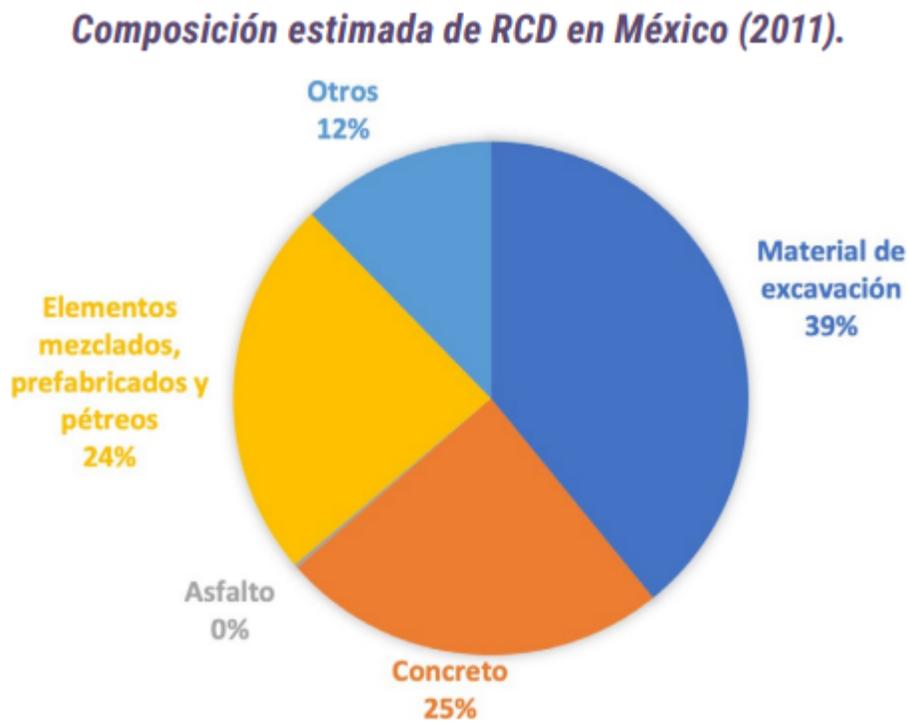
Nota. Economía circular (Parlamento Europeo, 2022)

Según estudios de la CMIC, 2018, México generó alrededor de 6.08 millones de toneladas en el año, de las cuales solo el 3% se recicló y el 1% se reusó. Estudios recientes En relación con México, según un informe de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) en 2014, se estimó que en 2012 se generaron alrededor de 42.1 millones de

toneladas de residuos, lo que equivale a una producción diaria de más de 115,000 toneladas. Durante este período, la generación per cápita diaria aumentó de 300 gramos en 1950 a 990 gramos en 2012, lo que significa que cada individuo en México arroja aproximadamente 361 kilogramos de basura al año.

En la figura 14, se muestra el porcentaje de desechos que genera el sector de la construcción sea durante el proceso o en las fases de demolición, lo cual genera un gran impacto en su economía, al no tener un aprovechamiento de sus residuos, el gran costo que genera el transporte para que sean desechados, y que a su vez genera un gran impacto nivel ambiental.

Figura 14- Porcentaje de residuos en la construcción y demolición de obras en México



Nota. RCD. Tomado de (CMIC, 2018)

Según Preciado et al, 2021, el Plan Nacional de Desarrollo de México 2019-2024 incluye una sección sobre desarrollo sostenible pero no menciona una hoja de ruta para lograrlo. En 2019, se creó la Ley General de Economía Circular destinada a estipular un marco normativo común en el país que facilite la transición a un modelo de EC con uso eficiente de los recursos naturales, económicos y humanos. Su propósito es reciclar desechos y convertir los desechos de una industria en materia prima para otra. Para ello se proponen trece capítulos, de los cuales se destacarán el tercero y cuarto, desarrollando temas sobre materias primas y residuos para otros usos. Aunque esta iniciativa aún no ha sido adoptada pero aún se está fortaleciendo para su aprobación. La investigación de Preciado et al, 2021, también recopiló información de las empresas en México que actualmente implementan el concepto de economía circular, dichos resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8- Empresas que implementan economía circular en México

Empresa	Acciones
Grupo Bimbo	Aplica tres etapas en su cadena de valor; aplicación del ecodiseño en sus empaques, prácticas de economía circular con proveedores (regreso y reciclaje de contenedores) reducción de desperdicios en sus plantas, programas de reciclaje en post consumo.
Heineken	Desde 2016, Heineken México forma parte del <i>Circular Economy 100</i> , programa liderado por la Fundación Ellen MacArthur, siendo la primera empresa mexicana incorporada al programa. Energías renovables y producción local de la cebada.
Jumex	Colabora con una empresa de distribución sostenible con el uso de tarimas reutilizables.
Tajín	Implementó un envase elaborado de plástico 100% reciclado.

Nota. Tomado de (Preciado et al, 2021)

4.2 Análisis de precios unitarios (APU)

Toda actividad que va a ser realizada en construcción se relaciona a un análisis de precio por individual, esto con el fin de optimizar los recursos destinados a cada actividad, definir la unidad de medida y el precio de pago, de tal forma, no exceder costos. Según Torres (2005), los precios unitarios pueden ser directos o indirectos. En el caso de la presente investigación, al considerarse mano de obra, materiales, maquinaria y equipo, transporte, y herramientas menores, se estará haciendo uso de un análisis de costo directo; puesto que son elementos que intervienen directamente en la ejecución del concepto de trabajo. Con lo anterior, se procede a realizar un análisis muy básico de la elaboración de los diferentes tipos de bloque, y se realiza el APU de cada uno de los casos en estudio y así determinar su costo directo. Es importante resaltar que dicho análisis estará basado y adaptado del software generador de precios CYPE Ingenieros, S.A.

4.2.1 Precio de producción de un bloque 100% de pet extruido artesanal

Tabla 9- Análisis costo de elaboración de un bloque PET 100% Extruido Artesanal

COSTO DE ELABORACION DE UNA UNIDAD DE MAMPOSTERIA 100% PET						
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
1	Formaleta de lámina	und	0,2	\$ 240	\$	48
2	Pet	Kg	5,19	\$ 3,4	\$	18
4	Aceite mineral	litro	0,1	\$ 55	\$	6
5	Cilindro de gas	und	1	\$ 934	\$	934
6	Estufa industrial	und	1	\$ 3.500	\$	3.500
7	Olla a presión	und	1	\$ 829	\$	829
8	Guantes resistentes al calor	par	2	\$ 79	\$	158
TOTAL					\$	5.492

Nota. Costo elaboración de unidad PET. Adaptado de (Torres, 2005)

La compra de una estufa industrial, una pipeta de gas y una olla a presión implica una inversión costosa. Sin embargo, una vez que se han adquirido estos materiales, producir un bloque PET de forma artesanal con dimensiones de 57x10x7 cm tendría un costo de 18 pesos mexicanos. Cabe destacar que, si la producción se lleva a cabo en una planta de producción con alta demanda, el costo de fabricación sería mucho menor. Aunque este tema no es objeto de estudio en la presente investigación.

4.2.2 Precio de producción de un bloque con sustitución del 20% de arena por fibras pet artesanal.

Tabla 10- Análisis costo de elaboración de un bloque sustitución de arena por pet

COSTO DE ELABORACION DE UNA UNIDAD DE MAMPOSTERIA 20% PET						
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
1	Formaleta de lámina	und	0,2	\$ 240	\$ 48	
2	Pet	Kg	0,67	\$ 3,4	\$ 2,3	
3	Arena	Kg	3,3	\$ 1,1	\$ 3,7	
4	Cemento	kg	1,12	\$ 2,6	\$ 2,9	
5	Agua	Lts	0,007	\$ 22,0	\$ 0,15	
6	Aceite mineral	Lts	0,1	\$ 55	\$ 6	
7	Pipeta a gas	und	1	\$ 934	\$ 934	
8	Estufa industrial	und	1	\$ 3.500	\$ 3.500	
9	Olla a presión	und	1	\$ 829	\$ 829	
10	Guantes resistentes al calor	par	2	\$ 79	\$ 158	
TOTAL					\$ 5.484	

Nota. Costo elaboración de unidad PET. Adaptado de (Torres, 2005)

Se presenta un alto costo por la inversión al comprar la estufa industrial, la pipeta de gas y la olla a presión, suponiendo que ya se hizo la inversión de esos materiales, el costo para producir un bloque con sustitución del 20% de arena por pet de 24x12x10 sería de 9,1 pesos

mexicanos. Cabe resaltar que, si la producción se realiza en una planta con una alta demanda de producción, el precio de fabricación es mucho menor, solo que no es tema de estudio en la presente investigación.

4.2.3 Precio de producción de un bloque convencional de arcilla

Tabla 11- Análisis costo de elaboración de un bloque arcilla artesanal

COSTO DE ELABORACION DE UNA UNIDAD DE MAMPOSTERIA DE ARCILLA RECOCIDA					
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Formaleta de lámina	und	0,2	\$ 240	\$ 48
2	Arcilla	Kg	1,93	\$ 3,2	\$ 6,2
3	Pizarra	Kg	1,93	\$ 3	\$ 5,8
4	Horno	Kg	1	\$ 7.500	\$ 7.500
5	Guantes resistentes al calor	und	1	\$ 79	\$ 79
TOTAL					\$ 7.639

Nota. Costo elaboración de unidad PET. Adaptado de (Torres, 2005)

La inversión inicial en la compra del horno, la formaleta, los guantes, entre otros materiales, puede ser elevada. Sin embargo, estos recursos son reutilizables en la producción futura de bloques, lo que implica que no se requiere volver a incurrir en los mismos costos. En términos de costos, la producción artesanal de un bloque de arcilla con dimensiones de 24x12x10 cm asciende a 6,2 pesos mexicanos, excluyendo los costos previamente mencionados. Es importante destacar que, en una planta con una alta demanda de producción, el costo de fabricación se reduce significativamente. No obstante, dicho aspecto no se aborda en el presente estudio.

4.2.4 Precio de producción de un bloque convencional de concreto

Tabla 12- Análisis costo de elaboración de un bloque convencional de concreto

COSTO DE ELABORACION DE UNA UNIDAD DE MAMPOSTERIA BLOQUE CONVENCIONAL						
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total	
1	Formaleta de lámina	und	0,2	\$ 240	\$	48
2	Grava	Kg	1,6	\$ 1,8	\$	2,9
3	Arena	Kg	1,2	\$ 3,3	\$	4,0
4	Cemento	kg	1,12	\$ 2,6	\$	2,9
5	Agua	m3	0,0032	\$ 22,0	\$	0,1
6	Aceite mineral	Lts	0,1	\$ 55	\$	5,5
TOTAL					\$	63,3

Nota. Fuente propio autor

El costo para producir un bloque de concreto de manera artesanal de 20x10x40 cm sería de 9,9 pesos mexicanos, esto suponiendo que la formaleta quedará para los futuros bloques que se realicen, y el aceite mineral también. Cabe resaltar que, si la producción se realiza en una planta con una alta demanda de producción, el precio de fabricación es mucho menor, solo que no es tema de estudio de la presente investigación.

A continuación, se realiza el análisis de costos para construir muros con los diferentes tipos de bloque, para los casos en que se usa material con pet, se toma como referencia el precio por unidad obtenido en los cálculos anteriores; para el caso de los muros hechos con material convencional, se usará el precio establecido en el software Cype Ingenieros.

Para el muro divisorio en bloques de concreto, se eligió el de menor dimensión que presentaba el software, pues no había uno con volumen similar al bloque 100% extruido.

4.3.1 Caso 1 – Muro de bloque con sustitución del 20% de arena por PET

Tabla 13- APU de muro con bloque sustitución de arena del 20% por fibra pet

Código	Und	Descripción	Cantidad	Costo	Importe
FFQ020	m ²	Capa de muro divisorio interior, de mampostería de bloque de concreto con sustitución del 20% de arena por fibras pet.			
Capa de muro divisorio interior, de 10 cm de espesor, de mampostería de bloque macizo de concreto con sustitución de arena del 20% por fibra pet, repellable, 10x12x24 cm, con juntas de 10 mm de espesor, con juntas de 10 mm de espesor, asentada con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m ³ de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos. Formación de los dinteles mediante piezas en "U" con armado y macizado de concreto.					
1		Materiales			
	und	Bloque macizo de concreto ligero sustituto 20% de arena por fibras pet, repellable, 10x12x24 cm.	\$ 35,00	\$ 9,1	318,50
mt08aaa010a	m ³	Agua.	\$ 0,01	\$ 21,96	\$ 0,22
mt01arg005a	t	Arena de cantera, para mortero hecho en obra.	\$ 0,01	\$ 303,23	\$ 3,34
mt08cem000f	kg	Cemento gris en sacos.	\$ 4,07	\$ 2,16	\$ 8,78
mt07aco080a	kg	Acero fy=4200 kg/cm ² , de varios diámetros, según NMX-C-407-ONNCCE.	\$ 0,30	\$ 12,35	\$ 3,71
mt01arg000f	m ³	Arena cribada.	\$0,003	\$ 139,55	\$ 0,42
mt01arg001fd	m ³	Agregado grueso homogeneizado, de tamaño máximo 12 mm.	0,003	\$ 245,00	\$ 0,74
				Subtotal materiales:	\$ 335,71
2		Equipo y herramienta			
mq06hor010	h	Revolvedora de concreto.	0,01	\$ 28,29	\$ 0,14
				Subtotal equipo y herramienta:	\$ 0,14
3		Mano de obra			
mo021	h	Oficial albañil especializado en trabajos de mampostería.	0,83	\$ 100,21	\$ 82,67
mo114	h	Peón albañil especializado en trabajos de mampostería.	0,50	\$ 58,64	\$ 29,32
				Subtotal mano de obra:	\$ 111,99
4		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	5%	\$ 447,84	\$ 22,39
Costo de mantenimiento decenal: \$ 5,13 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3+4):		\$ 470,23

Nota. Adaptado de software CYPE Ingenieros (2022)

4.3.2 Caso 2 – Muro con bloque 100% PET extruido

Tabla 14- APU de muro con bloque 100% pet

FFQ020		m ²	Capa de muro divisorio interior, de mampostería de bloque 100% plástico			
Capa de muro divisorio interior, de 7cm de espesor, de mampostería de bloque macizo 100% pet (tipo lego) 7x10x53 cm. Formación de los dinteles mediante piezas de plástico.						
Código	Und	Descripción	Cantidad	Costo	Importe	
1		Materiales				
	und	Bloque 100% plástico 53x10x7cm	19,0	\$ 18,00	\$ 342,00	
	m ³	Dinteles 100% plástico	0,01	\$ 4.851,00	\$ 48,51	
	und	Platinas de anclaje	1,0	\$ 216,00	\$ 216,00	
Subtotal materiales:					\$ 606,51	
2		Equipo y herramienta				
Subtotal equipo y herramienta:					\$ -	
3		Mano de obra				
	h	Oficial albañil especializado en trabajos de mampostería.	0,35	\$ 100,21	\$ 35,07	
	h	Peón albañil especializado en trabajos de mampostería.	0,25	\$ 58,64	\$ 14,66	
Subtotal mano de obra:					\$ 111,99	
4		Herramienta menor				
	%	Herramienta menor	5%	\$ 719	\$ 49,73	
Costo de mantenimiento decenal: \$ 0 en los primeros 10 años.				Costos directos (1+2+3+4):	\$ 689,06	

Nota. Adaptado de (Gómez, 2020)

Los precios referenciados de los dinteles y las platinas para ensamblar el muro fueron tomadas de la investigación de Gómez, 2020, el cuál realizó el análisis económico de diferentes proyectos construidos con bloques 100% reciclables tipo lego, entre ellos una casa en la que se usó este material.

4.3.3 Caso 3 – Muro con panel 100% PET y malla termoacústica

Para el muro con panel PET se toma en cuenta el precio estudiado por el autor Correia, 2021, el cuál estable que el costo en el mercado del molde ronda los 27,56 y la malla 45,51, obteniendo un precio final del panel de 75,07 por m² (a noviembre del 2022), al precio anterior se adicionará el precio de los parales y fijaciones del muro.

Tabla 15- APU de muro con panel 100% pet

FBY010 m ² Muro divisorio panel 100% PET					
Muro divisorio sencillo (con una placa tipo normal en cada cara, de 5 mm de espesor cada placa), de 60 mm de espesor total, formado por una estructura simple como cajón con malla pet a su interior, Incluso banda acústica de dilatación autoadhesiva; fijaciones para el anclaje de canales; tornillería para la fijación de las placas; y cinta para el tratamiento de juntas.					
Código	Und	Descripción	Cantidad	Costo	Importe
1		Materiales			
mt12psg041b	m	Banda autoadhesiva de espuma de poliuretano de celdas cerradas, de 3,2 mm de espesor y 50 mm de anchura, resistencia térmica 0,10 m ² K/W, conductividad térmica 0,032 W/(mK).	1,20	\$ 6,01	\$ 7,21
	m ²	Panel 100% PET 1200/longitud/ 5 cm	2,50	\$ 75,07	\$ 187,68
mt12psg010b	und	Tornillo autoperforante 3,5x25 mm.	38,00	\$ 0,21	\$ 7,98
mt12psg220	und	Fijación compuesta por taquete y tornillo 5x27.	1,60	\$ 1,16	\$ 1,86
mt12psg035a	kg	Pasta de juntas.	1,20	\$ 22,93	\$ 27,52
Subtotal materiales:					\$ 232,24
2		Mano de obra			
mo053	h	Oficial montador de mamparas y sistemas de placas.	0,22	\$ 102,98	\$ 38,10
mo100	h	Ayudante montador de mamparas y sistemas de placas.	0,25	\$ 60,98	\$ 22,56
Subtotal mano de obra:					\$ 60,66
3		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	5%	292,90	14,64
Costo de mantenimiento decenal: \$ 0 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		\$ 307,54

Nota. Adaptado de software CYPE Ingenieros (2022)

4.3.4 Muro convencional de arcilla

Tabla 16- APU de muro con tabique de barro

Código	Und	Descripción	Cantidad	Costo	Importe
FFR010 m ₂ Capa interior de muro doble de fachada, de mampostería de tabique de barro repellable.					
Muro doble cara, de 10 cm de espesor, de mampostería de tabique de barro con huecos verticales, repellable, Tabicimbra "NOVACERAMIC", 10x12x24 cm, con juntas de 10 mm de espesor, asentada con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m ³ de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos. Formación de los dinteles mediante piezas en "U" con armado y macizado de concreto.					
1 Materiales					
mt04lhm010rdge	und	Tabique de barro con huecos verticales, repellable, Tabicimbra "NOVACERAMIC", 10x12x24 cm; con el precio incrementado el 20% en concepto de piezas especiales: cadenas. Según NMX-C-441-ONNCCE.	35,0	\$ 6,2	\$ 217,0
mt08aaa010a	m ³	Agua.	0,01	\$ 21,96	\$ 0,22
mt01arg005a	t	Arena de cantera, para mortero hecho en obra.	0,02	\$303,23	\$ 5,76
mt08cem000f	kg	Cemento gris en sacos.	5,21	\$ 2,60	\$ 13,56
mt07aco080a	kg	Acero fy=4200 kg/cm ² , de varios diámetros, según NMX-C-407-ONNCCE.	0,30	\$ 12,35	\$ 3,71
mt01arg000f	m ³	Arena cribada.	0,003	\$139,55	\$ 0,42
mt01arg001fd	m ³	Agregado grueso homogeneizado, de tamaño máximo 12 mm.	0,003	\$245,00	\$ 0,74
mt50spa050m	m ³	Tablón de madera de pino, dimensiones 20x7,2 cm.	0,001	\$6431,1	\$ 6,43
mt50spa081a		Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,003	\$281,92	\$ 0,85
mt50spa101	kg	Clavos de acero.	0,011	\$ 27,41	\$ 0,30
Subtotal materiales:					\$ 238,35
2 Equipo y herramienta					
mq06hor010	h	Revolvedora de concreto.	0,008	\$ 28,29	\$ 0,23
Subtotal equipo y herramienta:					\$ 0,23
3 Mano de obra					
mo021	h	Oficial albañil especializado en trabajos de mampostería.	1,43	\$100,21	\$ 143,30
mo114	h	Peón albañil especializado en trabajos de mampostería.	1,07	\$58,64	\$ 62,63
Subtotal mano de obra:					\$ 205,93
4 Herramienta menor					
	%	Herramienta menor	5%	\$444,51	\$ 22,23
Costo de mantenimiento decenal: \$ 30,09 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3+4):		\$ 466,74

Nota. Adaptado de (CYPE Ingenieros, 2022)

4.3.5 Muro convencional de concreto

Tabla 17- APU de muro con bloque de concreto

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Costo	Importe
FFR020 m ² Capa interior de muro doble de fachada, de mampostería de bloque de concreto repellable.					
Muro doble de fachada, de 10 cm de espesor, de mampostería de bloque macizo de concreto ligero, repellable, 10x20x40 cm, con juntas de 10 mm de espesor, con juntas de 10 mm de espesor, asentada con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m ³ de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos. Formación de los dinteles mediante piezas en "U" con armado y macizado de concreto.					
1		Materiales			
mt02bhl010me	und	Bloque macizo de concreto ligero, repellable, 10x20x40 cm; con el precio incrementado el 20% en concepto de piezas especiales. Según NMX-C-441-ONNCCE.	13,000	9,90	128,70
mt08aaa010a	m ³	Agua.	0,010	21,96	0,22
mt01arg005a	t	Arena de cantera, para mortero hecho en obra.	0,011	303,23	3,34
mt08cem000f	kg	Cemento gris en sacos.	4,067	2,16	8,78
mt07aco080a	kg	Acero fy=4200 kg/cm ² , de varios diámetros, según NMX-C-407-ONNCCE.	0,300	12,35	3,71
mt01arg000f	m ³	Arena cribada.	0,003	139,55	0,42
mt01arg001fd	m ³	Agregado grueso homogeneizado, de tamaño máximo 12 mm.	0,003	245,00	0,74
mt50spa050m	m ³	Tablón de madera de pino, dimensiones 20x7,2 cm.	0,001	6431,14	6,43
mt50spa081a	und	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,003	281,92	0,85
mt50spa101	kg	Clavos de acero.	0,011	27,41	0,30
				Subtotal materiales:	153,49
2		Equipo y herramienta			
mq06hor010	h	Revolvedora de concreto.	0,005	28,29	0,14
				Subtotal equipo y herramienta:	0,14
3		Mano de obra			
mo021	h	Oficial albañil especializado en trabajos de mampostería.	1,160	100,21	116,24
mo114	h	Peón albañil especializado en trabajos de mampostería.	0,876	58,64	51,37
				Subtotal mano de obra:	167,61
4		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	3,000	321,24	9,64
Costo de mantenimiento decenal: \$ 25,95 en los primeros 10 años.			Costos directos	330,88	
					(1+2+3+4):

Nota. Adaptado de (CYPE Ingenieros, 2022)

4.3.6 Muro convencional de placas de yeso

Tabla 18- APU de muro con placas de yeso

FBY010 m ² Muro divisorio de placas de yeso.					
Muro divisorio sencillo (15+48+15)/400 (48) (con una placa tipo normal en cada cara, de 15 mm de espesor cada placa), de 78 mm de espesor total, con nivel de calidad del acabado estándar (Q2), formado por una estructura simple de perfiles de lámina de acero galvanizado de 48 mm de anchura, a base de postes (elementos verticales) separados 400 mm entre sí, con disposición normal "N" y canales (elementos horizontales), a la que se atornillan dos placas en total (una placa tipo normal en cada cara, de 15 mm de espesor cada placa). Incluso banda acústica de dilatación autoadhesiva; fijaciones para el anclaje de canales y postes metálicos; tornillería para la fijación de las placas; cinta de papel con refuerzo metálico y pasta y cinta para el tratamiento de juntas. El precio incluye la resolución de encuentros y puntos singulares, pero no incluye el aislamiento a colocar entre los postes.					
Código	Und	Descripción	Cantidad	Costo	Importe
1		Materiales			
mt12psg041b	m	Banda autoadhesiva de espuma de poliuretano de celdas cerradas, de 3,2 mm de espesor y 50 mm de anchura, resistencia térmica 0,10 m ² K/W, conductividad térmica 0,032 W/(mK).	1,200	\$ 5,01	\$ 6,01
mt12psg070c	m	Canal de perfil de acero galvanizado de 48 mm de anchura.	0,70	\$27,74	\$ 19,42
mt12psg060c	m	Poste de perfil de acero galvanizado de 48 mm de anchura.	2,75	\$33,49	\$ 92,10
mt12psg010b	m ²	Placa de yeso A / - 2500/ 1200/ 5	2,10	\$126,29	\$ 265,21
mt12psg081c	und	Tornillo autoperforante 3,5x25 mm.	38,00	\$0,21	\$ 7,98
mt12psg220	und	Fijación compuesta por taquete y tornillo 5x27.	1,60	\$1,16	\$ 1,86
mt12psg035a	kg	Pasta de agarre.	0,10	\$11,05	\$ 1,11
mt12psg030a	kg	Pasta de juntas.	0,60	\$22,93	\$ 13,76
mt12psg040a	m	Cinta microperforada de papel.	3,20	\$ 0,87	\$ 2,78
	m	Cinta de papel con refuerzo metálico.	0,30	\$ 8,70	\$ 2,61
				Subtotal materiales:	\$ 412,84
2		Mano de obra			
mo053	h	Oficial montador de mamparas y sistemas de placas.	0,37	\$102,98	\$ 38,10
mo100	h	Ayudante montador de mamparas y sistemas de placas.	0,37	\$60,98	\$ 22,56
				Subtotal mano de obra:	\$ 60,66
3		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	5	\$473,50	\$ 23,68
Costo de mantenimiento decenal: \$ 24,15 en los primeros 10 años.			Costos directos	\$ 497,18	
					(1+2+3):

Nota. Adaptado de (CYPE Ingenieros, 2022)

CAPÍTULO V

5.1 Análisis comparativo al usar bloques de PET vs bloques convencionales

Uno de los principales aspectos a tener en cuenta para promover la construcción sostenible es la selección de materiales y soluciones constructivas respetuosas con el medio ambiente. En este sentido, se han estudiado diversas alternativas de materiales para la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) que permiten reducir el impacto ambiental durante su ciclo de vida. Una de estas alternativas es el uso de fibras de PET como sustituto parcial o total de los agregados tradicionales en la fabricación de materiales de construcción. En este estudio se explorará cómo estas alternativas contribuyen al desarrollo de materiales rentables y amigables con el medio ambiente. Para ello, se compararon los precios de los materiales convencionales generados por el programa CYPE Ingenieros con los precios de los materiales que incorporan la sustitución parcial o total de PET. Cabe destacar que estos precios incluyen los costos asociados a la fabricación de muros divisorios, soportes, conexiones, mano de obra, entre otros, pero no incluyen los acabados. Las conclusiones del estudio se obtendrán mediante el análisis de gráficas que permitan evaluar los aspectos económicos y ambientales de cada alternativa de material. En resumen, se busca identificar la solución constructiva más viable desde una perspectiva económica y sostenible.

5.2 Desempeño ambiental

Para realizar dichas comparaciones, hay diferentes aspectos ambientales en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción que se toman en cuenta para determinar si el material con sustitución parcial o total de PET es adecuado y reduce en algún porcentaje alguno de

estos impactos ambientales generados en dicho sector o por lo contrario aumenta o no genera impacto en alguno de los indicadores que se mencionan a continuación, y los cuáles se tomarán como base para realizar las comparaciones entre los diferentes materiales.

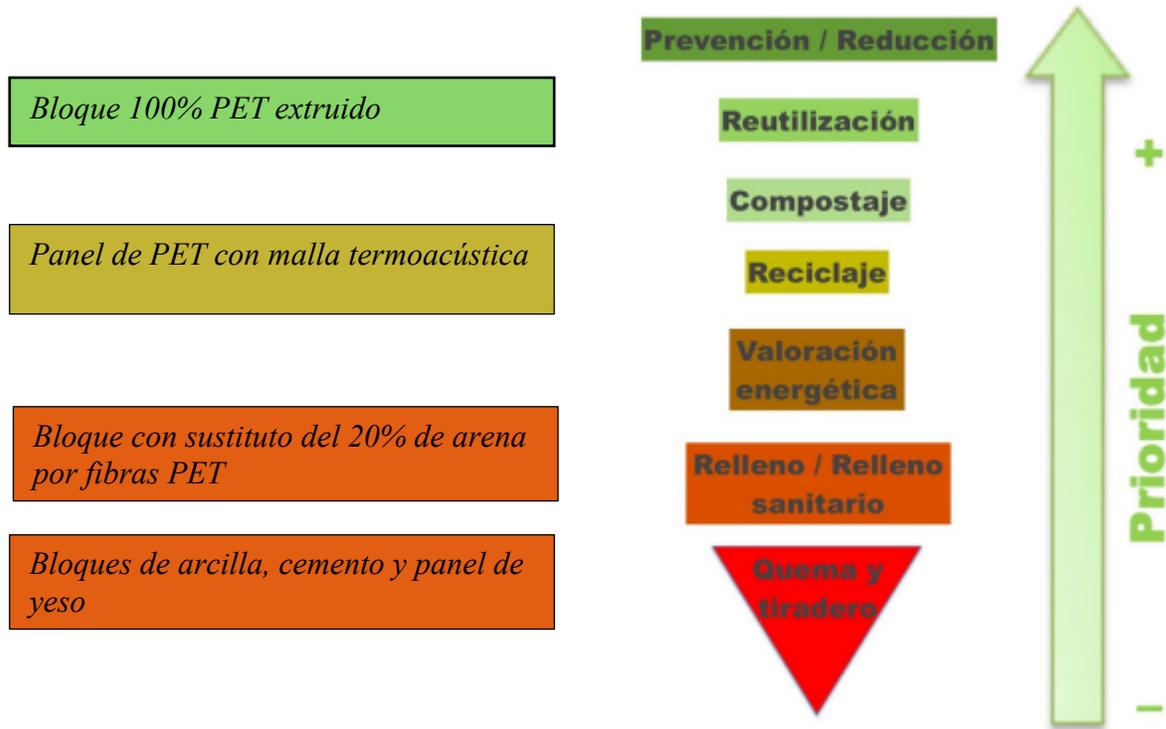
Indicadores para evaluar:

- 1- Potencial de reutilización y reciclaje: Posibilidad de nuevo uso al final de la vida.
- 2- Residuos generados: Cantidad de residuos generados durante la construcción, desmontaje o demolición de la obra.
- 3- Uso total de energía primaria no renovable: Uso de energía proveniente de recursos naturales no renovables.
- 4- Potencial de calentamiento global (GWP): Emisión de gases de efecto invernadero, para los casos en estudio, emisión de dióxido de carbono (CO₂).
- 5- Cantidad de PET retirado del medio ambiente por m² de muro construido para mitigar la contaminación en mares por plásticos.
- 6- Certificación ambiental a la que se puede apuntar.

5.2.1 Potencial de reutilización y reciclaje

Como bien hemos estudiado en capítulos anteriores, los nuevos productos que presentan incorporación, sustitución, o que están hechos en su totalidad con residuos sólidos, entran en el contexto de economía circular, algunos de estos pueden ser, el aluminio, los plásticos, el cobre, el vidrio, entre otros, debido a que pueden reducir, reciclar o reusar con el fin de aprovechar y transformar dichas materias primas en innovadores productos que mitigan algunos de los problemas ambientales. De acuerdo con lo anterior, en la figura 15 se presenta un orden jerárquico de los casos estudiados donde se indica cuál tiene más potencial ecológico (en cuanto a reusar o reciclar) y cuál presenta menos potencial.

Figura 15- Potencial de reutilización o reciclaje de casos en estudio



Nota. Jerarquía de residuos. Adaptado de (PNUD-PNUMA, 2018)

De acuerdo con la gráfica anterior, se puede observar que el bloque pet 100% extruido puede ser reutilizado al final de su vida útil, el panel con su malla termoacústica puede ser reciclado y el bloque con sustitución de arena por fibras a pesar que en su producción contribuya con el medio ambiente al hacer uso de residuos de tereftalato de polietileno, al final de su vida útil va al vertedero o relleno, por lo que no es un producto que se pueda reciclar o reutilizar por contener cemento y agregados, el mismo caso es para los bloques de arcilla, concreto y los paneles de yeso. Así se puede establecer que el caso 2 y el caso 3, son los que tienen mayor potencial de reutilización y reciclaje contribuyendo con la problemática ambiental.

5.2.2 Residuos generados

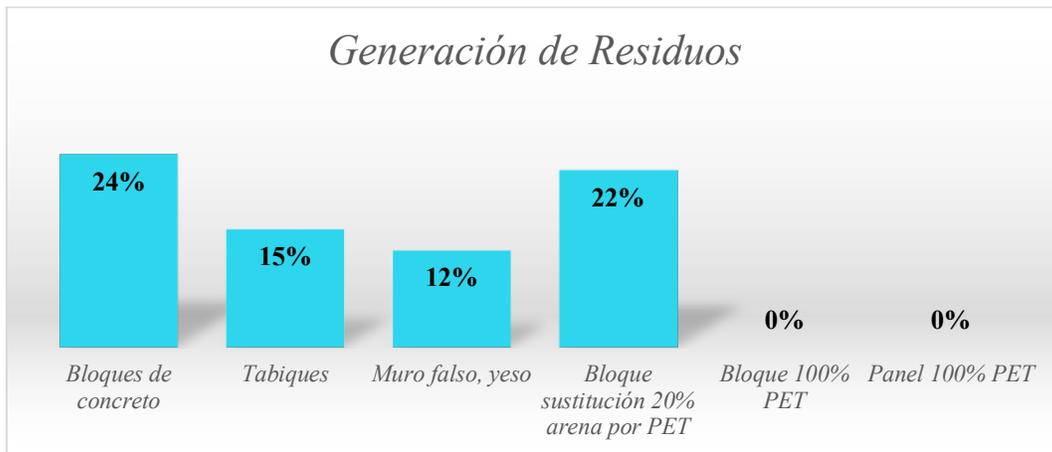
Este indicador, será determinado de acuerdo con lo establecido por la industria de la construcción en cuánto a generación de residuos en dicho sector y en específico a los tipos de materiales usados en la misma actividad, es decir, que los casos que se están evaluando es para reemplazar los productos convencionales usados en la construcción de muros divisorios, por nuevos productos innovadores que ayuden a mitigar los desechos generados. Teniendo claro lo anterior, en la gráfica x, se muestra el porcentaje de residuos generados al usar los diferentes tipos de materiales. Los datos de los porcentajes de residuos de materiales convencionales serán tomados por los datos publicados por la cámara mexicana de industria y comercio presentados en la figura 16 y comparados con los residuos generados por los productos con PET.

Figura 16- Desechos generados por la construcción

Grupo	Subproducto	Porcentaje Incidencia	Participación (Miles Ton)
Material de Excavación	Material para Relleno.	39	2,381
Concreto	Concreto: Bases Hidráulicas, Concretos Hidráulicos, Adocretos, Adopastos, Bordillos, Postes de Cemento-Arena, Morteros.	24	1,482
	Asfalto: Carpetas Asfálticas.	0.3	15
	Piedra, Block-Tabique, Tabicones Mortero, Adoquines, Tabicones, Tubos de Albañal, Mamposterías, Tabiques, Ladrillos.	24	1,456
Elementos Mezclados Prefabricados y Pétreos	Yeso, Muro Falso	12	746
Otros	Madera Cerámica Plástico Metales Lámina Vidrios Papel y cartón		
RSU	RSU		
Residuos Orgánicos	Hojas, Ramas, Troncos y Raíces.		
Producto de Despalme			
Totales		100	6,080

Nota. Porcentaje RCD. Tomado de (CMIC, 2018)

Gráfico 8- Porcentajes de generación de residuos de diferentes materiales



Nota. Fuente propio autor

De acuerdo con los datos del gráfico anterior, se puede observar que los bloques de concreto, tabiques, o tabicones son los que mayor porcentaje de generación de residuos produce con un 24% y 15%, le sigue el bloque con sustitución de arena por pet con un 22%, el panel de yeso con un 12% y finaliza el bloque y panel 100% de pet extruido el cual no genera desechos pues cuenta con un 0%. También se presenta la gráfica de los residuos generados en kg/m² de cada material.

Gráfico 9- Residuos generados en kg/m²



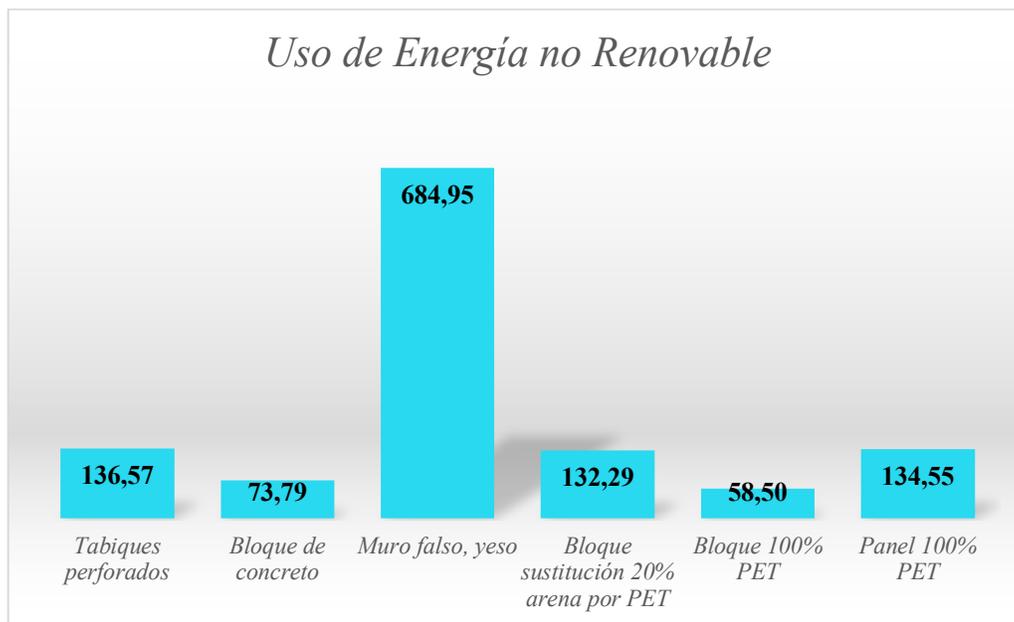
Nota. Fuente propio autor

5.2.3 Uso total de energía primaria no renovable

Respecto a la energía no renovable usada para obtener los productos mencionados en la investigación, a comparación de los materiales convencionales, los bloques y el panel hechos 100% de PET usan un poco menos energía para su producción, pues se usa el reciclaje mecánico para obtener las formas deseadas, y de acuerdo con datos estudiados en capítulos anteriores, este tipo de reciclaje gasta 40 GJ para procesar una tonelada de fibra PET.

En el gráfico 10, se muestran la energía que se usa para los productos en estudio, los datos referenciados fueron tomadas de la investigación de Correia, 2021.

Gráfico 10- Uso total de energía no renovable en MJ/m², entre los bloques pet, mallas PET y los materiales convencionales



Nota. Adaptado de (Correia, 2021)

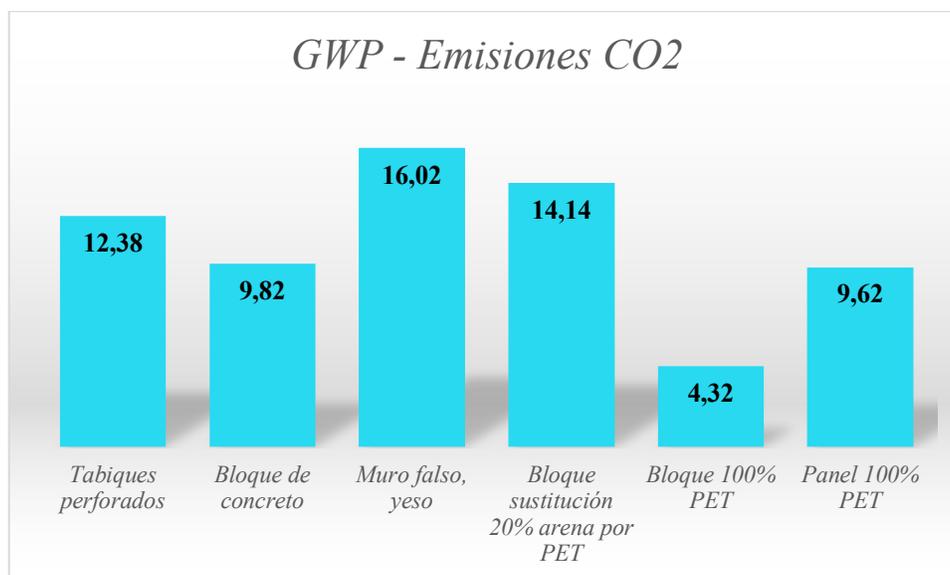
Como se puede observar en el gráfico, el uso total de energía no renovable es mayor para muros hechos con panel de yeso, en cuánto a los paneles 100% no es mucha la diferencia, pues el uso de energía solo está 1,5% por debajo del tabique multiperforado y 45% por

encima de un bloque de concreto. Por otro lado, los bloques con sustituto de arena por PET usan un 44% más de energía que los bloques hechos en concreto, esto se debe a que necesita energía adicional al agregar fibra pet para su elaboración, por último, el que usa menos energía no renovable es el bloque 100% PET en comparación con los otros, requiere 57% menos de energía que los tabiques multiperforados, y un 21% menos que los bloques de concreto.

5.2.4 Potencial de calentamiento global (GWP)

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) es un indicador muy importante pues es uno de los mayores impactos generados en el medio ambiente, cada año aumenta de acuerdo con la demanda del crecimiento en la industria de la construcción, por ejemplo, por cada tonelada de cemento que se fabrica en el mundo, se genera 1 tonelada de CO₂ a la atmósfera. De acuerdo con lo anterior, En el gráfico 11, se presentan los datos de emisiones en kg/m².

Gráfico 11- Emisiones de dióxido de carbono generadas en kg/m²



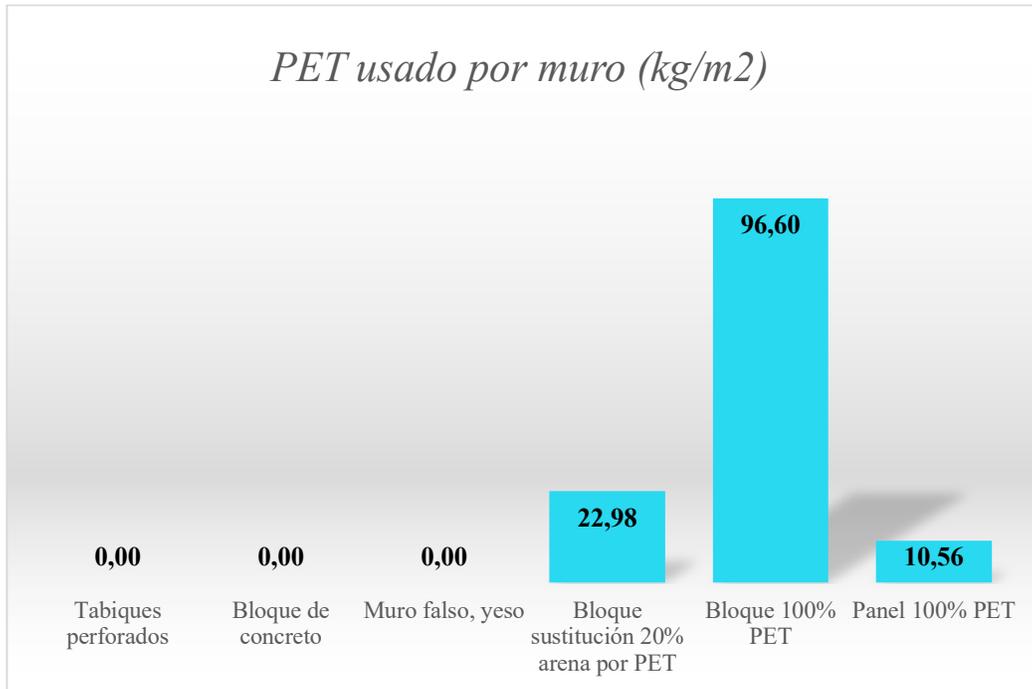
Nota. Fuente propio autor

Analizando la gráfica anterior se puede observar que el bloque 100% PET es el que emite menos CO₂ aproximadamente un 65% menos que los tabiques multiperforados, y 56% menos que los bloques de concreto. Respecto al panel PET se observa que emite 2% menos que el bloque de concreto y 22% menos que los tabiques, luego encontramos el bloque de concreto que emite menos CO₂ que el bloque con sustitución de arena por PET, puesto que este se vale de los dos procesos para elaborarse. En las últimas posiciones se presentan los tabiques y los muros falsos de yeso que son los que más emisiones de CO₂ generan al elaborarse.

5.2.5 Cantidad de PET retirado del medio ambiente por m² de muro construido para mitigar la contaminación en mares por plástico

En esta sección se presenta el peso por m² de muro construido que beneficia al medio ambiente partiendo desde el punto de vista que, si se usa alguno de los productos presentados en los diferentes casos, dicha cantidad será eliminada del entorno y ayudará a mitigar la contaminación en mares por residuos plásticos que se presenta actualmente. En la gráfica 12, se muestra el peso en Kg/m² de cada uno de los casos en estudio y para los materiales convencionales, se tomarán en cuenta el peso de fichas técnicas de diferentes fabricantes; Grupo Traber para el bloque, Novaceramic para el tabique y USG para el panel de yeso, de esa manera se podrán realizar las comparaciones. Es importante aclarar que dicho peso corresponderá únicamente a la pieza de bloque o panel.

Gráfico 12- Peso de pet necesario por m2 de muro en kg/m2.



Nota. Fuente propio autor

Se puede establecer por los datos anteriores que el producto que más contribuye a mitigar la contaminación en mares por plásticos es el bloque 100% PET, pues es el que necesita más kg de pet para elaborarse (96,6 kg), posicionándolo así en el primer lugar, en la línea continua el bloque con sustitución del 20% de arena por PET que aunque es 76% menor que el porcentaje del bloque 100% PET, contribuye a desechar 22,9 kg de plástico de los mares, y por último se encuentra el panel 100% de PET con 10,56 kg.

Los tabiques, bloques y muros falsos no contribuyen en la contaminación por plásticos en mares por lo que les corresponde un 0% en aportación a mitigar dicho impacto.

5.2.6 Certificación ambiental a la que se puede apuntar

En este punto del estudio, se determinará cuál es la certificación más adecuada para cada caso particular, considerando las evaluaciones realizadas en los capítulos anteriores. Las certificaciones analizadas son LEED, EDGE, NMX-AA-164-SCF1-2013 y CASA COLOMBIA. Se tendrán en cuenta los parámetros y categorías que evalúa cada una de estas certificaciones al relacionar los resultados en la Tabla 19 (Aspectos que se pueden destacar en la evaluación de certificaciones ambientales).

Es importante destacar que, aunque la tabla 19 muestra una parte importante de los aspectos que se deben considerar para obtener la certificación, es necesario cumplir con los requisitos específicos de cada una de las categorías de la certificación para poder obtenerla. En este sentido, se requiere de la adquisición de puntos en diferentes categorías y procesos de certificación, los cuales son llevados a cabo por representantes de las certificaciones que evalúan si el proyecto es merecedor de la certificación en cuestión.

Cabe destacar que EDGE, en particular, ofrece una ventaja significativa en términos de evaluación. Esta certificación proporciona un software en línea y gratuito que permite calcular el porcentaje de ahorro en agua, energía y materiales de acuerdo con los sistemas utilizados en el proyecto. Esto facilita la evaluación y optimización del proyecto, lo que puede mejorar las posibilidades de obtener la certificación EDGE.

En resumen, la elección de la certificación más adecuada para cada caso particular dependerá de una evaluación detallada de los parámetros y categorías evaluadas por cada certificación, y de la adquisición de los puntos necesarios para obtenerla. Además, el uso del software de evaluación de EDGE puede ser de gran ayuda en el proceso de certificación.

Tabla 19 - Aspectos que se pueden destacar en la evaluación de certificaciones ambientales

PRODUCTO	CERTIFICACIÓN	CATEGORIAS
Caso 1. Bloque con sustitución 20% de arena por fibras PET	NMX-AA-164-SCF1-2013	Materiales y residuos: considerar impacto social y económico a lo largo de la vida útil del material como la obtención de materia prima, manufactura, transporte, colocación en obra, mantenimiento, demolición y disposición final luego de su vida útil.
	LEED	Materiales y recursos: debido al uso de materiales reciclados
Caso 2. Bloque 100% PET Caso 3. Panel 100% PET	EDGE	Ahorro 20% en energía incorporada en los materiales por uso de PET el cual también aligera el peso de la edificación.
	NMX-AA-164-SCF1-2013	Energía: aislante térmico en muros
		Materiales y residuos: considerar impacto social y económico a lo largo de la vida útil del material como la obtención de materia prima, manufactura, transporte, colocación en obra, mantenimiento, demolición y disposición final luego de su vida útil.
	CASA COLOMBIA	Sostenibilidad en la obra: debido que el uso de materiales PET en obra, minimiza el impacto negativo en el ambiente
		Eficiencia en Materiales: uso de productos más sostenibles
		Bienestar: por tener el PET buenas propiedades termoacústicas protege el espacio de ruidos
		Responsabilidad social: participación de trabajadores para promover prácticas sostenibles

Nota. Fuente propio autor

5.3 Desempeño económico

Para estimar la sostenibilidad de una solución de material/construcción, también se debe considerar el comportamiento e impacto económicos de esa solución. Para esto, se debe evaluar tanto los costos de inversión como también todos los costos para el mantenimiento. Además, como se mencionó en capítulos anteriores, es muy importante que los materiales evaluados para lograr soluciones de sostenibilidad puedan incluirse en el concepto de economía circular. Cabe resaltar que el panel 100% PET no tuvo un análisis de costo en cuanto a su elaboración artesanal, por lo que se tomó el valor directamente de la investigación realizada por Correia, 2021, los demás casos fueron adaptados del software Cype Ingenieros con el costo por unidad obtenido de la elaboración artesanal.

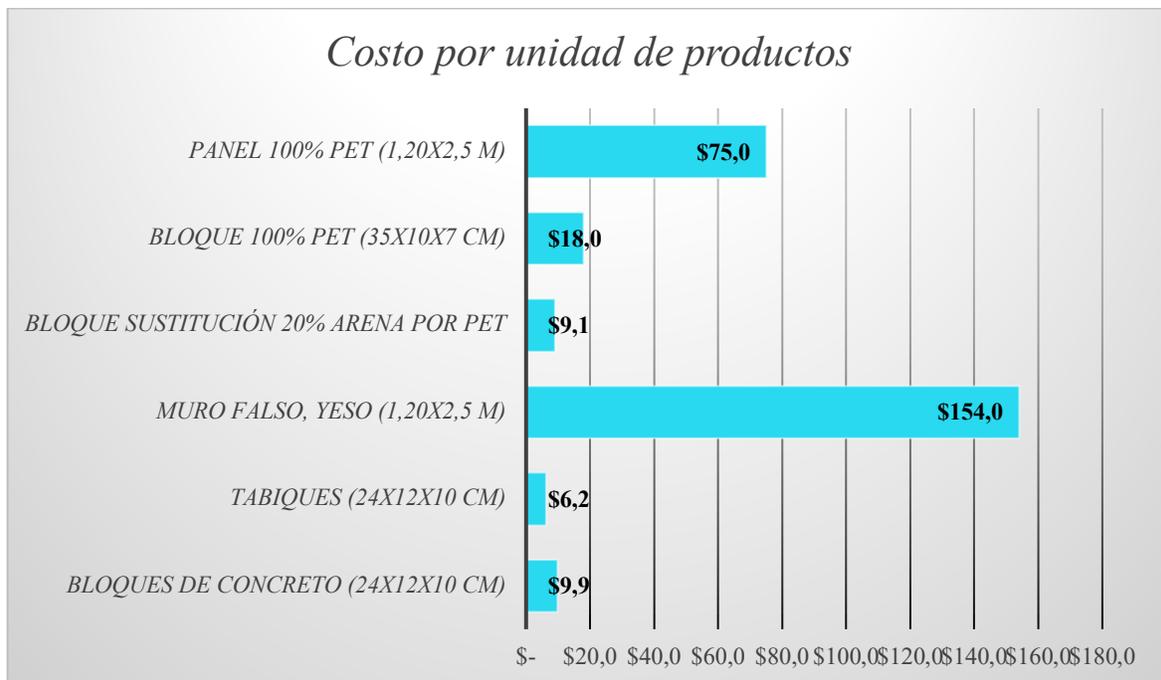
Dentro de los parámetros a evaluar tendremos: costos en moneda mexicana.

- 1- Costo por unidad del material preparado artesanalmente: se comparará el análisis de costo realizado que presentan los diferentes productos en la fase de elaboración de manera artesanal.
- 2- Costo por m² de muro basado en los APUs: se tomarán en cuenta los costos generados por el programa Cype Ingenieros y adaptado para los materiales convencionales de manera artesanal, al igual que los casos de estudio.
- 3- Costos de mantenimiento: en este indicador solo se evaluará los materiales que presentan costos de mantenimiento durante su vida útil.
- 4- Economía circular: se establecen cuáles de los productos estudiados pueden seguir generando valor.
- 5- Aumento de costo por peso del material usado: se realizará el análisis del aligeramiento en cuanto al peso de la estructura de los diferentes sistemas.

5.3.1 Costo por unidad del material preparado artesanalmente

Para producir un bloque de PET, con sustitución de arena por PET, de concreto o de arcilla, de manera artesanal se necesitan diferentes aparatos y sus costos fueron tomados de la búsqueda en internet, por tal motivo dichos costos se van a ver elevados, pero en caso de contar con alguno de los equipos o encontrar equipos más baratos, se reduce el costo de inversión en estos, de tal manera que solo se tomará en cuenta el precio por unidad como se muestra en el gráfico 13, sin incluir los gastos pues estos pueden alterar la realidad de los resultados, los resultados están en moneda mexicana.

Gráfico 13- Comparación costos por unidad de elementos con diferentes dimensiones



Nota. Fuente propio autor

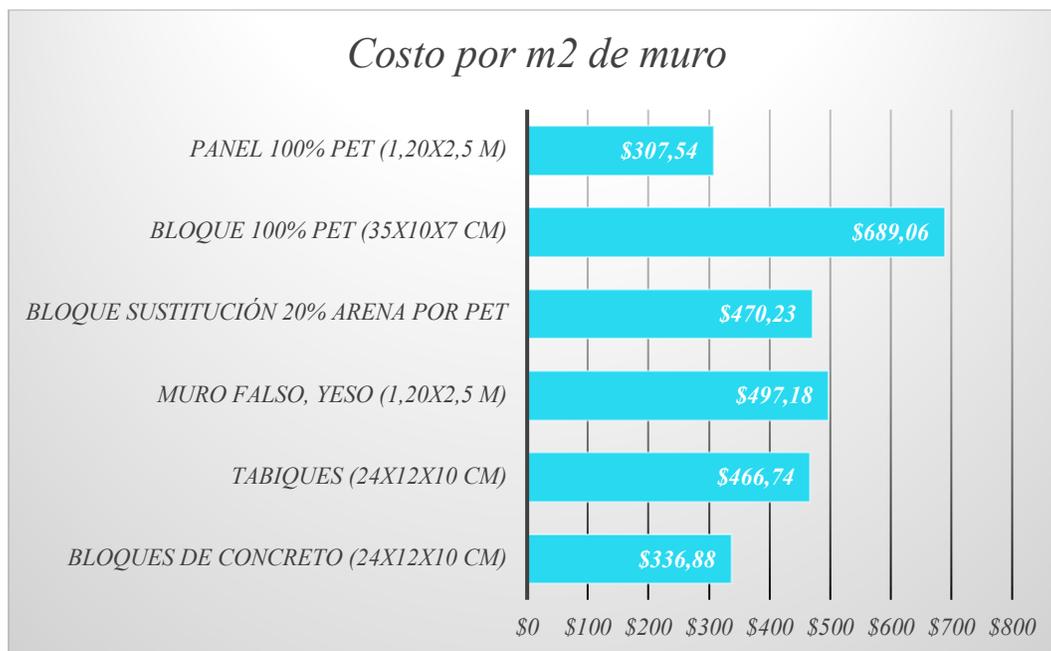
Como se puede observar, si se elabora el producto de manera artesanal, se tiene que el costo más alto es el del muro de yeso con \$154 pesos, luego se encuentra el panel 100% PET, se debe tener en cuenta que los dos productos por unidad presentan grandes dimensiones

(1,20x2,50 m) a comparación de los bloques, continuando con el análisis se encuentra el bloque 100% PET con un costo de \$18 pesos, no muy lejanos entre si se encuentran el bloque de concreto y el bloque con sustitución del 20% de arena por fibras PET, con una diferencia de solo \$1 peso entre ambos y por último el costo más bajo lo obtiene el tabique.

5.3.2 Costo de muro por m2 basado en los APUs

Luego de los análisis de precios unitarios realizados en capítulos anteriores, se pudo determinar el costo por m2 al usar los diferentes sistemas de construcción de muros divisorios, dando como resultado los datos que se muestran en el gráfico 14 que servirán para comparar la mejor alternativa económica por m2 de actividad, se debe resaltar que dichos precios incluyen el montaje y preparación completa del muro (materiales, transporte, mano de obra, herramientas, etc.), de tal forma que es un costo completo.

Gráfico 14- Comparación costos de m2 de muro con materiales estudiados



Nota. Fuente propio autor

En la gráfica anterior, los datos indican que el panel 100% PET es el más favorable económicamente, pues es el que menor costo por m² presenta, 9% más barato que usar un bloque de concreto, 34% por debajo de un tabique y 38% menos que el precio del muro en yeso. También se puede notar que el costo más alto lo tiene el bloque 100% PET, pues es el que por unidad preparado artesanalmente presenta el costo más alto, cabe resaltar que el costo de los productos puestos en estudio y los convencionales pueden disminuir cuando se cotiza una gran cantidad y su producción es mecanizada. El bloque con sustitución de arena por PET está 1% más caro que un tabique convencional.

5.3.3 Costos de mantenimiento

Este indicador se comparará de acuerdo con los costos por mantenimiento que presenta el software Cype ingenieros de los materiales convencionales.

Gráfico 15- Comparación costo por mantenimiento m² cada 10 años



Nota. Fuente propio autor

En el gráfico 15, se muestran los costos de mantenimiento por m² cada 10 años de los materiales 100% PET es de \$0 pesos mexicanos, pues como hemos estudiado antes, el tereftalato de polietileno es un material que no necesita mantenimiento durante su vida útil, y es muy bueno para combatir la humedad, también se puede observar que el costo más alto de mantenimiento es el del tabique con \$30,09 pesos, por ser un material fabricado de arcilla en muchos casos se presentan problemas de humedad, sigue en la línea con un 14% menos en costos de mantenimiento los bloques de concreto, comparado con los de tabique. El costo de mantenimiento del muro de yeso es 7% menor al de los bloques de concreto y 20% menor que los tabiques. Por último, encontramos el bloque con sustitución de arena por pet, al contener dichas fibras, las cuales mejora sus propiedades de absorción, el costo de mantenimiento disminuye comparado al de un bloque de concreto convencional, siendo así 22% más económico el mantenimiento por m² cada 10 años de dicho elemento.

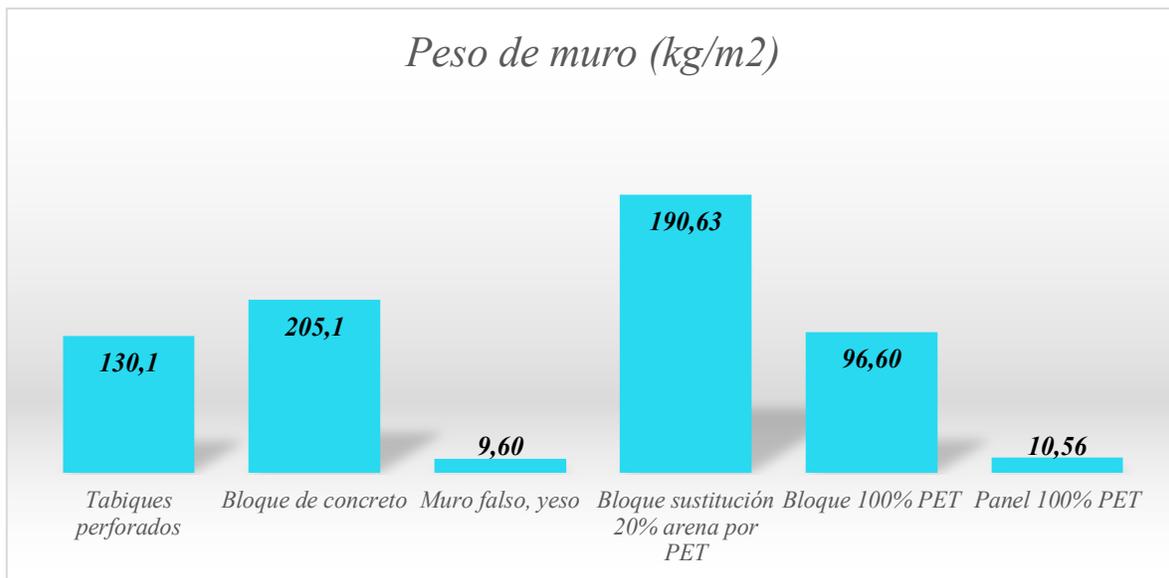
5.3.4 Economía circular

Se tendrá en cuenta los conceptos estudiados anteriormente, por ser el PET un material que entra en el concepto de economía circular, de acuerdo con eso el bloque PET puede ser reutilizado y regresado a la economía, en cuanto al panel 100% PET el cuál se compone por una placa y una malla termoacústica hecha también 100% de PET, se tiene que la placa depende el acabado que le quieran dar, no puede ser totalmente reutilizada o reciclada, a diferencia de la malla que si es completamente reutilizable. En el caso del bloque con sustitución de arena por PET, y los materiales convencionales, no pueden ingresar nuevamente a la economía pues no es un material que se cumpla con las características de reutilización o reciclaje.

5.3.5 Aumento de costo por peso del material usado

Éste es un parámetro importante, pues influye mucho a la hora de obtener el presupuesto de un proyecto, muchas veces estos costos se ven elevados por el sistema elegido para muros divisorios, pues al tener una alta carga, se necesita de elementos estructurales más robustos que puedan soportarlos lo que conlleva a ser más costoso. En el gráfico 16, se presenta el peso por m² de cada sistema para muro divisorio. Los pesos de los materiales convencionales se tomarán en cuenta el peso de fichas técnicas de diferentes fabricantes; Grupo Traber para el bloque, Novaceramic para el tabique y USG para el panel de yeso, de esa manera se podrán realizar las comparaciones.

Gráfico 16- Comparación pesos de sistema en kg/m² de muro



Nota. Fuente propio autor

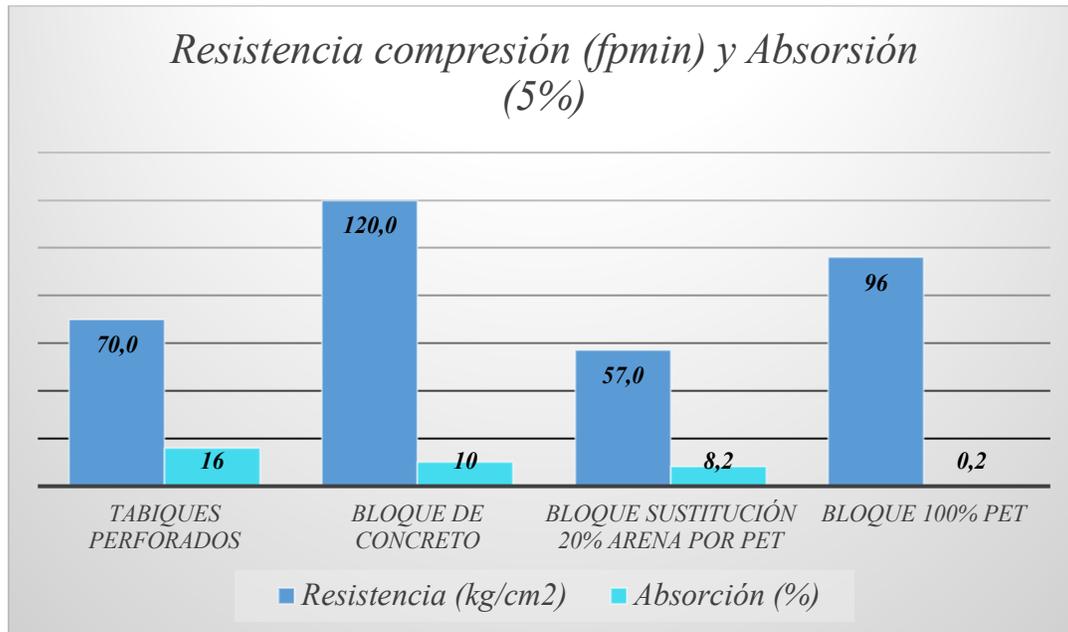
De gráfico anterior se puede observar que el sistema que más contribuye en el aligeramiento de las cargas es el panel de yeso, aportando al sistema solo 9,6kg/m² (cabe resaltar que es una lámina de yeso sencilla, no posee propiedades termoacústicas), luego encontramos el

panel 100% PET, el cuál pesa 9% más que el panel de yeso y que sí posee propiedades termoacústicas, en cuánto a los bloques, el que menos favorece en la reducción de cargas es el bloque de concreto con un peso de 205,1kg/m², el bloque que tiene sustituto de arena por PET pesa solo 8% menos que un bloque de concreto convencional. El bloque perforado de barro genera 130,1kg/m² al sistema de cargas pero que como vimos anteriormente presenta alto costo de mantenimiento. Continúa el bloque 100% PET, que, aunque pesa 33,5 kg/m² más que el de tabique, no presenta costos de mantenimiento. Por último, dentro de los materiales convencionales, encontramos que el bloque que menos favorece para construcción de muros divisorios es el de concreto.

5.4 Desempeño funcional de los materiales

Como se ha venido explicando durante la investigación para que un material sea sostenible, no solo debe cumplir con aspectos ambientales, sino también se debe revisar su aspecto económico sin dejar a un lado su funcionalidad. Dicho aspecto se comparará en dos gráficos. Por un lado, en el gráfico 17 se presentarán los paneles con sus propiedades térmicas y en el gráfico 18 se presentarán los bloques con sus propiedades de resistencia y absorción. Para los datos de compresión de materiales convencionales se tuvieron los estándares mínimos establecidos en la NMX-C-404-ONNCCE-2012, respecto a los datos de resistencia de los materiales evaluados se obtuvieron por las investigaciones que fueron realizadas por los diferentes autores. Para la conductividad térmica de las placas de yeso se tuvieron en cuenta los datos de la ficha técnica del proveedor mencionado en capítulos anteriores, y para la placa de pet se tuvo en cuenta los datos de la investigación de Correia, 2021.

Gráfico 17- Comparación de resistencia a la compresión promedio y absorción de piezas

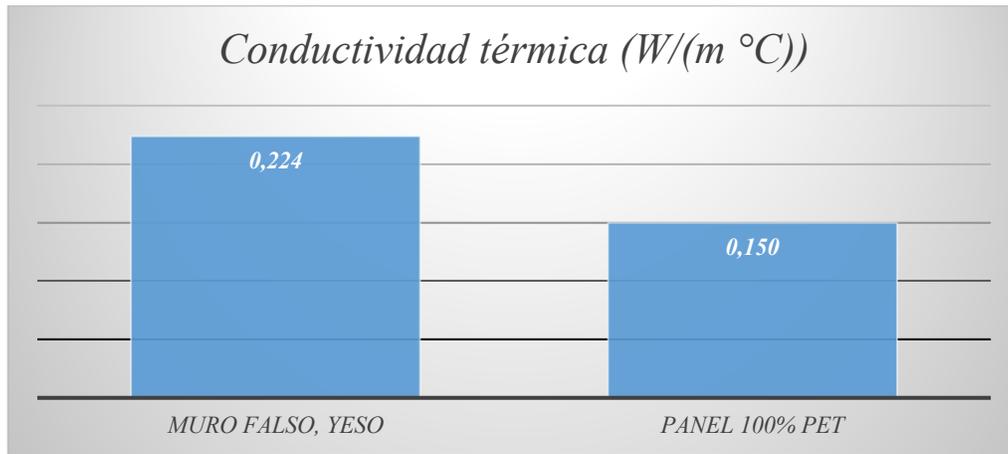


Nota. Fuente propio autor

Del gráfico anterior se deduce que el bloque que presenta mayor resistencia es el de concreto de 120kg/cm², respecto al bloque con sustitución de arena por pet se observa como cae la resistencia casi a la mitad de la resistencia de un bloque de concreto convencional por las fibras con las que se compuso su mezcla. El bloque PET presenta una resistencia 20% por debajo de la resistencia del bloque de concreto y 27% mayor a la resistencia del tabique de arcilla. De acuerdo con la absorción, como se ha reiterado en esta investigación, el tereftalato de polietileno es un material casi impermeable, se puede confirmar con los datos, que este bloque solo presenta un 0,2% de absorción, 97% por debajo del bloque de concreto y del 98% del tabique de arcilla que es el elemento que presenta mayor absorción.

En la gráfica 18, se compararán los resultados de la conductividad térmica de los paneles.

Gráfico 18- Comparación de conductividad térmica ($W/(m \text{ } ^\circ C)$)



Nota. Fuente propio autor

El panel de yeso presenta una mejor conductividad térmica que el panel 100% PET, es importante resaltar que en caso de utilizar un panel de yeso combinado con otro material sea lana, EPS, XPS, fibra de caucho entre otros, la conductividad térmica varía respecto al material sumado.

5.5 Análisis de sostenibilidad de los materiales estudiados

Para realizar la comparación del desempeño en conjunto ambiental, económico y funcional, se asignará un porcentaje de peso relativo a cada dimensión quedando de la siguiente forma: 34% desempeño ambiental, 33% desempeño económico y 33% desempeño funcional. Se adicionó el 1% a la parte ambiental para poder tener porcentajes sin decimales. Una vez asignado dichos porcentajes, se establecerá otro porcentaje dentro de cada dimensión a cada uno de los índices evaluados de acuerdo con el peso que cada uno de ellos acarrea, dichos porcentajes se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 20- Distribución de porcentajes a cada desempeño evaluado

Dimensión			
	Desempeño Ambiental- 34%	Desempeño Económico- 33%	Desempeño funcional- 33%
Indicadores	Potencial de reutilización y reciclaje – 10%	Costo por unidad del material preparado artesanalmente – 25%	Conductividad térmica de paneles – 33%
	Residuos generados – 15%	Costo por m2 de muro basado en los APUs- 30%	Resistencia compresión de piezas - 33%
	Uso total de energía primaria no renovable - 15%	Costos de mantenimiento - 10%	Absorción de piezas- 34%
	Potencial de calentamiento global (GWP) – 25%	Economía circular – 10%	-
	Cantidad de PET retirado del medio ambiente por m2 de muro – 20%	Aumento de costo por peso del material usado - 25%	-
	Certificación ambiental a la que se puede apuntar - 15%	-	-

Nota. Fuente propio autor

De acuerdo con lo anterior, para asignar una puntuación de sostenibilidad a cada material, se deben multiplicar los porcentajes correspondientes a cada uno de los indicadores y luego el resultado de este se multiplica por el peso de la dimensión correspondiente sea ambiental, económica y funcional. Al asignar los valores a cada uno de los indicadores, me dará como resultado que el mayor valor es el que genera más impacto negativo, por lo anterior, para los valores de economía circular y potencial de reciclaje se tomará caso no reutilizable 100%, caso reutilizable 0% y caso reciclaje 40%. Lo mismo para el indicador de certificación

ambiental, se estipulará un porcentaje de 0% si se cuenta con las 4 opciones de certificación, y 100% si no cuenta con opciones de certificaciones y para la cantidad de pet retirada del medio ambiente, si no retira nada tendrá 100% asignado y si retira depende la cantidad será entre 0 -0,99. De esa forma evitamos incurrir en errores pues si se ponen los casos al revés, los anteriores indicadores, estarían sumando en el impacto de forma negativa. En la tabla 21 se presentan los resultados de valor correspondiente al desempeño ambiental de los diferentes productos.

Tabla 21- Resultados para el valor correspondiente al desarrollo ambiental

Dimensión Ambiental							
Elementos	Potencial de reutilización y reciclaje- 10%	Residuos generados- 15%	Uso total de energía primaria no renovable- 15%	Potencial de calentamiento global (GWP)- 25%	Cantidad de PET retirado del medio ambiente por m2 de muro – 20%	Certificación ambiental a la que se puede apuntar – 15%	Valor para Desarrollo Ambiental
Tabiques perforados	0,10	0,15	0,03	0,19	0,20	0,15	0,82
Bloque de concreto	0,10	0,09	0,02	0,15	0,20	0,15	0,71
Muro falso, yeso	0,10	0,01	0,15	0,25	0,20	0,15	0,86
Bloque sustitución 20% arena por PET	0,10	0,15	0,03	0,22	0,15	0,11	0,76
Bloque 100% PET	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	0	0,08
Panel 100% PET	0,04	0,00	0,03	0,15	0,18	0	0,40

Nota. Fuente propio autor

Tabla 22- Resultados para el valor correspondiente al desarrollo económico

Dimensión Económica						
Elementos	Costo por unidad del material preparado artesanalmente - 25%	Costo por m2 de muro basado en los APUs- 30%	Costos de mantenimiento - 10%	Economía circular - 10%	Aumento de costo por peso del material usado- 25%	Valor para Desarrollo Económico
Tabiques perforados	0,02	0,20	0,10	0,10	0,12	0,54
Bloque de concreto	0,01	0,15	0,09	0,10	0,16	0,50
Muro falso, yeso	0,25	0,22	0,08	0,10	0,01	0,66
Bloque sustitución 20% arena por PET	0,01	0,20	0,07	0,10	0,25	0,64
Bloque 100% PET	0,03	0,30	0,00	0,00	0,13	0,46
Panel 100% PET	0,12	0,13	0,00	0,05	0,01	0,32

Nota. Fuente propio autor

En la tabla 22, para el caso del impacto generado por los costos de mantenimiento y economía circular se les asignó el porcentaje más bajo porque influye el impacto ambiental que ya se evaluó en los indicadores de la tabla 21.

Tabla 23- Resultados para el valor correspondiente al desarrollo funcional

Dimensión Funcional				
Elementos	Conductividad térmica de paneles - 33%	Resistencia comprensión de piezas - 33%	Absorción de piezas- 34%	Valor para Desarrollo Funcional
Tabiques perforados	0,20	0,14	0,34	0,68
Bloque de concreto	0,30	0,00	0,21	0,52
Muro falso, yeso	0,19	0,33	0,23	0,75
Bloque sustitución 20% arena por PET	0,33	0,17	0,17	0,68
Bloque 100% PET	0,29	0,07	0,00	0,36
Panel 100% PET	0,28	0,33	0,00	0,62

Nota. Fuente propio autor

A continuación, en la tabla 24 se presenta el resultado de sostenibilidad (suma de cada valor de desempeño por el porcentaje que le corresponde) de cada elemento, de acuerdo con cada uno de sus porcentajes, donde el **valor mayor es el que mayor es el menos sostenible**, esto se debe a las explicaciones hechas anteriormente.

Tabla 24- Resultado del índice de sostenibilidad

Elementos	Desarrollo Ambiental	Desarrollo Económico	Desarrollo Funcional	Sostenibilidad
Tabiques perforados	0,76	0,54	0,68	0,66
Bloque de concreto	0,77	0,50	0,52	0,60
Muro falso, yeso	0,86	0,66	0,75	0,76
Bloque sustitución 20% arena por PET	0,76	0,64	0,68	0,69
Bloque 100% PET	0,09	0,46	0,36	0,30
Panel 100% PET	0,40	0,32	0,62	0,45

Nota. Fuente propio autor

Con los resultados presentados en la tabla 24, se puede observar que el material menos sostenible es el muro falso en yeso obteniendo un índice de sostenibilidad de 0.76, este valor no se encuentra muy lejos del bloque con sustitución de arena por pet y del tabique, diferenciándose solo en un 9%.

El bloque de concreto es más sostenible comparado con el tabique y el bloque con sustitución de arena por pet, pero a su vez es menos sostenible que el bloque PET en un 48%, lo cual es una gran diferencia.

En cuanto al panel 100% PET es 24% más sostenible que el bloque de concreto, 35% más sostenible que el tabique y 42% más sostenible que el panel de yeso.

Por último, el material más sostenible es el bloque 100% PET, el cual presenta el índice más bajo 0,30, reflejando de esa forma que entre todos los materiales estudiados es el que menos impacto genera en el ambiente, en la economía y que a su vez es funcional.

CAPÍTULO VI

6.1 Modelado de la información para análisis de muros divisorios, presupuesto e impacto ambiental de un proyecto de 3 pisos con uso habitacional.

En el presente capítulo se realiza el modelado de la información de una vivienda de 3 pisos, de esta forma, contrastar los ejes de la investigación. Para analizar el enfoque funcional se realiza un modelado estructural con el software CypeCAD y se comparan las dimensiones obtenidas de los elementos estructurales con las diferentes cargas muertas a evaluar. Para el análisis económico mediante la herramienta Excel de Microsoft se realiza un presupuesto solo con el análisis de precios unitarios de las siguientes actividades:

- Suministro e instalación de columnas
- Suministro e instalación de vigas aéreas
- Acero para vigas aéreas
- Suministro e instalación de muros
- Acabado de muros: pañete, estuco, pintura (para los casos que aplique)

Es importante resaltar que no se evaluará la cimentación, pues ésta depende del tipo de suelo en el que se quiere construir la estructura. El bloque con sustituto de arena por fibras pet no será tomado en cuenta pues en el análisis del capítulo anterior se obtuvo un índice de sostenibilidad mayor que el de los materiales convencionales, por consiguiente, no se hace necesaria la evaluación en el presente capítulo. Para el análisis de sostenibilidad se tiene en cuenta el aporte al medio ambiente que se genera con el uso de los diferentes elementos evaluados y las certificaciones a las que puede apostar si se implementan dichos materiales en obras de construcción.

6.2 Datos de obra (vivienda unifamiliar)

- Uso: habitacional
- # de pisos: 3
- Área terreno: 150,25 m²
- Altura por piso:
 - Piso 1 y 2: 3.10 m
 - Piso 3: 3.20 m
- Altura total: 9.50m
- Pisos tipo:
 - Piso 1 es tipo A
 - Pisos 2 y 3 son tipo B
- Metro lineal muros divisorios:
 - Piso tipo A: 29,85 m²
 - Pisos tipo B: 34,22 m²

6.3 Render proyección de vivienda realizado con software Lumion

Figura 17 - Render de la edificación en estudio con software LUMION



Nota: Fuente propio autor

6.4 Planos Arquitectónicos realizados con software ArchiCAD

Figura 18- Planta piso tipo A

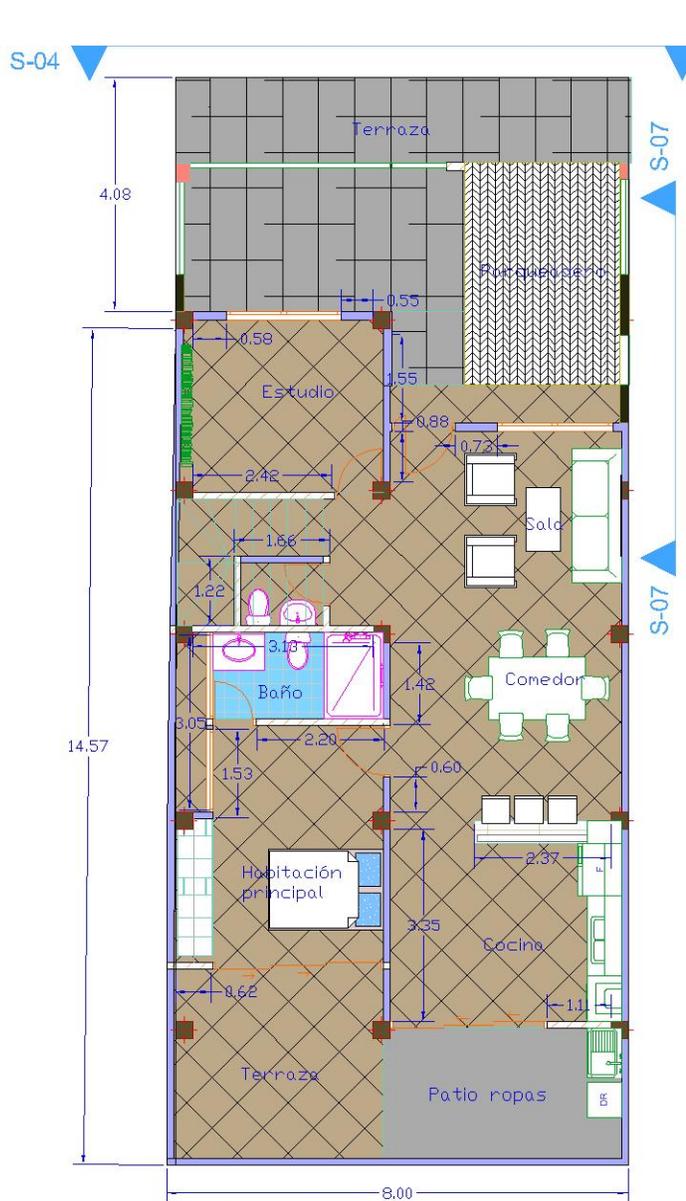
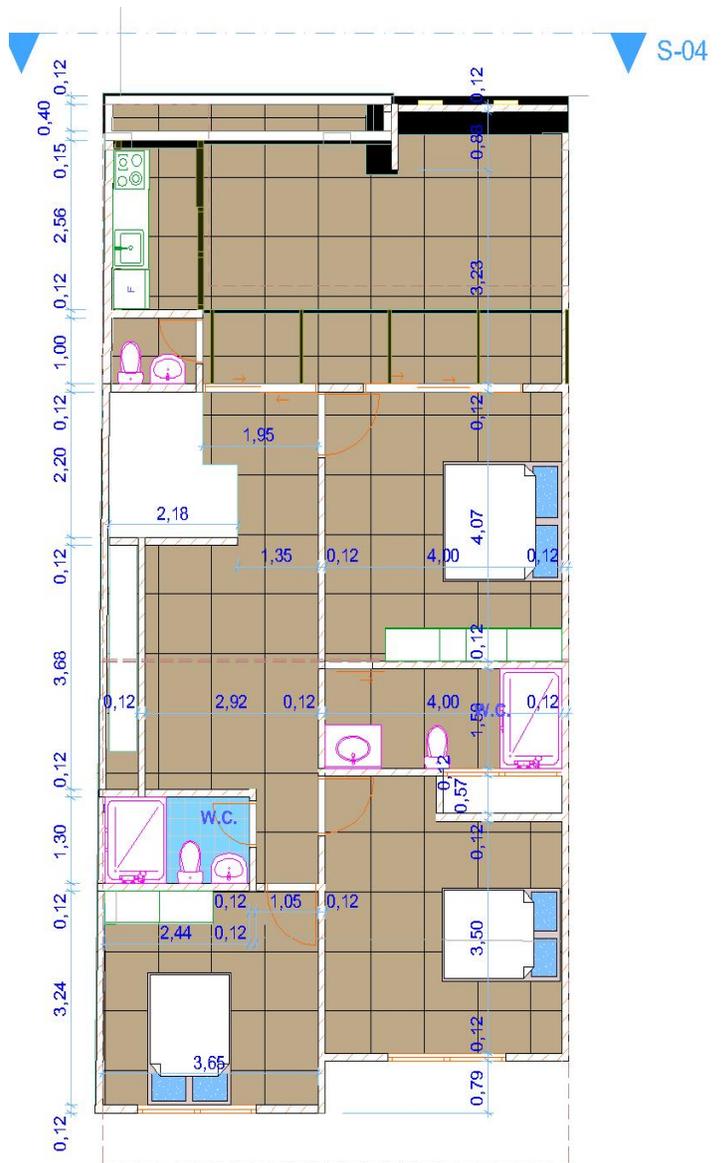


Figura 19- Planta piso tipo B



Nota: Fuente propio autor realizado en software ArchiCAD

6.5 Análisis de cargas muertas elementos no estructurales horizontales y verticales

Figura 20- Densidad de materiales comunes en la construcción

Tabla B.3.2-1
Masas de los materiales

<i>Material</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Material</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>
Acero	7 800	Mortero de inyección para mampostería	2 250
Agua		Mortero de pega para mampostería	2 100
Dulce	1 000	Piedra	
Marina	1 030	Caliza, mármol, cuarzo	2 700
Aluminio	2 700	Basalto, granito, gneis	2 850
Arena		Arenisca	2 200
Limpia y seca	1 440	Pizarra	2 600
Seca de río	1 700	Plomo	11 400
Baldosa cerámica	2 400	Productos bituminosos	
Bronce	8 850	Asfalto y alquitrán	1 300
Cal		Gasolina	700
Hidratada suelta	500	Grafito	2 160
Hidratada compacta	730	Parafina	900
Carbón, apilado	800	Petróleo	850
Carbón vegetal	200	Relleno de ceniza	920
Cemento pórtland, a granel	1 440	Tableros de madera aglutinada	750
Cobre	9 000	Terracota	
Concreto simple	2 300	Poros saturados	1 950
Concreto reforzado	2 400	Poros no saturados	1 150
Corcho, comprimido	250	Tierra	
Estaño	7 360	Arcilla húmeda	1 750
Grava seca	1 660	Arcilla seca	1 100
Hielo	920	Arcilla y grava seca	1 600
Hierro		Arena y grava húmeda	1 900
Fundido	7 200	Arena y grava seca apisonada	1 750
Forjado	7 700	Arena y grava seca suelta	1 600
Latón	8 430	Limo húmedo consolidado	1 550
Madera laminada	600	Limo húmedo suelto	1 250
Madera seca	450-750	Vidrio	2 600
Mampostería de concreto	2 150	Yeso en tableros para muros	800
Mampostería de ladrillo macizo	1 850	Yeso suelto	1 150
Mampostería de piedra	2 200	Zinc en láminas enrolladas	7 200

Nota: Tomado de la del reglamento colombiano de construcción sismorresistente

Figura 21- Cargas muertas de elementos no estructurales verticales

Tabla B.3.4.2-1
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – recubrimiento de muros

Componente	Carga (kN/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)	Carga (kgf/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)
Recubrimiento de muros		
Baldosin de cemento	0.80	80
Entablado de madera	0.0060 (por mm de espesor)	6.0 (por cm de espesor)
Madera laminada (según el espesor)	0.0100 (por mm de espesor)	10.0 (por cm de espesor)
Tableros aislantes para muros		
Espuma de poli estireno	0.0005 (por mm de espesor)	0.5 (por cm de espesor)
Espuma de poliuretano	0.0010 (por mm de espesor)	1.0 (por cm de espesor)
Fibra o acrílico	0.0020 (por mm de espesor)	2.0 (por cm de espesor)
Perlita	0.0015 (por mm de espesor)	1.5 (por cm de espesor)
Tableros de fibra	0.0030 (por mm de espesor)	3.0 (por cm de espesor)
Tableros de fibra, 12 mm	0.05	5
Tableros de yeso, 12 mm	0.10	10

Tabla B.3.4.2-2
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – particiones livianas

Componente	Carga (kN/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)	Carga (kgf/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)
Particiones livianas		
Particiones móviles de acero (altura parcial)	0.50	50
Particiones móviles de acero (altura total)	0.20	20
Poste en madera o acero, yeso de 12 mm a cada lado	0.90	90
Poste en madera, 50 x 100, sin pañetar	0.30	30
Poste en madera, 50 x 100, pañete por un lado	0.60	60
Poste en madera, 50 x 100, pañete por ambos lados	2.00	200

Tabla B.3.4.2-4
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – muros

Componente	Carga (kN/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)	Carga (kgf/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)
Muros		
Exteriores de paneles (postes de acero o madera):		
Yeso de 15 mm, aislado, entablado de 10 mm	1.00	100
Exteriores con enchape en ladrillo	2.50	250
Mampostería de bloque de arcilla:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Pañetado en ambas caras Sin pañetar	1.80 2.50 3.10 3.80 4.40 1.30 2.00 2.60 3.30 3.90	180 250 310 380 440 130 200 260 330 390
Mampostería de bloque de concreto:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Sin relleno Relleno cada 1.2 m Relleno cada 1.0 m Relleno cada 0.8 m Relleno cada 0.6 m Relleno cada 0.4 m Todas las celdas llenas	1.40 1.45 1.90 2.25 2.60 1.70 2.25 2.70 3.15 1.80 2.30 2.80 3.30 1.80 2.40 3.00 3.45 2.00 2.60 3.20 3.75 2.20 2.90 3.60 4.30 3.00 4.00 5.00 6.10	140 145 190 225 260 170 225 270 315 180 230 280 330 180 240 300 345 200 260 320 375 220 290 360 430 300 400 500 610
Mampostería maciza de arcilla:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Sin pañetar	1.90 2.90 3.80 4.70 5.50	190 290 380 470 550
Mampostería maciza de concreto:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Sin pañetar	2.00 3.10 4.20 5.30 6.40	200 310 420 530 640

Tabla B.3.4.2-3
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – enchapes

Componente	Carga (kN/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)	Carga (kgf/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)
Enchape		
Enchape cerámico	0.015 (por mm de espesor)	15 (por cm de espesor)
Enchape en arenisca	0.013 (por mm de espesor)	13 (por cm de espesor)
Enchape en caliza	0.015 (por mm de espesor)	15 (por cm de espesor)
Enchape en granito	0.017 (por mm de espesor)	17 (por cm de espesor)

Nota: Tomado de la del reglamento colombiano de construcción sismorresistente

Figura 22- Cargas muertas de elementos no estructurales horizontales

Tabla B.3.4.1-1
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – Cielo raso

Componente	Carga (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cielo raso		
Canales suspendidas de acero	0.10	10
Ductos mecánicos	0.20	20
Entramado metálico suspendido afinado en cemento.	0.70	70
Entramado metálico suspendido afinado en yeso.	0.50	50
Fibras acústicas	0.10	10
Pañete en yeso o concreto	0.25	25
Pañete en entramado de madera	0.80	80
Tableros de yeso	0.0080 (por mm de espesor)	8 (por cm de espesor)
Sistema de suspensión de madera.	0.15	15

Tabla B.3.4.1-2
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – relleno de pisos

Componente	Carga (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga (kgf/m ²) m ² de área en planta
Relleno de piso		
Arena	0.0150 (por mm de espesor)	15 (por cm de espesor)
Concreto con escoria	0.0200 (por mm de espesor)	20 (por cm de espesor)
Concreto con piedra	0.0250 (por mm de espesor)	25 (por cm de espesor)
Concreto ligero	0.0150 (por mm de espesor)	15 (por cm de espesor)

Tabla B.3.4.1-3
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos

Componente	Carga (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga (kgf/m ²) m ² de área en planta
Pisos y acabados		
Acabado de piso en concreto	0.0200 (por mm de espesor)	20 (por cm de espesor)
Afinado (25 mm) sobre concreto de agregado pétreo	1.50	150
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero.	0.80	80
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 25 mm de mortero.	1.10	110
Baldosa sobre 25 mm de mortero	1.10	110
Bloque de asfalto (50 mm), sobre 12 mm de mortero	1.50	150
Bloque de madera (75 mm) sin relleno	0.50	50
Bloque de madera (75 mm) sobre 12 mm de mortero	0.80	80
Durmientes de madera, 20 mm	0.15	15
Madera densa, 25 mm	0.20	20
Mármol y mortero sobre concreto de agregado pétreo	1.60	160
Piso asfáltico o linóleo, 6 mm	0.05	5
Pizarra	0.030 (por mm de espesor)	30 (por cm de espesor)
Terrazzo (25 mm), concreto 50 mm	1.50	150
Terrazzo (40 mm) directamente sobre la losa	0.90	90
Terrazzo (25 mm) sobre afinado en concreto	1.50	150

Tabla B.3.4.1-4
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – cubiertas

Componente	Carga (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cubierta		
Cobre o latón	0.05	5
Cubiertas aislantes		
Fibra de vidrio	0.0020 (por mm de espesor)	2.0 (por cm de espesor)
Tableros de fibra	0.0030 (por mm de espesor)	3.0 (por cm de espesor)
Perlita	0.0015 (por mm de espesor)	1.5 (por cm de espesor)
Espuma de poliestireno	0.0005 (por mm de espesor)	0.5 (por cm de espesor)
Espuma de poliuretano	0.0010 (por mm de espesor)	1.0 (por cm de espesor)
Cubiertas corrugadas de asbesto-cemento	0.20	20
Entablado de madera	0.0060 (por mm de espesor)	6.0 (por cm de espesor)
Láminas de yeso, 12 mm	0.10	10
Madera laminada (según el espesor)	0.0100 (por mm de espesor)	10.0 (por cm de espesor)
Membranas impermeables:		
Bituminosa, cubierta de grava	0.25	25
Bituminosa, superficie lisa	0.10	10
Líquido aplicado	0.05	5
Tela asfáltica de una capa	0.03	3
Marquesinas, marco metálico, vidrio de 10 mm	0.40	40
Tableros de fibra, 12 mm	0.05	5
Tableros de madera, 50 mm	0.25	25
Tableros de madera, 75 mm	0.40	40
Tablero metálico, calibre 20 (0.9 mm de espesor nominal)	0.08	8
Tablero metálico, calibre 18 (1.2 mm de espesor nominal)	0.08	8
Tabillitas (shingles) de asbesto – cemento	0.20	20
Tabillitas (shingles) de asfalto	0.10	10
Tabillitas (shingles) de madera	0.15	15
Teja de arcilla, incluyendo el mortero	0.80	80

Nota: Tomado de la del reglamento colombiano de construcción sismorresistente

6.5.1 Bloque de concreto macizo

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales verticales:

Muro en bloque sin pañete: 2 kN/m²

Mortero de pega(10mm): 0,21 kN/m²

Pañete (1cm): 0,21 kN/m²

Estuco (1,5cm) y pintura: 0,13 kN/m²

Enchape cerámica sobre 10mm de mortero: 0,14kN/m²

Ventanas, vidrio, entramado y marco: 0,45kN/m²

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales horizontales:

Pañete de losa (1,2cm): 0,25kN/m²

Cielo raso en tablero de yeso (15mm): 0,12 kN/m²

Entramado metálico suspendido afinado en yeso: 0,5 kN/m²

Relleno de piso: 0,15 kN/m²

Piso cerámica sobre 12mm de mortero: 0,8 kN/m²

Cubierta metálica cal20: 0,08 kN/m²

Total de cargas muertas elementos no estructurales: 5,04 kN/m².

6.5.2 Bloque de barro hueco

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales verticales:

Muro en bloque barro hueco sin pañete: 1,3 kN/m²

Mortero de pega(10mm): 0,21 kN/m²

Pañete (1cm): 0,21 kN/m²

Estuco (1,5cm) y pintura: 0,13 kN/m²

Enchape cerámica sobre 10mm de mortero: 0,14kN/m²

Ventanas, vidrio, entramado y marco: 0,45kN/m²

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales horizontales:

Pañete de losa (1,2cm): 0,25kN/m²

Cielo raso en tablero de yeso (15mm): 0,12 kN/m²

Entramado metálico suspendido afinado en yeso: 0,5 kN/m²

Relleno de piso: 0,15 kN/m²

Piso cerámico sobre 12mm de mortero: 0,8 kN/m²

Cubierta metálica cal20: 0,08 kN/m²

Total de cargas muertas elementos no estructurales: 4,34 kN/m².

6.5.3 Panel de yeso

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales verticales:

Muro panel de yeso (15mm): 1 kN/m²
Estuco (1,5cm) y pintura: 0,13 kN/m²
Enchape cerámica sobre 10mm de mortero: 0,14kN/m²
Ventanas, vidrio, entramado y marco: 0,45kN/m²

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales horizontales:

Pañete de losa (1,2cm): 0,25kN/m²
Cielo raso en tablero de yeso (15mm): 0,12 kN/m²
Entramado metálico suspendido afinado en yeso: 0,5 kN/m²
Relleno de piso: 0,15 kN/m²
Piso cerámico sobre 12mm de mortero: 0,8 kN/m²
Cubierta metálica cal20: 0,08 kN/m²

Total de cargas muertas elementos no estructurales: 3,62 kN/m².

6.5.4 Bloque PET 100% extruido

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales verticales:

Muro bloque pet: 1,9 kN/m²
Enchape cerámica sobre 10mm de mortero: 0,14kN/m²
Ventanas, vidrio, entramado y marco: 0,45kN/m²

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales horizontales:

Pañete de losa (1,2cm): 0,25kN/m²
Cielo raso en tablero de yeso (15mm): 0,12 kN/m²
Entramado metálico suspendido afinado en yeso: 0,5 kN/m²
Relleno de piso: 0,15 kN/m²
Piso cerámico sobre 12mm de mortero: 0,8 kN/m²
Cubierta metálica cal20: 0,08 kN/m²

Total de cargas muertas elementos no estructurales: 4,39 kN/m².

6.5.5 Panel de PET 100% extruido

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales verticales:

Muro panel de yeso (15mm): 1,1 kN/m²
Enchape cerámica sobre 10mm de mortero: 0,14kN/m²
Ventanas, vidrio, entramado y marco: 0,45kN/m²

- Cargas muertas mínimas para elementos no estructurales horizontales:

Pañete de losa (1,2cm): 0,25kN/m²
Cielo raso en tablero de yeso (15mm): 0,12 kN/m²
Entramado metálico suspendido afinado en yeso: 0,5 kN/m²
Relleno de piso: 0,15 kN/m²
Piso cerámico sobre 12mm de mortero: 0,8 kN/m²
Cubierta metálica cal20: 0,08 kN/m²

Total de cargas muertas elementos no estructurales: 3,59 kN/m².

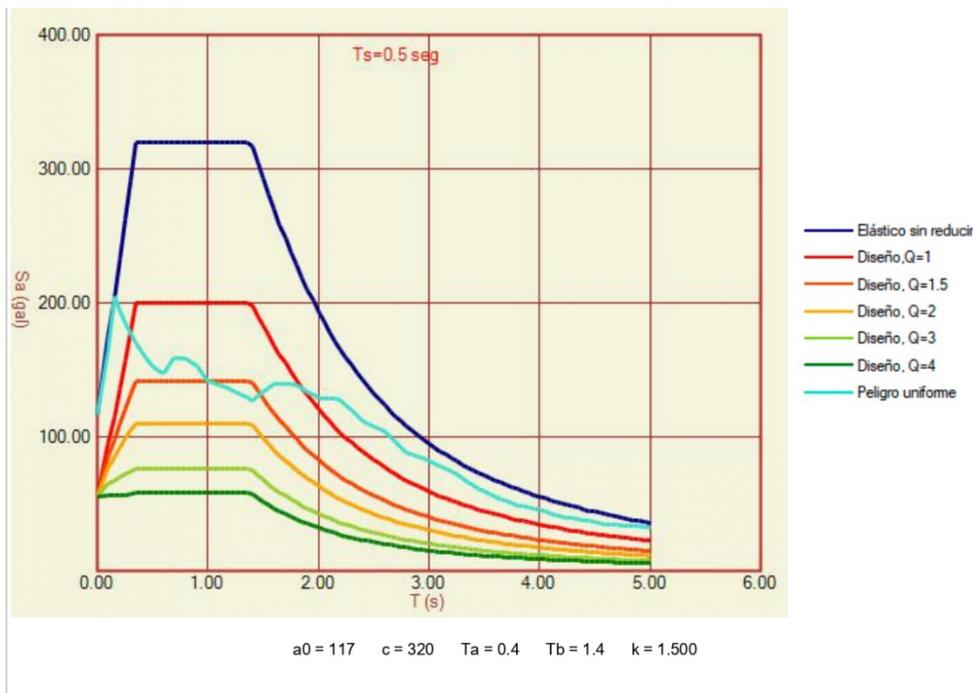
6.6 Modelado estructural con software CypeCAD de las cargas evaluadas

6.6.1 Factores para diseño por sismo

Figura 23- Cargas muertas de elementos no estructurales horizontales



Nota: Tomado de (NTCDS-CDMX, s. f.)

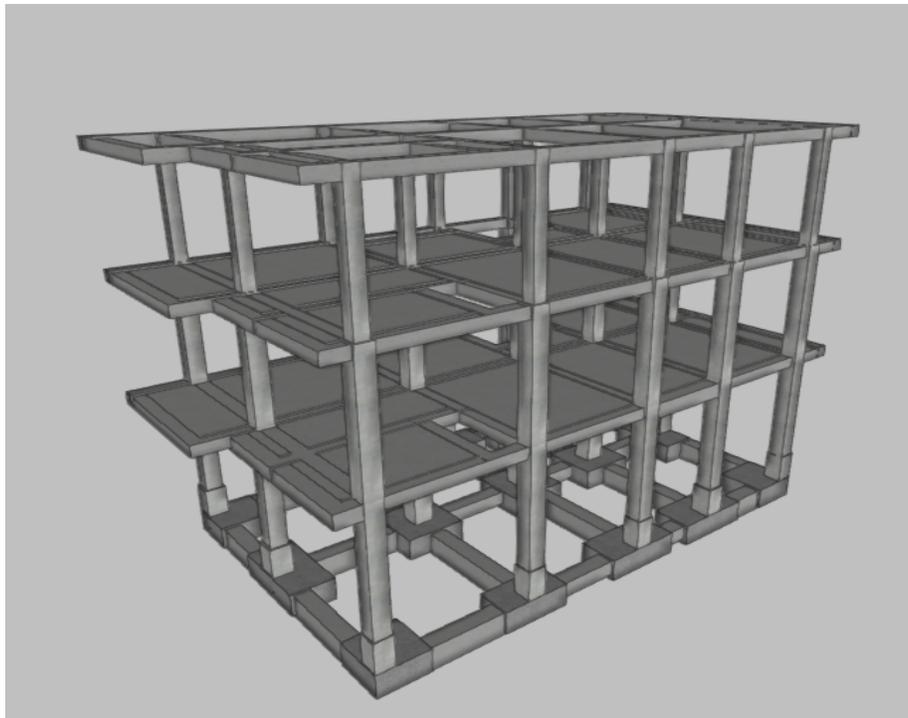


Folio: NTCDS-CDMX-2023-26-15959, página 1 de 6

Nota: Tomado de (NTCDS-CDMX, s. f.)

6.6.2 Resultados de modelado en CypeCAD con mampostería bloque concreto

Figura 24- Modelo de estructura en concreto



Nota: Modelado de autor en CypeCAD

Figura 25- Cantidades de obra estructura con cargas de bloque de concreto macizo



Cuantías de obra

Proyecto de Edificación

piso 1

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	77.31	9.280	2108
Vigas	43.88	30.31	10.330	1769
Pilares	69.04	-	6.910	1585
Total	-	107.62	26.520	5462
Índices (por m²)	-	-	0.241	49.65
Superficie total: 110.02 m²				

piso 2

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	78.08	9.370	2055
Vigas	42.16	29.42	9.720	1470
Pilares	69.60	-	6.960	1281
Total	-	107.50	26.050	4806
Índices (por m²)	-	-	0.237	43.73
Superficie total: 109.90 m²				

Piso 3

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Vigas	58.00	29.44	9.500	973
Pilares	50.40	-	3.780	675
Total	-	29.44	13.280	1648
Índices (por m²)	-	-	0.431	53.52
Superficie total: 30.79 m²				

Nota: cantidades de obra en CypeCAD

6.6.3 Resultados de modelado en CypeCAD con bloque de barro hueco

Figura 26- Cantidades de obra estructura con cargas de tacimbra



Tesis

Cuantías de obra

Fecha: 25/07/23

Piso 1

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	77.77	9.330	2147
Vigas	44.41	29.98	10.050	1626
Pilares	60.98	-	5.410	1283
Total	-	107.75	24.790	5056
Índices (por m²)	-	-	0.226	46.12
Superficie total: 109.62 m²				

Piso 2

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	79.12	9.490	2082
Vigas	42.80	28.13	9.190	1401
Pilares	60.90	-	5.330	1049
Total	-	107.25	24.010	4532
Índices (por m²)	-	-	0.220	41.54
Superficie total: 109.09 m²				

Piso 3

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Vigas	57.98	28.27	9.120	966
Pilares	50.40	-	3.780	675
Total	-	28.27	12.900	1641
Índices (por m²)	-	-	0.436	55.40
Superficie total: 29.62 m²				

Nota: cantidades de obra en CypeCAD

6.6.4 Resultados de modelado en CypeCAD con panel de yeso

Figura 27- Cantidades de obra estructura con cargas de muro en panel de yeso



Cuantías de obra

Fecha: 25/07/23

PISO 1

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	82.09	9.850	2305
Vigas	43.52	25.25	8.110	1521
Pilares	52.20	-	3.910	1140
Total	-	107.34	21.870	4966
Índices (por m²)	-	-	0.201	45.69
Superficie total: 108.69 m²				

PISO 2

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	79.63	9.560	1990
Vigas	43.38	27.97	9.010	1317
Pilares	52.20	-	3.910	885
Total	-	107.60	22.480	4192
Índices (por m²)	-	-	0.206	38.48
Superficie total: 108.95 m²				

Piso 3

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Vigas	48.82	19.73	5.340	961
Pilares	51.30	-	3.850	667
Total	-	19.73	9.190	1628
Índices (por m²)	-	-	0.436	77.23
Superficie total: 21.08 m²				

Nota: cantidades de obra en CypeCAD

6.6.5 Resultados de modelado en CypeCAD con bloque PET 100% extruido

Figura 28- Cantidades de obra estructura con cargas de bloque PET



Cuántías de obra

Fecha: 25/07/23

Tesis

Piso 1

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	85.04	10.200	2715
Vigas	34.06	21.36	5.800	1499
Pilares	52.98	-	3.980	871
Total	-	106.40	19.980	5085
Índices (por m²)	-	-	0.185	47.19
Superficie total: 107.75 m²				

Piso 2

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	85.71	10.290	2440
Vigas	33.75	20.64	5.560	1309
Pilares	53.10	-	3.990	842
Total	-	106.35	19.840	4591
Índices (por m²)	-	-	0.184	42.63
Superficie total: 107.70 m²				

Piso 3

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Vigas	39.05	19.73	4.270	984
Pilares	52.20	-	3.920	667
Total	-	19.73	8.190	1651
Índices (por m²)	-	-	0.389	78.32
Superficie total: 21.08 m²				

Nota: cantidades de obra en CypeCAD

6.6.6 Resultados de modelado en CypeCAD con panel de PET 100% extruido

Figura 29- Cantidades de obra estructura con cargas del panel de pet



Cuantías de obra

Fecha: 25/07/23

Piso 1

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	85.04	10.200	2581
Vigas	34.06	21.36	5.800	1430
Pilares	52.98	-	3.980	830
Total	-	106.40	19.980	4841
Índices (por m²)	-	-	0.185	44.93
Superficie total: 107.75 m²				

Piso 2

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Losas macizas	-	85.71	10.290	2408
Vigas	33.75	20.64	5.560	1254
Pilares	53.10	-	3.990	760
Total	-	106.35	19.840	4422
Índices (por m²)	-	-	0.184	41.06
Superficie total: 107.70 m²				

Piso 3

Elemento	Encofrado (m ²)	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Barras (kg)
Vigas	39.05	19.73	4.270	984
Pilares	52.20	-	3.920	667
Total	-	19.73	8.190	1651
Índices (por m²)	-	-	0.389	78.32
Superficie total: 21.08 m²				

Nota: cantidades de obra en CypeCAD

6.7 Análisis de precios unitario de actividades de estructura, muros y acabados

6.7.1 Precios unitarios con el generador de precios de Cypecad.

Figura 30- APU concreto de losa

ENH030 m ³ Concreto para armar. \$ 1.661,60					
Concreto f _c =25 MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de losa plana.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt10haf061cc	m ²	Concreto f _c =25 MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento nominal del concreto fresco de 5 a 10 mm, premezclado, según RCDF NTC Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (2004).	1,050	1.415,84	1.486,63
Subtotal materiales:					1.486,63
2 Mano de obra					
mo045	h	Oficial concretero.	0,342	119,41	40,84
mo092	h	Ayudante concretero.	1,397	72,69	101,55
Subtotal mano de obra:					142,39
3 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	1.629,02	32,58
Coste de mantenimiento decenal: \$ 49,85 en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		1.661,60

Nota. Tomado del del generador de precios de Cypecad

Figura 31- APU concreto columnas

Concreto f _c =25 MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de columna.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt10haf061cc	m ²	Concreto f _c =25 MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento nominal del concreto fresco de 5 a 10 mm, premezclado, según RCDF NTC Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (2004).	1,050	1.415,84	1.486,63
Subtotal materiales:					1.486,63
2 Mano de obra					
mo045	h	Oficial concretero.	0,559	119,41	66,75
mo092	h	Ayudante concretero.	2,251	72,69	163,63
Subtotal mano de obra:					230,38
3 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	1.717,01	34,34
Coste de mantenimiento decenal: \$ 52,54 en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3):		1.751,35

Nota. Tomado del del generador de precios de Cypecad

Figura 32- APU concreto vigas

Concreto $f_c=20$ MPa (200 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 20 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de viga.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt10haf061bi	m ³	Concreto $f_c=20$ MPa (200 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 20 mm, revenimiento nominal del concreto fresco de 5 a 10 mm, premezclado, según RCDF NTC Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (2004).	1,050	1.285,21	1.349,47
Subtotal materiales:					1.349,47
2 Mano de obra					
mo045	h	Oficial concretero.	0,528	119,41	63,05
mo092	h	Ayudante concretero.	2,127	72,69	154,61
Subtotal mano de obra:					217,66
3 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	1.567,13	31,34
Coste de mantenimiento decenal: \$ 47,95 en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3): 1.598,47		

Nota. Tomado del generador de precios de Cypecad.

Figura 33- APU acero losa

Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y dobléz) en planta industrial y armado del acero en losa plana. Incluso alambre de atar y separadores.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt07sep010aj	Ud	Separador homologado de plástico, para armados de losas planas de varios diámetros.	0,140	1,43	0,20
mt07aco080a	kg	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² , de varios diámetros, según NMX-C-407-ONNCCE.	1,000	12,84	12,84
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,012	22,73	0,27
Subtotal materiales:					13,31
2 Mano de obra					
mo043	h	Oficial fierro.	0,019	119,41	2,27
mo090	h	Ayudante fierro.	0,016	72,69	1,16
Subtotal mano de obra:					3,43
3 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	16,74	0,33
Coste de mantenimiento decenal: \$ 0,34 en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3): 17,07		

Nota. Tomado del generador de precios de Cypecad.

Figura 34- APU acero columnas

Acero fy=4200 kg/cm ² para habilitado del acero (corte y dobléz) en planta industrial y armado del acero en columna. Incluso alambre de atar y separadores.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt07sep010ac	Ud	Separador homologado de plástico, para armados de columnas de varios diámetros.	0,100	1,29	0,13
mt07aco080a	kg	Acero fy=4200 kg/cm ² , de varios diámetros, según NMX-C-407-ONNCCE.	1,000	12,84	12,84
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,005	22,73	0,11
Subtotal materiales:					13,08
2 Mano de obra					
mo043	h	Oficial herrero.	0,011	119,41	1,31
mo090	h	Ayudante herrero.	0,011	72,69	0,80
Subtotal mano de obra:					2,11
3 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	15,19	0,30
Coste de mantenimiento decenal: \$ 0,31 en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3): 15,49		

Nota. Tomado del generador de precios de Cypecad.

Figura 35- APU acero vigas

Acero fy=4200 kg/cm ² para habilitado del acero (corte y dobléz) en planta industrial y armado del acero en viga. Incluso alambre de atar y separadores.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt07sep010ad	Ud	Separador homologado de plástico, para armados de vigas de varios diámetros.	0,130	1,43	0,19
mt07aco080a	kg	Acero fy=4200 kg/cm ² , de varios diámetros, según NMX-C-407-ONNCCE.	1,000	12,84	12,84
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,009	22,73	0,20
Subtotal materiales:					13,23
2 Mano de obra					
mo043	h	Oficial herrero.	0,016	119,41	1,91
mo090	h	Ayudante herrero.	0,016	72,69	1,16
Subtotal mano de obra:					3,07
3 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	16,30	0,33
Coste de mantenimiento decenal: \$ 0,33 en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3): 16,63		

Nota. Tomado del generador de precios de Cypecad.

Figura 36- APU revoques con mortero

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<p>Capa de mortero de cemento, resistencia a compresión mayor o igual a 6 N/mm², absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m² min^{1/2}, color gris, de 10 mm de espesor, maestreado, con acabado flotado, aplicado manualmente, sobre paramento interior de mampostería de tabique o bloque de concreto, vertical, de hasta 3 m de altura. Incluso junquillos de PVC, para formación de juntas. El precio incluye la protección de los elementos del entorno que puedan verse afectados durante los trabajos y la resolución de puntos singulares.</p>					
1 Materiales					
mt08aaa010a	m ²	Agua.	0,005	22,60	0,11
mt28mop200c	kg	Mortero de cemento, resistencia a compresión mayor o igual a 6 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , para uso en interiores, color gris, compuesto por cemento de alta resistencia, agregados seleccionados y otros aditivos, suministrado en sacos.	12,500	1,99	24,88
mt28mon030	m	Junquillo de PVC.	0,750	6,20	4,65
Subtotal materiales:					29,64
2 Mano de obra					
mo039	h	Oficial revocador.	0,720	114,80	82,66
mo111	h	Peón revocador.	0,421	69,46	29,24
Subtotal mano de obra:					111,90
3 Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	141,54	2,83
Coste de mantenimiento decenal: \$ 3,90 en los primeros 10 años.			Costes directos (1+2+3): 144,37		

Nota. Tomado del generador de precios de Cypecad

Figura 37- APU estuco

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Costo	Importe
<p>Estucado de pasta de cal y arena de mármol blanco.</p>					
1 Materiales					
mt09mor050c	m ²	Mortero de cal aérea o apagada (1:3), confeccionado en obra.	0,010	1.847,22	18,47
mt09mor050d	m ²	Mortero de cal aérea o apagada (1:4), confeccionado en obra.	0,015	1.803,34	27,05
Subtotal materiales:					45,52
2 Mano de obra					
mo034	h	Oficial estucador.	0,960	114,80	110,21
mo072	h	Ayudante estucador.	0,960	69,91	67,11
Subtotal mano de obra:					177,32
3 Herramienta menor					
	%	Herramienta menor	2,000	222,84	4,46
Costo de mantenimiento decenal: \$ 106,83 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3): 227,30		

Nota. Tomado del generador de precios de Cypecad

Figura 38- APU pintura interior

<p>Aplicación manual de dos manos de pintura a la cal, color blanco, la primera mano diluida con un 30 a 40% de agua y la siguiente diluida con un 30% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,29 l/m² cada mano); previa aplicación de una mano de imprimación granulosa translúcida, sobre paramento interior de mortero de cal o mortero bastardo de cal, vertical, de hasta 3 m de altura. El precio incluye la protección de los elementos del entorno que puedan verse afectados durante los trabajos y la resolución de puntos singulares.</p>					
Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Costo	Importe
1 Materiales					
mt27pci010a	l	Imprimación granulosa, translúcida, para mejorar la adherencia de pinturas o revestimientos a la cal sobre superficies difíciles.	0,175	126,93	22,21
mt27pir200c	l	Pintura a la cal ecológica para interior, a base de cal grasa completamente extinta y reposada, tierras colorantes, carbonato cálcico micronizado y aditivos especiales, color blanco, acabado mate, textura lisa, antimoho y antiverdín, muy permeable al vapor de agua, resistente a la contaminación urbana, a los rayos UV y a los gases de la combustión; para aplicar con brocha, rodillo o pistola.	0,580	321,54	186,49
				Subtotal materiales:	208,70
2 Mano de obra					
mo038	h	Oficial pintor.	0,192	114,80	22,04
mo076	h	Ayudante pintor.	0,192	69,91	13,42
				Subtotal mano de obra:	35,46
3 Herramienta menor					
	%	Herramienta menor	2,000	244,16	4,88
Costo de mantenimiento decenal: \$ 527,96 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		249,04

Nota. Tomado del generador de precios de Cypecad

El análisis de precios unitarios de los muros divisorios se realizó en el capítulo IV (impacto económico), por tal razón, se omite adjuntar nuevamente las tablas correspondientes a cada material evaluado y se procede con los resultados de las actividades presupuestadas anteriormente.

6.7.2 Resultado de presupuestos obra en estudio

Tabla 25- Presupuesto de actividades para muro en bloque de concreto macizo

PROYECTO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR 3 PISOS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
1	CONCRETOS ESTRUCTURA				
1.1	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de losa maciza	m ³	18.65	\$ 1,661.60	\$ 30,989.00
1.2	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de columna.	m ³	17.65	\$ 1,751.35	\$ 30,911.00
1.3	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de viga.	m ³	29.55	\$ 1,598.47	\$ 47,235.00
2	ACERO/MALLAS/ESTRUCTURA METÁLICA				
2.1	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y doblez) en planta industrial y armado del acero en losa plana. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	4,163.00	\$ 17.07	\$ 71,062.00
2.2	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y doblez) en planta industrial y armado del acero en columna. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	3,541.00	\$ 15.49	\$ 54,850.00
2.3	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y doblez) en planta industrial y armado del acero en viga. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	4,212.00	\$ 16.63	\$ 70,046.00
3	MAMPOSTERIA				
3.1	Muro doble de fachada, de 10 cm de espesor, de mampostería de bloque macizo de concreto ligero, repellable, 10x20x40 cm, con juntas de 10 mm de espesor, con juntas de 10 mm de espesor, asentada con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m ² de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos. Formación de los dinteles mediante piezas en "U" con armado y macizado de	m ²	288.46	\$ 330.88	\$ 95,446.00
4	REVOQUES/PINTURA (INTERIOR)				
4.1	Capa de mortero de cemento, resistencia a compresión mayor o igual a 6 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , color gris, de 3 mm de espesor, maestreado, con acabado flotado, aplicado manualmente, sobre paramento interior de mampostería cerámica, vertical, de hasta 3 m de altura. Incluso junquillos de PVC, para formación de juntas. El precio incluye la protección de los elementos del entorno que puedan verse afectados durante los trabajos y la resolución de puntos singulares.	m ²	576.93	\$ 144.37	\$ 83,291.00
4.2	Estucado de pasta de cal y arena de mármol blanco.	m ²	576.93	\$ 227.30	\$ 131,135.00
5	PINTURA INTERIOR - INTERIOR				
5.1	Aplicación manual de dos manos de pintura a la cal, color blanco, la primera mano diluida con un 30 a 40% de agua y la siguiente diluida con un 30% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,29 l/m ² cada mano); previa aplicación de una mano de imprimación granulosa translúcida, sobre paramento interior de mortero de cal o mortero bastardo de cal, vertical, de hasta 3 m de altura. El precio incluye la protección de los elementos del entorno que puedan verse afectados durante los trabajos y la resolución de puntos singulares.	m ²	576.93	\$ 249.04	\$ 143,678.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$758,643.00

Nota. Fuente propio autor

Tabla 26- Presupuesto de actividades para muro en bloque de barro hueco

PROYECTO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR 3 PISOS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
1	CONCRETOS ESTRUCTURA				
1.1	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de losa maciza	m3	18.82	\$ 1,661.60	\$ 31,271.00
1.2	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de columna.	m3	14.52	\$ 1,751.35	\$ 25,430.00
1.3	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de viga.	m3	28.36	\$ 1,598.47	\$ 45,333.00
2	ACERO/MALLAS/ESTRUCTURA METÁLICA				
2.1	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y doblez) en planta industrial y armado del acero en losa plana. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	4,229.00	\$ 17.07	\$ 72,189.00
2.2	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y doblez) en planta industrial y armado del acero en columna. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	3,007.00	\$ 15.49	\$ 46,578.00
2.3	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y doblez) en planta industrial y armado del acero en viga. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	3,993.00	\$ 16.63	\$ 66,404.00
3	MAMPOSTERIA				
3.1	Muro doble cara, de 10 cm de espesor, de mampostería de tabique de barro con huecos verticales, repellable, Tabicimbra "NOVACERAMIC", 10x12x24 cm, con juntas de 10 mm de espesor, asentada con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m ² de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos. Formación de los dinteles mediante piezas en "U" con armado y macizado de concreto.	m2	288.46	\$ 466.74	\$ 134,636.00
4	REVOQUES/PINTURA (INTERIOR)				
4.1	Capa de mortero de cemento, resistencia a compresión mayor o igual a 6 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , color gris, de 3 mm de espesor, maestreado, con acabado flotado, aplicado manualmente, sobre paramento interior de mampostería cerámica, vertical, de hasta 3 m de altura. Incluso junquillos de PVC, para formación de juntas. El precio incluye la protección de los elementos del entorno que puedan verse afectados durante los trabajos y la resolución de puntos singulares.	m2	576.93	\$ 144.37	\$ 83,291.00
4.2	Estucado de pasta de cal y arena de mármol blanco.	m2	576.93	\$ 227.30	\$ 131,135.00
5	PINTURA INTERIOR - INTERIOR				
5.1	Aplicación manual de dos manos de pintura a la cal, color blanco, la primera mano diluida con un 30 a 40% de agua y la siguiente diluida con un 30% de agua o sin diluir, (rendimiento: 0,29 l/m ² cada mano); previa aplicación de una mano de imprimación granulosa translúcida, sobre paramento interior de mortero de cal o mortero bastardo de cal, vertical, de hasta 3 m de altura. El precio incluye la protección de los elementos del entorno que puedan verse afectados durante los trabajos y la resolución de puntos singulares.	m2	576.93	\$ 249.04	\$ 143,678.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$779,945.00

Nota. Fuente propio autor

Tabla 27- Presupuesto de actividades para muro en bloque de panel de yeso

PROYECTO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR 3 PISOS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
1	CONCRETOS ESTRUCTURA				
1,1	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de losa maciza	m3	19,41	\$ 1.661,60	\$ 32.252,00
1,2	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de columna.	m3	11,67	\$ 1.751,35	\$ 20.438,00
1,3	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de viga.	m3	22,46	\$ 1.598,47	\$ 35.902,00
2	ACERO/MALLAS/ESTRUCTURA METÁLICA				
2,1	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y dobléz) en planta industrial y armado del acero en losa plana. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	4.295,00	\$ 17,07	\$ 73.316,00
2,2	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y dobléz) en planta industrial y armado del acero en columna. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	2.692,00	\$ 15,49	\$ 41.699,00
2,3	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y dobléz) en planta industrial y armado del acero en viga. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	3.799,00	\$ 16,63	\$ 63.177,00
3	MAMPOSTERIA				
3,1	Muro divisorio sencillo (15+48+15)/400 (48) (con una placa tipo normal en cada cara, de 15 mm de espesor cada placa), de 78 mm de espesor total, con nivel de calidad del acabado estándar (Q2), formado por una estructura simple de perfiles de lámina de acero galvanizado de 48 mm de anchura, a base de postes (elementos verticales) separados 400 mm entre sí, con disposición normal "N" y canales (elementos horizontales), a la que se atornillan dos placas en total (una placa tipo normal en cada cara, de 15 mm de espesor cada placa). Incluso banda acústica de dilatación autoadhesiva; fijaciones para el anclaje de canales y postes metálicos; tomillería para la fijación de las placas; cinta de papel con refuerzo metálico y pasta y cinta para el tratamiento de juntas. El precio incluye la resolución de encuentros y puntos singulares, pero no incluye el aislamiento a colocar entre los postes.	m2	288,46	\$ 497,18	\$ 143.417,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$410.201,00

Nota. Fuente propio autor

Tabla 28- Presupuesto de actividades para muro en bloque 100% PET extruido

PROYECTO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR 3 PISOS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
1	CONCRETOS ESTRUCTURA				
1.1	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de losa maciza	m3	20.49	\$ 1,661.60	\$ 34,046.00
1.2	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de columna.	m3	11.89	\$ 1,751.35	\$ 20,824.00
1.3	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de viga.	m3	15.63	\$ 1,598.47	\$ 24,984.00
2	ACERO/MALLAS/ESTRUCTURA METÁLICA				
2.1	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y doblez) en planta industrial y armado del acero en losa plana. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	5,115.00	\$ 17.07	\$ 87,313.00
2.2	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y doblez) en planta industrial y armado del acero en columna. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	2,380.00	\$ 15.49	\$ 36,866.00
2.3	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y doblez) en planta industrial y armado del acero en viga. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	3,792.00	\$ 16.63	\$ 63,061.00
3	MAMPOSTERIA				
3.1	Capa de muro divisorio interior, de 7cm de espesor, de mampostería de bloque macizo 100% pet (tipo lego) 7x10x53 cm. Formación de los dinteles mediante piezas de plástico.	m2	288.46	\$ 689.06	\$ 198,766.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$465,860.00

Nota. Fuente propio autor

Tabla 29- Presupuesto de actividades para muro en panel 100% PET extruido

PROYECTO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR 3 PISOS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
1	CONCRETOS ESTRUCTURA				
1,1	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de losa maciza	m3	20,49	\$ 1.661,60	\$ 34.046,00
1,2	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de columna.	m3	11,89	\$ 1.751,35	\$ 20.824,00
1,3	Concreto $f_c=25$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 12 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, para formación de viga.	m3	15,63	\$ 1.598,47	\$ 24.984,00
2	ACERO/MALLAS/ESTRUCTURA METÁLICA				
2,1	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y dobléz) en planta industrial y armado del acero en losa plana. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	4.989,00	\$ 17,07	\$ 85.162,00
2,2	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y dobléz) en planta industrial y armado del acero en columna. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	2.227,00	\$ 15,49	\$ 34.496,00
2,3	Acero $f_y=4200$ kg/cm ² para habilitado del acero (corte y dobléz) en planta industrial y armado del acero en viga. Incluso alambre de atar y separadores.	kg	3.668,00	\$ 16,63	\$ 60.999,00
3	MAMPOSTERIA				
3,1	Muro divisorio sencillo (con una placa tipo normal en cada cara, de 5 mm de espesor cada placa), de 60 mm de espesor total, formado por una estructura simple como cajón con malla pet a su interior, Incluso banda acústica de dilatación autoadhesiva; fijaciones para el anclaje de canales; tomillería para la fijación de las placas; y cinta para el tratamiento de juntas.	m2	288,46	\$ 307,54	\$ 88.713,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$349.224,00

Nota. Fuente propio autor

Gráfico 19- Comparación de costos de estructura y acabados vivienda unifamiliar



Nota. Fuente propio autor

Al variar las cargas para el modelado de la estructura con los diferentes tipos de muros, se obtienen elementos estructurales con menor cantidad de acero o con menores dimensiones, que al final, se ve reflejado en el presupuesto.

De los resultados anteriores se puede observar que el material más económico para construir la vivienda unifamiliar de 3 pisos (solo estructura y muros acabados) es el muro con panel 100% pet extruido con un valor de \$349.224,00MXN un 25% más económico que usar panel de yeso; por esa misma línea se encuentra el bloque 100% pet el cuál cuesta 39% menos que un bloque en concreto macizo ligero, un ahorro de \$292.783MXN en las actividades de obra. Una ventaja del uso de dichos productos PET es que elimina el costo por acabados del presupuesto debido a que la superficie presenta un buen acabado a la vista. Por último, pero no menos importante es que usar dichos materiales abre las puertas para apostar por obtener certificaciones ambientales como las mencionadas en capítulos anteriores (Edge, Leed, Casa Colombia) o cumplir con la NMX-AA-164-SCF1-2013.

6.7.3 Cantidad de pet reciclado para uso en obra en estudio

Tabla 30- Kg totales reciclados para muros de la vivienda unifamiliar

<i>Materiales/Cantidades</i>	<i>Kg/m2</i>	<i>M2</i>	<i>Kg totales</i>
<i>Bloque Concreto macizo</i>	<i>0</i>	<i>288</i>	<i>0</i>
<i>Bloque barro hueco</i>	<i>0</i>	<i>288</i>	<i>0</i>
<i>Panel de yeso</i>	<i>0</i>	<i>288</i>	<i>0</i>
<i>Bloque 100% PET</i>	<i>96,6</i>	<i>288</i>	<i>27.865</i>
<i>Panel 100% PET</i>	<i>10,6</i>	<i>288</i>	<i>3.046</i>

Nota. Fuente propio autor

La cantidad de pet que se recicla para uso en la construcción de la vivienda unifamiliar de 3 contribuye con algunos de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 como son: Objetivo 9 que se refiere “Industria, innovación e infraestructura” aporta en cierta medida con la promoción e introducción de nuevas tecnologías y uso eficiente de los recursos.

Objetivo 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” debido a la sobrepoblación las áreas metropolitanas presentan un incremento económico, pero a su vez, producir materiales convencionales de construcción genera más emisiones de gases y mayor uso de los recursos naturales, usar pet ayuda a mitigar la emisión de gases y explotación de recursos naturales.

Objetivo 12 “Consumo y producción sostenible” como establece el objetivo, se trata de hacer más con menos y desligar la economía con la explotación y destrucción del medio ambiente.

Objetivo 13 “Acción por el clima” pues al crecer la economía y por ende las industrias, los efectos invernaderos, ha afectado y cambiado la forma de vivir de muchos con las altas temperaturas que se han presentado a nivel mundial.

Objetivo 14 “Vida submarina” los altos niveles de contaminación del mar por diferentes residuos en este caso por altos residuos de plástico, está acabando con la vida de las especies marinas, por tal motivo se resalta la importancia aportar retirando miles de kg de pet de los océanos.

7. Conclusiones

El principal objetivo de esta tesis fue evaluar la viabilidad de utilizar residuos PET en materiales para el diseño y construcción de muros divisorios con el fin promover dichas soluciones en el sector de la construcción. De acuerdo con el análisis de la literatura, se pudo concluir que el aumento desproporcionado de los residuos PET, ha puesto a todos los sectores a pensar en integrarse a la economía circular, creando así un modelo de producción y consumo más sostenible. Sustituir materiales convencionales en la fabricación de muros divisorios, por elementos fabricados de PET reciclado como los evaluados, disminuye los costos en un proyecto de construcción. En el caso de usar bloque 100% PET para los muros divisorios del proyecto evaluado; el costo por el suministro e instalación de losas, columnas, vigas y muros con sus acabados fue de \$3.101MXN por m² de terreno, es decir \$1.949MXN más económico que realizar las mismas actividades con bloque de concreto macizo el cual cuesta \$5.049MXN y \$5.191MXN con bloque de barro hueco; esto se debe a la disminución de dimensiones y kg de acero de la estructura por usar un material menos pesado y a los acabados que se hacen necesarios cuando se construye con bloques convencionales.

Construir los muros con paneles de yeso es \$406MXN/m² más caro que usar paneles de PET. No se recomienda el bloque 20% PET pues, aunque contribuye con el medio ambiente, su desarrollo funcional y económico no logran un buen desempeño de sostenibilidad.

El bloque 100% PET es el que presentó mayor sostenibilidad por ser un material 100% reutilizable lo cual permite que entre a la economía circular; no requiere mantenimiento, se reciclan 96,6kg de pet por metro cuadrado de muro y a su vez disminuye la contaminación en mares. Al usar materiales con PET se pueden conseguir puntos en la categoría de materiales y recursos de los diferentes sistemas de certificación ambiental.

8. Referencias

- Adoquines en plástico reciclado – *AlquienVAS Plástico*. (s. f.).
<https://alquienvasplastic.com/catalogo/adoquines-en-plastico-reciclado/>
- Aquae. (2021, septiembre 24). *Mar de plástico: cuánto plástico acumulan - Fundación Aquae*.
<https://www.fundacionaquae.org/mar-de-plastico-el-80-de-la-basura-en-el-mar-es-plastico/#:~:text=Anualmente%2C%20hasta%2012%2C7%20millones,abriendo%20paso%20a%20nuestros%20oc%C3%A9anos>
- Bioconstrucción. (2020). Certificación EDGE. *Bioconstrucción y Energía Alternativa*.
<https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-edge/>
- Calderón, C. (2022, August 3). Reciclaje en México: Solo 6% del plástico que se produce en el país se reutiliza. *El Financiero*.
<https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2022/08/02/reciclaje-en-mexico-solo-6-del-plastico-que-se-produce-en-el-pais-se-reutiliza/>
- CASA Colombia. (2022, 31 agosto). *Sistema de Certificación de Construcción Sostenible - CASA Colombia*.
<https://casa.cccs.org.co/>
- Castells, X. E., & de Gracia, L. J. (2012). *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración: Reciclaje de residuos industriales*. Ediciones Díaz de Santos. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2926460>
- Choi, Y., Moon, D., Chung, J., & Cho, S. Y. (2005). Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 776-781.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.014>
- CMIC (2018) *Plan de manejo de residuos de la Construcción y La Demolición, Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción*.
<https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>
- Correia, A. R. D. (2021). *Avaliação do potencial de utilização de fibras de PET em materiais e soluções construtivas na indústria AEC (Doctoral dissertation) Biblioteca da Universidade do Minho*.
<https://hdl.handle.net/1822/76891>
- Costa, E. C., & De Moraes, C. S. B. (2014). Construção Civil e a certificação ambiental: análise comparativa das certificações LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e AQUA (Alta Qualidade Ambiental). *Engenharia Ambiental*. 10(3), 160-169
<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=1020>
- Da Silva, V. G. (2003). *Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade*. <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3491>

- De Medio Ambiente Y Recursos Naturales, S. (1997). México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
<http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/116?show=full>
- De México, R. (2022). LADRILLOS DE PLASTICO RECICLADO EN MEXICO. *RTE*.
<https://rte.mx/ladrillos-de-plastico-reciclado-en-mexico>
- De Osés Francesc Xavier, M. (2022, 1 noviembre). *Estudio de la contaminación de la mar por plásticos. Tipos, afectación y medidas paliativas. Propuesta de protocolos de control*.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/378151>
- De Estadística Y Geografía, I. N. (s. f.). *Productividad total de los factores*.
<https://www.inegi.org.mx/temas/ptf/>
- Delgado, G. (2014, 13 mayo). ¿Qué es el reciclaje de plástico? *prezi.com*.
<http://prezi.com/wop7sninussw/que-es-el-reciclaje-de-plastico/>
- EcoInventos, R. (2023, 31 enero). Productos reciclados para la construcción. *EcoInventos*.
<https://ecoinventos.com/productos-reciclados-para-la-construccion/>
- Economía circular: definición, importancia y beneficios | Noticias | Parlamento Europeo*. (s. f.).
<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Efe. (2021, 25 octubre). Greenpeace señala a multinacionales que más contaminan con plásticos. *El Tiempo*.
<https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/greenpeace-dice-que-coca-cola-es-el-mayor-contaminante-de-plasticos-627565>
- El Economista. (2018, June 5). Medio Ambiente: La ONU advierte de que solo el 9 % del plástico usado en el mundo se recicla. *El Economista*.
<https://www.economista.net/tendencias/Medio-Ambiente-La-ONU-advierte-de-que-solo-el-9--del-plastico-usado-en-el-mundo-se-recicla-20180605-0006.html>
- Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Economía.-Subsecretaría de Competitividad y Normatividad.- Dirección General de Normas. (2013). *Edificación Sustentable – Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos*. (NMX-AA-164-SCFI-2013).
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3156.pdf>
- Ferdous, W., Manalo, A., Siddique, R., Mendis, P., Zhuge, Y., Lokuge, W., Aravinthan, T., & Schubel, P. (2021). Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. *Science Direct*, 173, 105745.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105745>
- Fink, J. K. (2013). *Reactive Polymers Fundamentals and Applications (Second Edition)*: Vol. Chapter 15-Reactive Extrusion (2nd ed.). (2013). William Andrew.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3149-7.00015-2>

- Frías, A., Ize, I., & Gavilán, A. (2003). La situación de los envases de plástico en México. *Gaceta Ecológica*, (69), 67-82.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906905>
- García, G., & Heli, L. (2017). El reciclaje de PET, PEAD, PEBD, PS y PP en estibas plásticas como modelo de negocio. En *instname: Universidad del Rosario*.
<https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/13097>
- García, S. (10 de marzo 2007). Los precios del PET en el mercado internacional, *Manufactura*, [online], Vol. 10, Art. 4.
<https://www.redalyc.org/pdf/730/73020063002.pdf>
- Gómez-Pachón, C. D. (2020). *Análisis económico de la implementación de bloque plásticos reciclados en diferentes proyectos de construcción en la ciudad de Villavicencio*. Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia - RIUCaC.
<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/5ea616e1-c4f2-4124-ae2f-74a9c8c12ea7/full>
- Gonzalez, L. J., Gaggino, R., Kreiker, J., Positieri, M. J., & Peisino, L. (2018). Perfiles de plástico reciclado para aberturas. In *X Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura (CRETA)(La Plata, 2018)*.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/71358>
- Hwang, B., & Ng, W. L. (2013). Project management knowledge and skills for green construction: Overcoming challenges. *International Journal of Project Management*, 31(2), 272-284.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.05.004>
- Industria del plástico - 9788428325691 - *LOKENS GARD*, *RICHARDSON* - *Resumen y compra del libro - paraninfo.co. (s. f.)*.
<https://www.paraninfo.co/catalogo/9788428325691/industria-del-plastico>
- Juárez, N. M., J. M. J. H., & Vera, M. J. (2011). Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de PET reciclado. *e-Gnosis*, 9, 1-12.
<https://www.redalyc.org/pdf/730/73020063002.pdf>
- Kibert, C. J. (2005). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*.
<http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA84930188>
- Laville, S., & Taylor, M. (2021, 29 octubre). A million bottles a minute: world's plastic binge «as dangerous as climate change». *The Guardian*.
<https://www.theguardian.com/environment/2017/jun/28/a-million-a-minute-worlds-plastic-bottle-binge-as-dangerous-as-climate-change>
- Leite, V. F. (2011). *Certificação ambiental na construção civil—Sistemas LEED e AQUA*. Belo Horizonte.
<https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/certificacoes-leed-e-aqua-trabalho-final-graduacao.pdf>
- Li, Q., & Matuana, L. M. (2003). Effectiveness of Maleated and Acrylic Acid-Functionalized Polyolefin Coupling Agents for HDPE-Wood-Flour Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 16(6), 551–564.

<https://doi.org/10.1177/089270503033340>

- Mahecha, C. E. (2013). Paneles de plástico reciclado para muros divisorios en viviendas modulares prefabricadas. *Lima*.
https://www.colmayor.edu.co/wp-content/uploads/2019/10/33_camilo_gmezvivienda_modular.pdf
- Mateus, R., & Bragança, L. (2006). *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*.
<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6887/1/Indice%20%20Tecnologias%20Construtivas%20para%20a%20Sustentabilidade%20da%20Constru%ca7%ca3o.pdf>
- Mariano. (s. f.). *Tecnología de los Plásticos*.
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/>
- Naranjo, D., & Merchán, Y. a. C. (2014). *Estado del arte de la construcción con material reciclable*.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2025/1/Construccion%b3n-con-material-reciclable.pdf>
- NSR10-Colombia. (s. f.). Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (2010).
<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>
- NTCDS-CDMX. (s. f.). <https://sasid.unam.mx/webNormasCDMX/default.aspx>
- Nunez, C. (2022, 9 mayo). Carbon dioxide levels are at a record high. Here's what you need to know. *Environment*.
<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/greenhouse-gases>
- Preciado, M. L. C., Beltrán, L. S., & Díaz, B. B. (2021). Economía circular y su situación en México. *Indiciales*, 1(1), 25-37.
<http://orcid.org/0000-0001-8846-275X>
- Procesos de Moldeo. (2018, 26 noviembre). WordPress.com.
<https://todoenpolimeros.com/procesos-de-moldeo/>
- Redação. (2017, 7 junio). Quercus quer reduzir impacto ambiental no setor da construção. *idealista/news*.
<https://www.idealista.pt/news/imobiliario/construcao/2017/06/06/33621-quercus-quer-reduzir-impacto-ambiental-no-setor-da-construcao>
- Richardson, T. L., Lokensgard, E., & Rincón, A. (2000). Industria del plástico: plástico industrial.
<https://www.paraninfo.co/catalogo/9788428325691/industria-del-plastico>
- Ross, J.A., & et al., (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. (2001). Instituto Nacional de Ecología.
<http://www.ingenierioambiental.com/4014/minimiza6.pdf>

- Samak, N. A., Jia, Y., Sharshar, M. M., Mu, T., Yang, M., Peh, S., & Xing, J. (2020). Recent advances in biocatalysts engineering for polyethylene terephthalate plastic waste green recycling. *Environment International*, *145*, 106144.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106144>
- Sánchez, A. (12 de febrero 2007). La UNAM convierte plásticos PET en escobas, láminas y tuberías, La crónica de hoy, [on line], S/ Vol, Art 1.
<http://www.cronica.com.mx/nota>.
- Siddique, R., Khatib, J., & Kaur, I. (2008). Use of recycled plastic in concrete: A review. *Waste Management*, *28(10)*, 1835-1852.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.011>
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resources Conservation and Recycling*, *55(1)*, 34-52.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.06.014>
- Statista. (2023, 13 marzo). *América Latina: valor del sector de la construcción 2021, por país*.
<https://es.statista.com/estadisticas/1122396/valor-industria-construccion-america-latina-pais/>
- Statista. (2023a, febrero 20). México: PIB anual de la industria de la construcción 2010-2021.
<https://es.statista.com/estadisticas/592633/producto-interno-bruto-anual-de-la-construccion-mexico/>
- Torres, M. A. T. (2005). *Precios unitarios*. Univ. J. Autónoma de Tabasco.
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dOTMVrBUR9gC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Torres,+M.+A.+T.+\(2005\).+Precios+unitarios.+Univ.+J.+Autónoma+de+Tabasco&ots=jsEzISTfs0&sig=EV5xbn3AMe8xGRFKUeTULSfMuAs#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dOTMVrBUR9gC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Torres,+M.+A.+T.+(2005).+Precios+unitarios.+Univ.+J.+Autónoma+de+Tabasco&ots=jsEzISTfs0&sig=EV5xbn3AMe8xGRFKUeTULSfMuAs#v=onepage&q&f=false)
- Treviño, C. U. (2019). Certificación LEED México. Bioconstrucción y Energía Alternativa.
<https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/>
- Virginie, M. (2011). *Los caminos del reciclaje*. Ned ediciones.