

UNIVERSIDAD DE CUENCA/FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

CARRERA DE ARQUITECTURA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON
POLÍMEROS PET

AUTOR:

FERNANDO XAVIER CABRERA FIGUEROA

DIRECTOR:

ARQ. ALEX DANIEL SERRANO TAPIA

CUENCA-ECUADOR

MARZO, 2022



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

**ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON
POLÍMEROS PET**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

AUTOR:

Fernando Xavier Cabrera Figueroa

CI: 0105087902

xavier.cabrera.0812@gmail.com

DIRECTOR:

Arq. Alex Daniel Serrano Tapia

CI: 0103669974

Cuenca-Ecuador

15-marzo-2021



RESUMEN

La contaminación por plásticos en el planeta se ha incrementado en las últimas décadas, siendo así que en la actualidad millones de toneladas de residuos llegan a nuestros océanos, alterando la flora y fauna marina. Asimismo, una gran cantidad de desechos plásticos son arrojados en quebradas, ríos y lagos, alterando gravemente el ecosistema.

Solo en la Ciudad de Cuenca en el año 2019 según los datos de la EMAC EP se recolectaron 123,58 Ton de residuos inorgánicos y de estos el 59,30 % se lo cataloga como al material aprovechable. Del total recolectado el 19,32 % (23,88 ton) corresponde al plástico blando y rígido.

En base a estos antecedentes, se ha planteado la posibilidad de reutilizar ciertos residuos inorgánicos, en este caso polímeros PET, en la fabricación de bloques para mampostería no estructural. Estos sustituirán en un porcentaje a los agregados gruesos. Por lo que se realizaron diferentes ensayos para conocer la materia prima y así dar con la dosificación ideal que sirva para elaborar bloques no estructurales y que cumplan con la normativa ecuatoriana vigente. Los bloques que cumplieron con la resistencia neta mínima a la compresión simple, menor densidad y porcentaje de absorción de agua y costo de fabricación, fueron los que se elaboraron con un contenido de PET al 50 %, por lo que son óptimos para su uso en la construcción. Además, al ser elaborados con elementos livianos, estos bloques cuentan con una gran ventaja y es su densidad. Esto aporta a reducir las cargas muertas de la mampostería a la estructura de la edificación.

Palabras clave: PET. Polímeros. Bloques. Reciclaje. Mampostería no portante.



ABSTRACT

Plastic pollution on the planet has increased in the last decades, so that nowadays millions of tons of waste reach our oceans, altering the marine flora and fauna. Also, a large amount of plastic waste is thrown into streams, rivers and lakes, seriously altering the ecosystem.

In the city of Cuenca alone, according to EMAC EP data, 123.58 tons of inorganic waste were collected in 2019, of which 59.30% is classified as usable material. Of the total collected, 19.32% (23.88 tons) corresponds to soft and rigid plastic.

Based on this background, the possibility of reusing certain inorganic wastes, in this case PET polymers, in the manufacture of blocks for non-structural masonry has been proposed. These will replace a percentage of coarse aggregates. For this reason, different tests were carried out to know the raw material and thus find the ideal dosage to produce non-structural blocks that comply with current Ecuadorian regulations. The blocks that met the minimum net resistance to simple compression, lower density and percentage of water absorption, and manufacturing cost, were those made with a PET content of 50%, making them optimal for use in construction. In addition, since they are made with lightweight elements, these blocks have a great advantage in terms of density. This contributes to reduce the dead loads of the masonry to the structure of the building.

Keywords: PET. Polymers. Blocks. Recycling. Non load-bearing masonry.



ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 5 |
| ABSTRACT | 7 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... | 21 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. | 21 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN. | 23 |
| 1.3 HIPÓTESIS..... | 24 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 24 |
| 1.4.1 Objetivo General | 24 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 24 |
| CAPÍTULO II: MARCOS DE REFERENCIA..... | 27 |
| 2.1 MARCO JURÍDICO..... | 27 |
| 2.1.1 NTE INEN 696. (ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO)..... | 28 |
| 2.1.2 NTE INEN 862 (DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD)..... | 29 |
| 2.1.3 NTE INEN 855 (PRUEBA PARA EFECTO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS DEL AGREGADO FINO). | 30 |
| 2.1.4 NTE INEN 642 (DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA DE LOS BLOQUES DE CONCRETO)..... | 30 |
| 2.1.5 NTE INEN 643 (BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN, REQUISITOS)..... | 31 |
| 2.1.6 NTE INEN 856 (DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO). | 31 |



| | | | | | |
|---|--|----|---|---|----|
| 2.1.7 | NTE INEN 857 (DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO)..... | 33 | 3.1.5 | DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) DEL ÁRIDO FINO..... | 59 |
| 2.1.8 | NTE INEN 858 DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO UNITARIO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS. | 34 | 3.1.6 | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO ... | 61 |
| 2.2 | ESTADO DE ARTE | 36 | 3.1.7 | DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO. | 62 |
| 2.2.1 | DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS POLÍMEROS PET | 36 | 3.1.8 | DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) DEL ÁRIDO GRUESO. | 64 |
| 2.2.2 | TIPOS DE RECICLADO DE PLÁSTICO | 38 | 3.2 | PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BLOQUE DE MORTERO CON POLÍMERO PET. | 65 |
| 2.2.2.1 | PRIMARIO. | 40 | 3.2.1 | DOSIFICACIÓN 1:0.5:1. APLICANDO ARENA COMO AGREGADO FINO Y POLÍMERO AL 100 % COMO AGREGADO GRUESO..... | 65 |
| 2.2.2.3 | TERCIARIO..... | 41 | 3.2.2 | DOSIFICACIÓN 1:1.4:1, 154 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO. APLICANDO POLVO DE PÓMEZ COMO AGREGADO FINO Y POLÍMERO AL 100 % COMO AGREGADO GRUESO. | 69 |
| 2.2.2.4 | CUATERNARIO. | 42 | 3.2.3 | DOSIFICACIÓN 60 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO. APLICANDO POLVO DE PÓMEZ COMO AGREGADO FINO Y POLÍMERO AL 100 % COMO AGREGADO GRUESO..... | 70 |
| 2.2.3 | APLICACIONES DE LOS POLIMEROS PET | 42 | 3.2.4 | DOSIFICACIÓN 30 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO. APLICANDO POLVO DE PÓMEZ COMO AGREGADO FINO Y POLÍMERO AL 100 % COMO AGREGADO GRUESO..... | 71 |
| 2.2.4 | PET COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN | 43 | 3.2.5 | DOSIFICACIÓN 30 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO. APLICANDO POLVO DE PÓMEZ COMO AGREGADO FINO, CHASQUI AL 50% Y POLÍMERO AL 50 % COMO AGREGADO GRUESO. | 72 |
| 2.2.5 | INDICADORES DE RECICLAJE A NIVEL LOCAL..... | 46 | CAPÍTULO IV: ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS | 77 | |
| CAPÍTULO III: BLOQUES DE MORTERO CON POLÍMEROS PET..... | | 51 | 4.1 | ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS BLOQUES..... | 77 |
| 3.1 | ENSAYOS DE LABORATORIO DE MATERIA PRIMA | 51 | | | |
| 3.1.1 | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO. | 52 | | | |
| 3.1.2 | MÉTODO DE ENSAYO PARA LA HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO FINO. | 55 | | | |
| 3.1.3 | MÉTODO DE PRUEBA PARA EL EFECTO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS DEL AGREGADO FINO..... | 56 | | | |
| 3.1.4 | DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO. | 57 | | | |



ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

| | |
|--|-----|
| 4.1.1 ENSAYO DE ABSORCIÓN..... | 77 |
| 4.1.2 ENSAYO DE ESFUERZOS A COMPRESIÓN..... | 81 |
| 4.1.2.1 RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1:1.4:1. RENDIMIENTO 154 BLOQUES POR SACO DE CEMENTO..... | 81 |
| 4.1.2.2 RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1:1.25:1. RENDIMIENTO 60 BLOQUES POR SACO DE CEMENTO..... | 82 |
| 4.1.2.3 RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1:1.25:1. RENDIMIENTO 30 BLOQUES POR SACO DE CEMENTO..... | 83 |
| 4.1.2.4 RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1:0.5:0.5:1. CHASQUI Y PET AL 50 % COMO AGREGADO GRUESO..... | 84 |
| 4.2 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO Y DETERMINACIÓN DE LAS VENTAJAS DE LOS BLOQUES A BASE DE MORTERO Y POLÍMEROS PET..... | 86 |
| 4.2.1 ANÁLISIS DE COSTOS..... | 89 |
| 4.2.2 DETERMINACIÓN DE LAS VENTAJAS DE LOS BLOQUES A BASE DE MORTERO Y POLÍMEROS PET..... | 90 |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 95 |
| 5.1 CONCLUSIONES..... | 95 |
| 5.2 RECOMENDACIONES..... | 97 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 99 |
| ANEXOS..... | 103 |

**ÍNDICE TABLAS**

| | | | |
|---|----|---|----|
| Tabla 2.1.1. 1 Requisitos de gradación para árido fino. | 28 | Tabla 3.2.1. 2 Corrección dosificación 1:05:1. Cilindros 785.4 cm ³ | 66 |
| Tabla 2.1.1. 2 Requisitos de gradación para árido grueso. | 29 | Tabla 3.2.1. 3 Resultados de los ensayos a compresión. | 68 |
| Tabla 2.1.3. 1 Escala de Garder. | 30 | Tabla 3.2.2. 1 Dosificación 1:1:1.4, para bloques de 10 x 20 x 40. | 69 |
| Tabla 2.1.5. 1 Tipos de bloques de hormigón y sus usos. | 31 | Tabla 3.2.2. 2 Corrección dosificación 1:1.25:1, para bloques de 10 x 20 x 40. | 70 |
| Tabla 2.1.5. 2 Requisitos de resistencia a la compresión que deben cumplir los bloques huecos de hormigón. | 31 | Tabla 3.2.3. 1 Dosificación 1:1.25:1, para bloques de 10 x 20 x 40. ... | 70 |
| Tabla 2.1.7. 1 Masa mínima de la muestra de ensayo. | 33 | Tabla 3.2.4. 1 Dosificación 1:1.25:1, para bloques de 10 x 20 x 40. ... | 71 |
| Tabla 2.1.8. 1 Capacidad de los moldes. | 34 | Tabla 3.2.5. 1 Dosificación 0.5:1:0.5:1, para bloques de 10 x 20 x 40. ... | 72 |
| Tabla 2.2.1. 1 Propiedades del polímero PET. | 37 | Tabla 4.1.1. 1 Resultados de ensayos. | 80 |
| Tabla 2.2.5. 1 Indicadores de reciclaje anual de la ciudad de Cuenca. | 48 | Tabla 4.1.2. 1 Bloques de hormigón de acuerdo a su uso. | 81 |
| Tabla 2.2.5. 2 Mecanismo de recolección, recicladores. | 48 | Tabla 4.1.2.1. 1 Resistencia a la compresión, bloque de 10 x 20 x 40, PET al 100 %. Resultados a los 7 y 28 días. Dosificación 1:1.4:1. | 82 |
| Tabla 3.1.1. 1 Tabla granulométrica del agregado fino, arena. | 53 | Tabla 4.1.2.2. 1 Resistencia a la compresión, bloque de 10 x 20 x 40, PET al 100 %. Resultados a los 7 y 28 días. Dosificación 1:1.25:1. | 83 |
| Tabla 3.1.1. 2 Tabla granulométrica del agregado fino, polvo. | 54 | Tabla 4.2. 1 Análisis de densidades con diferentes porcentajes de PET. | 86 |
| Tabla 3.1.6. 1 Tabla granulométrica del agregado grueso, PET. | 61 | Tabla 4.2. 2 Resumen de resistencias promedio, a los 28 días. | 88 |
| Tabla 3.2.1. 1 Dosificación 1:05:1. Cilindros de 785.4 cm ³ | 66 | | |



Tabla 4.2.1. 1 Diferencia de costos según contenido y precio de PET.
..... 89

Tabla 4.2.2. 1 Peso de la mampostería de bloque con polímeros PET.
..... 91

ÍNDICE IMÁGENES

Imagen 2.2.1. 1 Nomenclatura del Tereftalato de Polietileno. 36

Imagen 2.2.1. 2 Transesterificación del Ácido Teretálico con el Etilenglicol, formando Bis-B-Hidroxietil Tereftalato. 38

Imagen 2.2.2.1. 1 Proceso de reciclaje mecánico..... 41

Imagen 2.2.2.3. 1 Proceso de reciclaje químico..... 42

Imagen 2.2.4. 1 Paneles de poliestireno expandido con inserto en mallas metálicas. 44

Imagen 2.2.4. 2 Ladrillos desarrollados por el CEVE..... 44

Imagen 2.2.4. 3 Construcción hecha por Andreas Froese. 45

Imagen 2.2.4. 4 Vivienda construida con botellas de plástico..... 45

Imagen 2.2.4. 5 EcoArk en Taiwán..... 46

Imagen 3.1.1. 1 Muestra árido fino, arena..... 52

Imagen 3.1.1. 2 Proceso de tamizado del agregado fino, arena.... 53

Imagen 3.1.1. 3 Muestra de ensayo del agregado fino, polvo. 54

Imagen 3.1.3. 1 Determinación de presencia de impurezas del agregado fino, arena, mediante comparador de color, Escala de Garder.....56

Imagen 3.1.3. 2 Determinación de presencia de impurezas del agregado fino, polvo, mediante comparador de color, Escala de Garder.....57

Imagen 3.1.4. 1 Preparación de la muestra de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino, arena.....57

Imagen 3.1.4. 2 Determinación de la condición S.S.S. del agregado fino, arena.....58

Imagen 3.1.5. 1 Determinación peso volumétrico suelto del árido fino, arena.....60

Imagen 3.1.5. 2 Determinación peso volumétrico suelto del árido fino, polvo.60

Imagen 3.1.6. 1 Proceso de tamizado del agregado grueso, PET.61

Imagen 3.1.7. 1 Muestra de ensayo, árido grueso, PET.....62

Imagen 3.1.7. 2 Preparación de la muestra, condición S.S.S.....62

Imagen 3.1.8. 1 Muestra de ensayo de árido grueso, PET.....64

Imagen 3.2.1. 1 Elaboración de cilindros, prueba de dosificación 1:05:1.....67

Imagen 3.2.1. 2 Proceso ensayos de compresión.68



Imagen 3.2.1. 3 Cilindro sometido a esfuerzo a compresión. 68
 Imagen 3.2.1. 4 Cilindros dosificación 1:0.5:1. 68

Imagen 3.2.2. 1 Preparación de la mezcla y corrección de dosificación 1:1.24:1. 69
 Imagen 3.2.2. 2 Bloque 10 x 20 x 40 cm. Dosificación 1:1.24:1. 70

Imagen 3.2.3. 1 Fabricación del bloque de 10 x 20 x40 cm..... 71
 Imagen 3.2.3. 2 Desencofrado del bloque de 10 x 20 x 40 cm. Dosificación 1:1.24:1 30 bloques por saco de cemento..... 71

Imagen 3.2.4. 1 Fabricación bloque de 10 x 20 x 40 72
 Imagen 3.2.4. 2 Bloque de 10 x 20 x 40. Dosificación 1:1.25:1 30 bloques por saco de cemento. 72

Imagen 4.1.1. 1 Proceso de saturación de bloques en agua durante 24h..... 78
 Imagen 4.1.1. 2 Método de sumersión de las muestras de ensayo en agua. 78
 Imagen 4.1.1. 3 Bloques superficialmente secos. 78
 Imagen 4.1.1. 4 Determinación de las muestras de ensayo totalmente secas. 79

ÍNDICE DIAGRAMAS Y GRÁFICOS

Diagrama 2.2.5. 1 Situación actual del reciclaje en Cuenca..... 46

Gráfico 2.2.5. 1 Indicadores de reciclaje mensual de la ciudad de Cuenca, año 2019.47

Gráfico 2.2.5. 2 Indicadores de reciclaje anual de la ciudad de Cuenca, 2012-2019.....47

Gráfico 3.1.1. 1 Curva granulométrica del agregado fino, arena....53
 Gráfico 3.1.1. 2 Curva granulométrica del agregado fino, polvo. ...55

Gráfico 3.1.6. 1 Curva granulométrica del agregado grueso, PET. ..61

Gráfico 4.2. 1 Comparación de densidades con diferentes porcentajes de PET.86

Gráfico 4.2. 2 Comparación de % de absorción de agua con diferentes porcentajes de PET.....87

Gráfico 4.2. 3 Incremento de resistencia según factor cemento. ...88

Gráfico 4.2.1. 1 Costo de bloques por unidad y contenido de PET..90

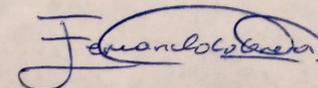
**CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA
PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Cláusula de licencia y autorización para la publicación en el repositorio institucional.

Fernando Xavier Cabrera Figueroa en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET"; de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de marzo del 2022.



Fernando Xavier Cabrera Figueroa

C.I: 0105087902



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Cláusula de Propiedad Intelectual.

Fernando Xavier Cabrera Figueroa, autor del trabajo de titulación "ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 15 de marzo del 2022.

Fernando Xavier Cabrera Figueroa

C.I: 0105087902



DEDICATORIA

Un agradecimiento infinito a mis padres, quienes estuvieron en cada una de las etapas de mi vida. Por su apoyo incondicional y motivación para lograr culminar con éxito esta meta. A mis hermanos por su apoyo. Y a todas las personas que de una u otra manera influyeron positivamente para lograr cumplir este sueño.



AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mis padres, familiares y amigos.

A los profesores de la facultad quienes me transmitieron sus conocimientos de la mejor manera con el afán de formarme como un profesional responsable y sobre todo ético.

Al Arq. Alex Serrano por el apoyo brindado como tutor de este trabajo de titulación.

CAPÍTULO 01

1. INTRODUCCIÓN



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En los últimos 150 años con la aparición de la Revolución Industrial, el crecimiento de las ciudades y zonas industriales, el comportamiento del planeta ha cambiado gracias a los impactos drásticos en su ecosistema. A una escala mundial las estadísticas indican que, cada segundo más de 200 kilos de basura termina en los mares y océanos, que anualmente equivaldría a unos 8 millones de toneladas, lo que ha provocado la creación de 5 islas de basura formadas, en su gran mayoría por micro plásticos (Estevez, 2019). En Latinoamérica Chile lidera el puesto como el mayor generador de residuos, y solamente el 10 % de estos son reciclados. Estudios realizados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile, indican que en el año 2009 se generaron 16,9 millones de toneladas de residuos en todo el país, de los cuales 668 mil toneladas corresponden a polímeros PET, que a su vez solo el 4 % fueron reciclados (Infante & Valderrama, 2019). En Ecuador, según el Ministerio de Ambiente a través del Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos, se genera una acumulación de 11.463 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos, es decir, un aproximado de 4.1 millones de toneladas al año, de los cuales el 61,4 % son orgánicos, 9,4 % papel/cartón, 11 % plástico, 2,6 % vidrio, 2,2 % chatarra y 13,3 % otros. En lo que respecta al servicio de recolección de residuos sólidos el 35 % son conducidos a rellenos sanitarios técnicamente manejados, mientras que el otro 65 % son manejados inadecuadamente y depositados en botaderos a cielo abierto, ocasionando serios problemas al ecosistema (Advance-Consultora, 2015).



Por otra parte, en el 2016, según las estadísticas del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC, los permisos de construcción crecieron en un 5.0% en relación al 2015, mientras que en los últimos 15 años el aumento fue de 35.6% (INEC, 2016). Como consecuente el sector de la construcción es la cuarta industria de generación de empleos en el país con un gran impacto social y económico, y este a su vez toma gran protagonismo en lo que se refiere a contaminación ambiental. Es por eso que la generación de residuos sólidos en obra es inevitable, en los que se involucran, la diversidad de materias primas, encofrados, y productos finales que se utilizan a lo largo de cada una de las etapas del proceso constructivo (Rea Lozano, 2017). En 2013 a nivel nacional 10.167 empresas privadas (96%) realizaron recolección de sus residuos no peligrosos, destinando un 13,2% de su gasto corriente a este rubro. Del total de residuos, el sector de la construcción generó 81.558,24 kg/año concentrado el 88,8% de estos en lo que respecta a escombros de la construcción (Rea Lozano, 2017). Mientas tanto la composición constructiva de la vivienda en el Ecuador está conformada por el 61,6% de paredes de bloque y 35,1% de ladrillo, elementos que son elaborados con materias primas producto de la sobre explotación de minas o canteras provocando erosión del suelo y afección a las cuencas hidrográficas (Angumba, 2016). El correcto manejo de estos residuos, aplicando normas técnicas y de seguridad se pueden evitar impactos como: alteración de orillas de ríos y quebradas, taponamiento de quebradas o reducción de la sección de ríos, alteración de la calidad de agua de ríos que perjudican a la flora y fauna (Emac, 2014).

Referente a esto la sustitución de ciertos áridos que funcionan como materia prima para la elaboración de estos bloques, por un polímero denominado Polientilentereftalato (PET), aportará en gran medida a reducir el impacto ambiental que este produce,

promoviendo el reciclaje o reutilización de estos elementos plásticos (Angumba, 2016). Asimismo, en Ecuador la demanda de materiales de construcción incrementa con el paso de los años, principalmente en lo que se refiere a agregado para la fabricación de bloques ya sea de piedra pómez o bloque mixto. Esto constituye un rubro importante, debido al costo que genera la explotación de minas y canteras, así como el transporte de este material hacia las fábricas de bloques, teniendo en cuenta que el transporte de estos agregados se los realiza principalmente desde el norte del país, específicamente de la localidad de Chasqui-Cotopaxi. (Rubén & Cañizares, 2011).

Por tal motivo esta investigación se enfoca en encontrar la dosificación que permita sustituir el agregado grueso, por polímeros, para la fabricación de bloques. Y estos a su vez cumplan con la resistencia a la compresión, según la clasificación de los bloques de concreto que establece la Norma Técnica Ecuatoriana INEN.

Los ecosistemas terrestre y marino se ven afectados por el deterioro de la flora y fauna que los habitan, debido a ciertos contaminantes producidos de forma masiva, que son aptos para la reutilización, pero desafortunadamente un pequeño porcentaje de estos son reciclados, y su resto terminan en bosques, ríos, mares y océanos. La sobre explotación de minas y canteras destinadas a la extracción de materia prima para la elaboración de elementos utilizados en la construcción y la generación de residuos sólidos provenientes de la ejecución de una obra. Son los ejes fundamentales que guían este proyecto de investigación, que tiene como finalidad la elaboración de un bloque que sea eco-amigable, que aporten en gran medida a reducir la contaminación ambiental.



1.2 JUSTIFICACIÓN.

En los últimos años los materiales constructivos de mayor uso, tanto en la ciudad de Cuenca como a nivel nacional, han sido los bloques, ladrillos de arcilla y elementos prefabricados, todos ellos acogiéndose a los parámetros constructivos de resistencia y durabilidad. Sin embargo, en su proceso de elaboración se tiene consecuentemente impactos ambientales negativos.

Pero la industria de la construcción no es el único medio de contaminación, estudios del Ministerio del Ambiente demostraron que 438 700 toneladas (t) de plástico son generadas por los ecuatorianos y solo 49 972 t de botellas de plástico PET fueron recicladas, en el 2017 ("El Comercio," 2017), con relación a la ciudad de Cuenca se recolectan 10 toneladas de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) reciclables por semana, lo que representa apenas el 0.45% de la generación total (350Tn) de residuos y en lo referente al plástico como material reciclable, se obtiene un 22% del total cada año equivalente a \$ 816.000 (Emac, 2014). Es importante tener presente, además, los datos vertidos por la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente), ya que los diferentes ecosistemas se ven afectados por la contaminación ambiental con altos niveles de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que producen los centros poblados o ciudades en todo el mundo.

Entendiendo a la industria de la construcción como uno de los sectores que más contamina y a los residuos PET, como un problema ambiental debido a su tiempo de degradación en comparación con otros desechos, es indispensable la búsqueda de tecnologías eficientes y ecológicas que minimicen los impactos medioambientales. Por ello y tomando en cuenta todos los datos mencionados, surge la hipótesis "reciclar para construir". Es decir, asumir los desechos de Polímeros PET como materia prima,

buscando el balance correcto entre Polímeros PET y áridos en la elaboración de un bloque común. Otorgándole un nuevo uso a "simples desechos" e innovando con materiales conocidos como materia prima para su fabricación.

Muestra de la factibilidad en la elaboración de estos bloques son, los estudios de Rosana Gaggino quien asegura la viabilidad constructiva de realizar ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados (Gaggino, 2008), existen también investigaciones acerca de la fabricación de ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas de (Maure, Candanedo, Madrid, Bolobosky, & Marín, 2018), otros autores como Gómez, Carvajal y Santelices, realizaron una investigación implementando bolsas de plásticos al hormigón mejorando la permeabilidad a la penetración de cloruros, la carbonización y la absorción capilar (Gómez et al., 2011). En su tesis de Maestría el Arq. Pedro Angumba elaboró ladrillos para mampostería no portante, donde sustituyó ciertos áridos que funcionan como materia prima, por un polímero denominado Polientilentereftalato (PET) (Angumba, 2016), por otra parte, Luis Hidalgo Aguilera, Jimmy Imbaquingo y Daniel Mideros diseñaron e implementaron una maquina recicladora de botellas plásticas, que será de suma ayuda para alcanzar lo planteado en la hipótesis "Reciclar para construir" (Hidalgo Aguilera et al., 2017). En un contexto más cercano, en Ecuador en el 2013 se creó la "empresa TRITUBOT", quienes buscan dar un segundo uso a Polímeros PET, en la elaboración de bloques para la construcción de viviendas de ayuda social. Esto lo realizan en primera instancia mediante 40 máquinas recolectoras y trituradoras de PET, que están distribuidas en siete provincias a nivel nacional, para convertir estas partículas de PET en materia prima y elaborar los bloques ("El Comercio," 2017).



En base a lo mencionado, la presente investigación tiene el objetivo de emplear este material (PET) en el ámbito constructivo, en la fabricación de bloques de mortero con polímeros PET. Esto se pretende lograr obteniendo la materia prima (botellas plásticas) y sometiéndola a un proceso de trituración, donde el PET, se convertirá en pequeñas partículas de máximo 3/8" (pulgadas) o 9.52 mm, que sustituirá a los áridos gruesos. Elaborados los bloques, serán sometidos a las diferentes pruebas de resistencia en laboratorio que dicta la norma vigente. Obtenidos los resultados, se determinarán sus ventajas y desventajas constructivas y medioambientales frente a los bloques comunes de mortero.

Como aporte adicional este tipo de bloques, ayudaría a mitigar la contaminación ambiental. Reflejado en la reducción de PET en botaderos, al otorgarles un nuevo uso, facilitando el proceso constructivo y minimizando desechos contaminantes en obra, además de la reducción en el tiempo de construcción.

Esta hipótesis "Reciclar para construir", un nuevo uso a desechos plásticos otorga a la ciudad nuevas opciones de elementos constructivos y proceso deconstructivos que cumplen con las exigencias de resistencia y durabilidad.

Con la implementación del sistema planteado en la hipótesis, se mejoraría el impacto negativo de la construcción al ecosistema, como en el caso de los ladrillos de tierra, que en su elaboración dañan la capa fértil de la tierra, o la liberación de grandes cantidades de CO₂ con el hormigón, implicando la destrucción de ciertos hábitats, debido a su uso masivo en la ciudad.

Es importante concientizar acerca del daño que provocan las actividades humanas, pero aún más significativo es poder hacer algo para revertir de alguna manera o minimizar estos daños. En la

actualidad existe un sin número de innovaciones y facilidades que podrían aportar a un cambio y como seres humanos habitantes de este mundo estamos en la obligación de aprovecharlos.

1.3 HIPÓTESIS.

En el diseño de un bloque de mortero para mampostería no portante, se puede reemplazar de manera parcial los áridos por polímeros PET, cumpliendo con los parámetros de resistencia establecidos en la normativa vigente.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo General

Elaborar bloques a base mortero con polímeros PET, para mampostería no portante.

1.4.2 Objetivos Específicos

Elaborar ensayos de laboratorio de la materia prima.

Realizar pruebas de compresión de los bloques para determinar sus propiedades mecánicas.

Analizar resultados y determinar ventajas de bloques a base de mortero con polímeros PET.

CAPÍTULO 02

2. MARCOS DE REFERENCIA



CAPÍTULO II: MARCOS DE REFERENCIA.

2.1 MARCO JURÍDICO.

En el Ecuador, hoy en día no existe una normativa para bloques de mortero con polímeros PET, por tal motivo, para la presente investigación se tomará en cuenta normas que se detallan a continuación.

- **Norma INEN**

El Instituto Ecuatoriano de Normalización, es la entidad nacional encargada de formular las Normas Técnicas Ecuatorianas, constituyéndose en una entidad técnica de Derecho Público, con personería jurídica, patrimonio y fondos propios, con autonomía administrativa, económica, financiera y operativa.

Con fines de estudio, se toma en cuenta la Norma INEN 3066, referente a ensayos de resistencia a la compresión de ladrillos.

- **NEC**

Norma Ecuatoriana de la construcción, promovida por la Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), tiene como objetivo principal la actualización del Código Ecuatoriano de la Construcción, para regular procesos que permitan cumplir con las exigencias básicas de seguridad y calidad en todo tipo de edificaciones.

Por ello se tiene presente los parámetros establecidos en dicha norma referentes a mampostería, con la finalidad que los bloques



cumplan los parámetros que permitan construir mamposterías con características adecuadas y seguras.

2.1.1 NTE INEN 696. (ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO).

La NTE INEN 696 “Establece un método de ensayo para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado. Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de los materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos. Los resultados obtenidos son analizados con el fin de obtener la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables con el fin de proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos” (INEN-696, 2011).

El árido fino no debe tener más de 45 % pasante en cualquier tamiz y retenido en el siguiente consecutivo de aquellos indicados en el numeral en la Tabla y su módulo de finura no debe ser menos que 2.3 ni mayor que 3.1 (NTE INEN 872, 2011), el tamaño mínimo de la muestra para el ensayo, luego de secarla, debe ser como mínimo 300 gramos (INEN-696, 2011).

Tabla 2.1.1. 1 Requisitos de gradación para árido fino.

| Tamiz (NTE INEN 154) | Porcentaje que pasa |
|----------------------|---------------------|
| 9,5 mm | 100 |
| 4,75 mm | 95 a 100 |
| 2,36 mm | 80 a 100 |
| 1,18 mm | 50 a 85 |
| 600 µm | 25 a 60 |
| 300 µm | 5 a 30 |
| 150 µm | 0 a 10 |

Fuente: (NTE INEN 872, 2011).
Elaboración. (NTE INEN 872, 2011).

Para la elaboración de este ensayo la norma detalla la utilización de diferentes equipos que se describen a continuación:

- Balanzas. Para árido fino con una legibilidad hasta 0.1 g y una precisión de 0.1 g o del 0.1 % de la carga de ensayo. Para el árido grueso la norma sugiere un equipo con precisión de 0.5 g o 0.1 % de la carga de ensayo.
- Tamices. La tela de los tamices debe estar sujeta sobre marcos que eviten la pérdida del material durante el tamizado. La tela de los tamices y sus marcos deben estar debidamente normalizados y cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154.
- Agitador de tamices mecánico. Es un dispositivo mecánico que crea un movimiento en los tamices de tal manera que las partículas reboten y caigan.
- Horno. Este elemento debe ser capaz de mantener una temperatura uniforme de 100 °C +/- 5 °C (INEN-696, 2011).



ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

(Santacruz & Velasteguí, 2018) en su tesis "Determinación de dosificación para elaborar bloques huecos de hormigón que cumplan con la actual norma INEN 3066", en la sección análisis granulométrico menciona: "A diferencia del agregado grueso de peso normal, que en la NTE INEN 696 sugiere un tamaño de la muestra del ensayo mínimo en (kg) en función del tamaño máximo nominal del agregado, la ASTM C 330, establece que, para agregados gruesos de pesos ligeros, se debe emplear como muestra de ensayo 2830 cm³ o una cantidad superior para determinar la densidad aparente".

Para fines investigativos, adaptaremos este procedimiento y método de análisis granulométrico de agregados gruesos ligeros debido a que en la NTE INEN 696, no existe una normativa o método de ensayo para estos elementos, mucho menos para materiales (PET) que sustituyan a los agregados comunes.

Tabla 2.1.1. 2 Requisitos de gradación para árido grueso.

| Tamaño Nominal (mm) | Porcentaje pasante en masa | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | 25.0 (mm) | 19.0 (mm) | 15.2 (mm) | 9.5 (mm) | 4.75 (mm) | 2.36 (mm) | 1.18 (mm) | 300 (µm) | 150 (µm) | 75 (µm) |
| | (1 in) | (3/4 in) | (1/2 in) | (3/8in) | (No. 4) | (No. 8) | (No. 16) | (No. 50) | (No. 100) | (No. 200) |
| Agregado Fino | | | | | | | | | | |
| 4.75-0 | --- | --- | --- | 100 | 85-100 | --- | 40-80 | 10-35 | 5-25 | --- |
| Agregado grueso | | | | | | | | | | |
| 25-4.75 | 95-100 | --- | 25-60 | --- | 0-10 | --- | --- | --- | --- | 0-10 |
| 19-4.75 | 100 | 90-100 | --- | 10-50 | 0-15 | --- | --- | --- | --- | 0-10 |
| 12.5-4.75 | --- | 100 | 90-100 | 40-80 | 0-20 | 0-10 | --- | --- | --- | 0-10 |
| 9.5-2.36 | --- | --- | 100 | 80-100 | 5-40 | 0-20 | 0-10 | --- | --- | 0-10 |
| Agregado grueso y fino combinado | | | | | | | | | | |
| 12.5-0 | --- | 100 | 95-100 | --- | 50-80 | --- | --- | 5-20 | 2-15 | 0-10 |
| 9.5-0 | --- | --- | 100 | 90-100 | 65-90 | 35-65 | --- | 10-25 | 5-15 | 0-10 |

Fuente: (Santacruz & Velasteguí, 2018), ASTM C 330.
Elaboración: (Santacruz & Velasteguí, 2018), ASTM C 330.

2.1.2 NTE INEN 862 (DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD).

La NTE INEN 682 "Establece un método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad evaporable, mediante el secado de una muestra de áridos, dicho porcentaje corresponde a la humedad superficial como a la contenida en los poros del árido, (NTE INEN 862, 2011). Este método es suficientemente preciso para los propósitos habituales, tales como el ajuste de cantidades de ingredientes para una mezcla de hormigón. En consecuencia esta norma mide de manera más confiable la humedad que existe en la muestra de ensayo y no determina las variaciones que puedan presentarse en el depósito" (NTE INEN 862, 2011).

Este método de ensayo utiliza una muestra de árido en estado natural secada en un horno, con el fin de eliminar toda la humedad, superficial y la que se aloja entre los poros del árido. La cantidad de agua evaporada expresada en porcentaje respecto a la masa seca es la humedad del árido (NTE INEN 862, 2011).

El contenido total de humedad evaporable se calcula de la siguiente manera:

$$P = 100 (W - D) / D$$

Donde:

- P= contenido total de humedad evaporable de la muestra, porcentaje,
- W= masa de la muestra original, g, y
- D= masa de la muestra seca, g.



2.1.3 NTE INEN 855 (PRUEBA PARA EFECTO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS DEL AGREGADO FINO).

Norma donde se describe el procedimiento para determinar la presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino por el método de comparación de coloraciones, es decir consiste en tratar una muestra de ensayo con una solución de hidróxido de sodio al 3% y comparar su coloración obtenida con la coloración de una solución tipo de ácido tánico o con un comparador de colores normalizados como referencia. Es importante elaborar dicho ensayo, porque la presencia de impurezas orgánicas en un árido puede modificar las reacciones químicas del cemento con el agua, alterando el correcto fraguado y endurecimiento (NTE INEN 855, 2010).

La NTE INEN 855 sugiere que para efectos de este ensayo es necesario una botella de vidrio graduada que pueda ser sellada herméticamente y solución de hidróxido de sodio. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Colocar la muestra del árido fino en la botella de vidrio hasta aproximadamente el nivel equivalente de 130 cm³.
- Añadir la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen ocupado por el árido fino y el líquido después de agitar sea de 200 cm³.
- Tapar la botella, agitar vigorosamente y dejar reposar durante 24 horas (NTE INEN 855, 2010).

Una vez reposada la muestra durante las 24 horas y para definir con mayor precisión el color del líquido debe utilizarse el comparador de color normalizado, el cual se compone de cinco vidrios de color normalizados, que utiliza la escala descrita en la siguiente tabla:

Tabla 2.1.3. 1 Escala de Gardner.

| Color normalizado escala de Gardner No. | Número de orden en el comparador |
|--|----------------------------------|
| 5 | 1 |
| 8 | 2 |
| 11 | 3 (normalizado de referencia) |
| 14 | 4 |
| 16 | 5 |

Fuente: (NTE INEN 855, 2010).
Elaboración: (NTE INEN 855, 2010).

2.1.4 NTE INEN 642 (DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA DE LOS BLOQUES DE CONCRETO).

La NTE INEN 642 "Establece un método de ensayo de bloques huecos de hormigón para determinar su absorción de agua. Comprende a los bloques de cemento que se emplean en la construcción de paredes soportantes, tabiques divisorios no soportantes y losas alivianadas de hormigón armado, asimismo en esta normativa no comprenden los paneles o bloques de hormigón espumosos, fabricados con materiales especiales destinados a obtener una densidad muy reducida" (NTE INEN 642, 1993)

Este método de ensayo consiste en sumergir los bloques en agua hasta su saturación y luego al secado, para calcular el porcentaje de absorción de agua de los mismos; las muestras a utilizar deben ser seleccionadas de acuerdo con la norma INEN 639.

Para el cálculo de absorción se agua se la realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción \%} = ((A - B) / B) * 100$$



ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

En donde:

- A= masa en húmedo del espécimen, en kg;
- B= masa en seco del espécimen, en kg;

2.1.5 NTE INEN 643 (BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN, REQUISITOS)

“Esta norma establece requisitos que deben cumplir los bloques huecos de hormigón de cemento. Comprende a los bloques de cemento que se emplean en la construcción de paredes soportantes, tabiques divisorios no soportantes y losas alivianadas de hormigón armado, asimismo en esta normativa no comprenden los paneles o bloques de hormigón espumosos, fabricados con materiales especiales destinados a obtener una densidad muy reducida” (NTE INEN 643, 1993).

Esta norma aplica la misma clasificación de los bloques indicada en el numeral 4 de la norma INEN 638, que se muestra a continuación:

Tabla 2.1.5. 1 Tipos de bloques de hormigón y sus usos.

| TIPO | USO |
|------|--|
| A | Paredes exteriores de carga, sin revestimiento. |
| B | Paredes exteriores de carga, con revestimiento. Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento. |
| C | Paredes divisorias exteriores, sin revestimiento. |
| D | Paredes divisorias exteriores, con revestimiento. Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento. |
| E | Losas alivianadas de hormigón armado. |

Fuente: (NTE INEN 638, 2002).
Elaboración: (NTE INEN 638, 2002).

De acuerdo a la clasificación establecida en la NTE INEN 638, los bloques huecos deberán cumplir con lo siguiente:

Tabla 2.1.5. 2 Requisitos de resistencia a la compresión que deben cumplir los bloques huecos de hormigón

| TIPO DE BLOQUE | Resistencia mínima a la compresión en MPa a los 28 días (ver nota 1) (Norma INEN 640). |
|----------------|--|
| A | 6 |
| B | 4 |
| C | 3 |
| D | 2,5 |
| E | 2 |

Fuente: (NTE INEN 643, 1993).
Elaboración: (NTE INEN 643, 1993).

Por último, la NTE INEN 643 indica que la absorción de agua de los bloques se determinará de acuerdo con la norma INEN 642 y no podrá ser mayor al 15 %.

2.1.6 NTE INEN 856 (DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO).

“Esta norma abarca un método de ensayo para determinar: la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido fino. Este método de ensayo no es aplicable para ser utilizado con áridos livianos” (NTE INEN 856, 2006).



El método de ensayo de esta norma indica que hay que tomar una muestra de árido (500 gr) previamente secada y sumergirla en agua durante 24 h, cabe recalcar que si la dosificación del hormigón se realizará en condiciones de humedad natural el secado previo del árido es opcional (NTE INEN 856, 2006).

Concluidas las 24 h la muestra es retirada del agua y secada superficialmente utilizando una corriente de aire caliente procurando un secado uniforme; precautelar la evaporación de agua desde los poros del árido durante esta operación. Luego se determina la masa de la muestra de ensayo en condición saturada superficialmente seca (S.S.S.). Para verificar que la muestra alcanzó la condición S.S.S., se coloca el árido en un molde de cono trucado, compactándola de tal forma que, al llenar el molde se hayan completado 25 golpes con el compactador, al retirar el molde, la muestra debe desmoronarse ligeramente (NTE INEN 856, 2006), (Santacruz & Velasteguí, 2018).

Para el cálculo mediante el procedimiento gravimétrico se debe realizar lo siguiente:

- Pesar el picnómetro con agua hasta la marca de calibración.
- Tomar una muestra de 500 gr de árido en condición S.S.S.
- Introducir la muestra de árido en condición S.S.S. en el picnómetro y agregar agua hasta el 90 % de su capacidad.
- Remover el aire atrapado mediante un agitador o vibración externa, de tal forma que no degrade la muestra.
- Ajustar la muestra del picnómetro y su contenido a una temperatura de 23,0 °C.

- Pesar el picnómetro con la muestra de árido y agua.
- Colocar la muestra en un contenedor e introducirla en un horno de secado durante 24 h a una temperatura de 100 °C +/- 5 °C, y por último pesar la muestra de árido seco (NTE INEN 856, 2006).

Para el cálculo de la densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición seco al horno (SH), densidad relativa en condición S.S.S., densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), y porcentaje de absorción (NTE INEN 856, 2006), se aplica lo siguiente:

- Densidad relativa (gravedad específica) SH = $A / (B+S-C)$
- Densidad relativa (gravedad específica) S.S.S = $S / (B+S-C)$
- Densidad relativa aparente = $A / (B+A-C)$
- Absorción, % = $((S-A) / A) * 100$.

Donde:

- A = masa de la muestra seca al horno, g
- B = masa del picnómetro lleno con agua hasta la marca de calibración, g
- C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g
- S = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g (NTE INEN 856, 2006).



2.1.7 NTE INEN 857 (DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO).

La NTE INEN 857 "establece el método de ensayo para determinar: la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido grueso. Este método de ensayo no es aplicable para ser utilizado con los áridos livianos" (NTE INEN 857, 2010).

La NTE INEN 857 y la ACI 211.2-98 apéndice A, manejan similares métodos de ensayo para la determinación de la densidad, densidad relativa y absorción de agregado grueso, con la única diferencia que la ACI 211.2-98 incluye un apartado para áridos livianos. Por tal motivo y para fines investigativos si es posible aplicar el método de ensayo de la NTE INEN 857.

El método de ensayo describe los siguientes pasos:

- Tomar una muestra de agregado de acuerdo con la NTE 695, esa muestra debe ser tamizada utilizando el tamiz No. 4, y rechazar toda muestra que pase este tamiz. Si el agregado contiene una cantidad importante más fina que 4,75 mm, es necesario utilizar el tamiz No. 8. El tamaño mínimo de la masa de ensayo se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 2.1.7. 1 Masa mínima de la muestra de ensayo.

| Tamaño máximo nominal, mm | Masa mínima de la muestra para ensayo, kg |
|---------------------------|---|
| 12,5 o menor | 2 |
| 19,0 | 3 |
| 25,0 | 4 |
| 37,5 | 5 |
| 50 | 8 |
| 63 | 12 |
| 75 | 18 |
| 90 | 25 |
| 100 | 40 |
| 125 | 75 |

Fuente: (NTE INEN 857, 2010).
Elaboración: (NTE INEN 857, 2010).

- Sumergir la muestra de ensayo lavada durante 24 h. Tomar en cuenta que el agregado al ser de peso ligero algunas partículas flotarán, por lo que es necesario la colocación de una malla, para evitar que estas partículas floten y así lograr que todas queden totalmente sumergidas.
- Colocar la muestra de agregado sobre un paño absorbente para eliminar la lámina de agua visible. Las partículas de mayor tamaño se deben secar manualmente. Es posible utilizar una pistola de aire caliente para ayudar al secado del material.
- Determinar la masa de la muestra de ensayo en condición saturada superficialmente seca (S.S.S.).
- Sumergir el agregado en condición saturada superficialmente seca en agua a 23 °C, para determinar su masa aparente. Es necesario remover todo el aire atrapado en la muestra antes de determinar su masa.



- Secar la muestra en un horno a una temperatura de 100 °C +/- 5 °C, hasta conseguir una masa constante (NTE INEN 857, 2010).

Para el cálculo de la densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición seco al horno (SH), densidad relativa en condición S.S.S., densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), y porcentaje de absorción (NTE INEN 857, 2010), se aplica lo siguiente:

- Densidad relativa (gravedad específica) SH = $A / (B-C)$.
- Densidad relativa (gravedad específica) S.S.S = $B / (B-C)$.
- Densidad relativa aparente SH = $A / (A-C)$.
- Absorción, % = $((B-A) / A) * 100$.

Donde:

- A = masa del material seco, g
- B = peso del material en superficie saturada seca en aire, g
- C = peso sumergido de la muestra, g (NTE INEN 857, 2010).

2.1.8 NTE INEN 858 DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO UNITARIO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS.

La NTE INEN 858 "establece el método de ensayo para determinar el peso volumétrico del árido fino y grueso, en condición compactada o suelta y calcular los vacíos entre las partículas en los áridos: fino, grueso o una mezcla de ellos, basándose en la misma determinación" (NTE INEN 858, 2002).

El procedimiento que a seguir para elaborar el método de ensayo de la (NTE INEN 858, 2002), es por varillado y se describe a continuación:

- Para la selección de la capacidad del molde nominal, es necesario determinar el tamaño máximo nominal del agregado grueso o fino. Una vez determinada la capacidad nominal del molde, se procede a pesarlo.

Tabla 2.1.8. 1 Capacidad de los moldes.

| Tamaño máximo nominal del árido mm | Capacidad nominal del molde ^A m ³ [litros] |
|---------------------------------------|---|
| 12,5 | 0,0028 [2,8] |
| 25,0 | 0,0093 [9,3] |
| 37,5 | 0,014 [14] |
| 75,0 | 0,028 [28] |
| 100,0 | 0,070 [70] |
| 125,0 | 0,100 [100] |

^A Capacidad del molde a utilizar para ensayar áridos de un tamaño máximo nominal igual o menor que el correspondiente en la lista. El volumen real del molde debe ser de al menos el 95% del volumen nominal indicado.

Fuente: (NTE INEN 858, 2002).
Elaboración: (NTE INEN 858, 2002).

- Para calcular la densidad suelta del agregado, se coloca la muestra en el contenedor hasta llenarlo, se enrasa y se pesa.
- Asimismo, para determinar la densidad compactada de los agregados, se debe compactar uniformemente con 25 golpes de la varilla de compactación. Llenar los dos tercios del molde, nivelar y repetir el proceso de compactación indicado anteriormente. Por último, llenar el contenedor hasta rebosar y compactar de la misma forma (NTE INEN 858, 2002).



Cálculos:

- Masa unitaria (peso volumétrico) $(M) = (G - T) / V$

Donde:

- M = masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m^3 ,
- G = masa del agregado suelto o compactado más el molde, g,
- T = masa del molde, g,
- V = volumen del molde, cm^3 (NTE INEN 858, 2002).

2.2 ESTADO DE ARTE

2.2.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS POLÍMEROS PET

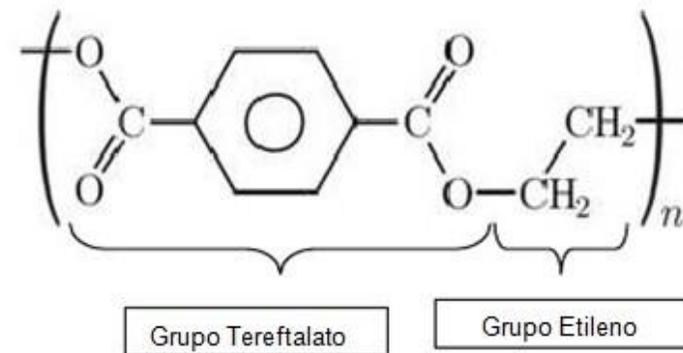
El Polietilentereftalato o conocido por sus siglas como PET es un material polimérico, muy utilizado en la fabricación de productos para el almacenamiento de víveres, agua y un sinnúmero de líquidos para distintos usos ya sea comunes o industriales.

En la Wallace H. Carothers sintetizó el primer poliéster lineal en 1930, basado en trimetilenglicol y ácido hexadecametilen dicarboxílico, siendo así la primera fibra sintética. No obstante, debido a las características físico-químicas del elemento como, su baja temperatura de fusión y una baja estabilidad hidrolítica, comprometió la calidad del producto final (Paoli, 2020). A su vez en 1946, Whinfield y Dickson descubrieron el poli tereftalato de etileno o Polietilentereftalato (PET), que es un material con una alta temperatura de fusión (256 °C) y estabilidad hidrolítica, debido a la unidad estructural que lo conforma, pues mientras más alto es el peso molecular (n) mejor son las propiedades. Al ser un polímero, las moléculas de tereftalato del polietileno consisten en cadenas largas de unidades repetidas que contienen carbono (C), oxígeno (O) e hidrogeno (H), todos estos elementos orgánicos. (Angumba Aguilar, 2016).

El Polietilentereftalato es un material termoplástico y una de sus características según la definición del libro Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de William Smith dice: "que a los termoplásticos es necesario calentarlos para darles forma y después enfriarlos, de modo que adquieran y conserven la forma que se les dio". Otra característica es que "pueden ser moldeados varias veces sin que haya un cambio significativo en sus propiedades". (Madrid &

Bolobosky, 2018). En base a esto y a inicios de la década de los años setenta se desarrolló comercialmente la técnica para expandir las botellas orientadas biaxialmente (Angumba Aguilar, 2016). Por último y no menos importante es que el PET requiere de procesos altamente tecnificados para su recuperación luego de ser desechado, puesto que no es posible su reutilización para nuevos envases plásticos, por razones de higiene (Madrid & Bolobosky, 2018).

Imagen 2.2.1. 1 Nomenclatura del Tereftalato de Polietileno.



Fuente: (López, 2016).
Elaboración: Propia.

Otras propiedades y características más relevantes de los polímeros PET son:

- El Polietilentereftalato posee alta resistencia al desgaste por su capacidad de deformación y corrosión haciéndolo resistente a ácidos y bases.
- Buena resistencia química y mecánica.
- Mejor resistencia con respecto a otros tipos de plástico.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

- Cuenta con una aceptable barrera a O₂, muy buena barrera a CO₂ e impermeable, resistente a la humedad.
- Reciclable al 100%, y al ser un termoplástico modificando su forma de tal manera que pueda ser reutilizado. (Huaman, 2019)

Tabla 2.2.1. 1 Propiedades del polímero PET.

| DATOS TÉCNICOS DEL POLIETILENTEREFTALATO (PET) | | |
|---|--------------------|---------|
| PROPIEDADES MECÁNICAS | | |
| Peso específico | gr/cm ³ | 139 |
| Resistencia a la tracción fluencia/rotura | kg/cm ² | 900 |
| Resistencia a la flexión | kg/cm ² | 1450 |
| Alargamiento a la rotura | % | 15 |
| Módulo de elasticidad (tracción) | kg/cm ² | 37000 |
| Resistencia a la compresión | kg/cm ² | 1305 |
| Resistencia al desgaste por roce | Muy Buena | |
| PROPIEDADES TÉRMICAS | | |
| Temperatura de fusión | °C | 255 |
| Conductividad térmica | BAJA | |
| Temperatura de deformabilidad por calor | °C | 170 |
| Temperatura de ablandamiento de Vicat | °C | 175 |
| Coeficiente de dilatación lineal de 23 a 100 °C | mm por °C | 0,00008 |
| PROPIEDADES ELÉCTRICAS | | |
| Constante dieléctrica (60Hz) | -- | 3,65 |
| PROPIEDADES QUÍMICAS | | |
| Absorción de humedad | % | 0,25 |
| Resistencia a álcalis débiles a temperatura ambiente | Buena | |
| Resistencia a ácidos débiles a temperatura ambiente | Buena | |

| | | |
|--------------------------------|-----------------------------|---------------|
| Comportamiento a la combustión | Arde con mediana dificultad | |
| Propagación de la llama | Mantiene la llama | |
| Comportamiento al quemado | Goteo | |
| Velocidad de combustión | mm/min | Consumo lento |
| Efecto luz solar | Se decolora ligeramente | |
| Calidad de mecanizado | Excelente | |
| Calidad óptica | Transparente a opaco | |

Fuente: (Angumba, 2016; Huaman, 2019).
Elaboración: Fernando Cabrera.

El método para la obtención del PET en la actualidad parte de la extracción de dos elementos del petróleo el etilenglicol y el ácido Tereftálico. El procedimiento inicia con la esterificación del etilenglicol del ácido tereftálico, este proceso consiste en la eliminación de agua del ácido tereftálico y metanol del dimetiltereftalato, los cuales constituyen el monómero denominado Bis-beta-hidroxi-etil-tereftalato. Posteriormente este monómero se somete a la fase de poli-condensación, que se realiza en condiciones de alto vacío utilizando catalizadores y temperaturas sobre los 270° C, alcanzando la polimerización. En este proceso se libera una partícula de glicol cada vez que el enlace se alarga por unidad repetida. Esto aporta al incremento en el peso molecular y la viscosidad de la masa, otorgándole al elemento una mayor resistencia mecánica (Hachi & Rodríguez, 2010; Polanco & Quishpe, 2019).

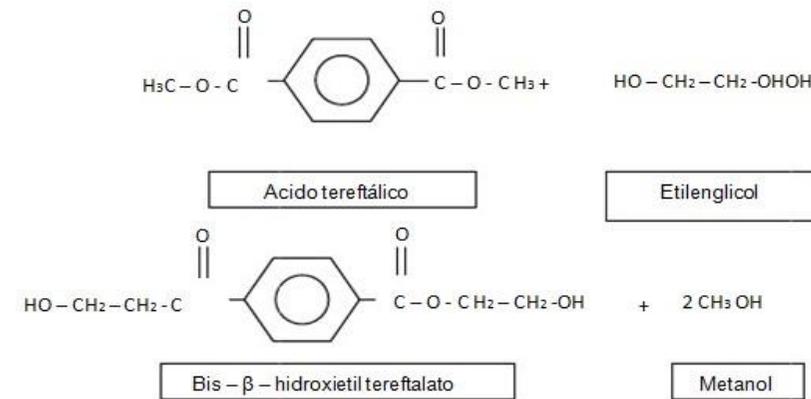
Una vez alcanzada la viscosidad deseada, se romperá el vacío del polímero introduciendo nitrógeno, la presencia de este elemento evita la oxidación. Luego la masa fundida pasa a través de una

matriz y forman hilos gruesos, que caen en un recipiente con agua donde se enfrían y consolidan. Posterior a ello los hilos pasan por una cortadora para convertirlos en gránulos, estos son brillantes y transparentes debido a su forma, se caracterizan por su baja densidad y peso molecular. Por lo que son idóneos para la fabricación de botellas PET (Hachi & Rodríguez, 2010).

Es necesario la cristalización de los gránulos los cuales pasan de semicristalinos (transparente a la luz) a cristalinos (opacos a la luz), esto se logra mediante la aplicación de una resina de coloración blanca lechosa. Este procedimiento consiste en someter a los polímeros a un tratamiento térmico a temperaturas que oscilan entre los 130 y 160 °C, por un tiempo determinado (60 minutos). La cristalización modifica la densidad del PET de 1.33 g/cm³ (estado amorfo) a 1.4 g/cm³ cristalino (Hachi & Rodríguez, 2010).

Por último, al polímero pasa a la fase de polimerización en estado sólido o post polimerización. Este proceso consiste en someter al gránulo cristalizado a un flujo de gas nitrógeno a una temperatura sobre los 200 °C (Hachi & Rodríguez, 2010). Una vez culminada esta etapa el polímero está listo y pasa a las máquinas de inyección-estirado-solado para la fabricación de botellas PET.

Imagen 2.2.1. 2 Transesterificación del Ácido Teretálico con el Etilenglicol, formando Bis-B-Hidroxietil Tereftalato.



Fuente: (López, 2016).

2.2.2 TIPOS DE RECICLADO DE PLÁSTICO

Los polímeros se han convertido en materiales muy importantes en la actualidad, llegando al punto de tornarse imprescindibles, debido a sus características físicas como; baja densidad, propiedades mecánicas, bajo costo y sobre todo fácil procesamiento, otorgándoles ventajas sobre otros materiales como los metales. Dentro de este grupo se encuentran los plásticos, los cuales son materiales sintéticos que se obtienen de materias primas como el petróleo o gas natural. Por sus excelentes propiedades físico-químicas como la resistencia a la radiación UV y su capacidad de no ser biodegradables, son los principales causantes de la contaminación ambiental por lo que su permanencia en el ecosistema puede durar cientos de años. Por estas razones el uso de polímeros especialmente plásticos, ha incrementado



drásticamente en las últimas décadas; no obstante, el incorrecto manejo de los residuos producto de una falta de cultura del reciclaje, repercute en el aumento considerable de contaminantes al medio ambiente. Por tales motivos es indispensable un correcto manejo y gestión de residuos sólidos urbanos, para reducir el impacto ambiental y el agotamiento de recursos no renovables (Polanco & Quishpe, 2019).

El reciclaje consiste en la recuperación y reprocesamiento de un producto, mediante un tratamiento total o parcial, para la obtención de una materia prima o nuevo producto. También se define como la obtención de materias primas a partir de desechos o residuos sólidos, generando en ellos un ciclo de reutilización, esto ante el inminente agotamiento de recursos naturales eliminando de forma la huella de desechos. (Hachi & Rodríguez, 2010; Távara, 2004).

El reciclado resulta factible solo si el costo energético del proceso de reciclado es inferior al de fabricación de nuevos productos. Si los plásticos procedentes de los derivados del petróleo son más económicos que los plásticos que provienen de los materiales reciclados, no debe ser un impedimento para frenar los procesos de reciclado; más bien es un indicador de que el precio del crudo de petróleo es muy reducido a pesar de su naturaleza finita, dando lugar a una sobreproducción de elementos nuevos (Távara, 2004). Por esta razón para minimizar la generación de residuos principalmente los plásticos, se debe reducir principalmente la producción de nuevos elementos y optar por reciclar estos materiales.

Dentro del reciclaje de polímeros (Plásticos) los residuos PET al ser elementos homogéneos pueden ser reciclados varias veces, pero si su uso es destinado al almacenamiento de productos de consumo

humano, solo se permite un primer nivel de reciclado. Pasado este nivel el PET es reutilizado en una amplia variedad de productos finales como: fibra, fibra de relleno textil, correas, y envases para almacenamiento de detergentes y productos fitosanitarios (Huaman, 2019). Mientras que los plásticos con una composición heterogénea su uso final dentro del reciclaje es principalmente como combustible alternativo en procesos industriales o fuente de energía en procesos de combustión (Angumba Aguilar, 2016).

Afortunadamente en muchos países la relación entre el precio de los materiales reciclables y la mano de obra es rentable, por lo que permite a las industrias conseguir esta materia prima a bajo costo y así aumentar su rentabilidad, generando así a la creación de fuentes de trabajo que no requieran mano de obra calificada. Tal es así que mediante el reciclaje se puede recuperar en gran medida materias primas que sirven para la fabricación de nuevos productos, y en consecuencia existe un ahorro en el proceso de producción, reduciendo el consumo de energía y una disminución en la contaminación ambiental (Angumba Aguilar, 2016).

Los envases PET son reciclables en su totalidad, no obstante, no solamente es esta característica lo que los hace medioambientalmente amistosos, sino que son elementos ligeros, lo que ayuda a disminuir la formación de desechos de empaque y a su vez reduce la emisión de contaminantes en su transportación, puesto que se necesita menos combustible y por ende menos energía (Angumba Aguilar, 2016).

Según (Angumba Aguilar, 2016) en su tesis titulada: "Ladrillos Elaborados con Plástico Reciclado (PET), para Mampostería no Portante", menciona que: "Para la fabricación de nuevos productos es indispensable que los polímeros usados deben colocarse por encima de las materias primas nuevas. Luego de esto



se envía el material a una planta que se encarga de clasificarlos según sus características, para ser perforados, embalados y enviados a un reclamador. En esta fábrica las botellas son trituradas hasta convertirlas en hojuelas de PET, que es la base de los productos reciclados. Para asegurarse que el producto final sea tan puro y de calidad las botellas recicladas se clasifican nuevamente y se las somete a un prelavado antes de ser convertidas en hojuelas. Una vez culminado este proceso las hojuelas se lavan, se secan, se almacenan y se venden. Cuando estos gránulos se venden entran en el verdadero proceso de reciclado, puesto que estos se funden, se obtiene nueva materia prima y en consecuencia la fabricación de un nuevo producto".

El reciclaje de polímeros emplea dos tecnologías importantes para el procesamiento de los residuos y son: Reciclaje Mecánico y Reciclaje Químico, pero si se refieren a métodos están: primario, secundario, terciario y cuaternario.

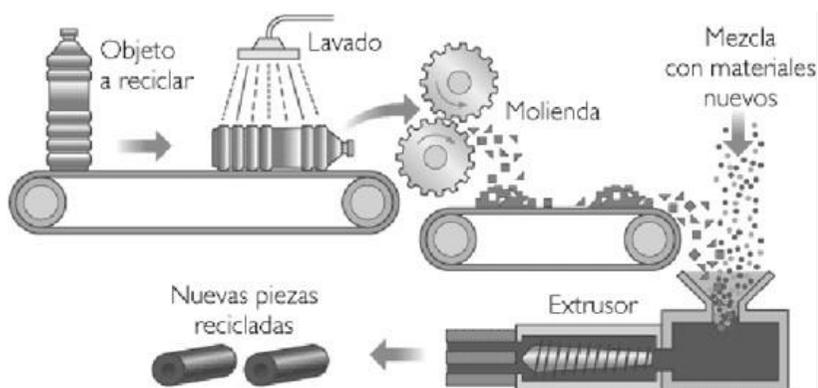
2.2.2.1 PRIMARIO.

Es un procesamiento mecánico, este consiste básicamente en convertir los plásticos postindustriales o posconsumo en hojuelas que son utilizados en la fabricación de productos semejantes, este tipo de reciclado permite obtener diferentes plásticos en determinadas proporciones o productos compuestos por un solo tipo de plástico. Para efectos de reciclaje mecánico se debe tomar en cuenta que los elementos no presenten degradación excesiva, procurar que los plásticos sean seleccionados y organizados según sus características y evitar la presencia de partículas contaminantes que puedan afectar a los equipos de transformación o interfieran en las características físicas del producto final. El reciclado mecánico consta de las siguientes etapas (Cedex, 2013) (Angumba Aguilar, 2016; Hachi & Rodríguez, 2010; Távora, 2004) (Távora, 2004):

- a. **Limpieza:** Seleccionar el material reciclado para obtener materia prima sin impurezas o sustancias que puedan afectar el proceso de maquinado y producto final.
- b. **Clasificación:** Selección y separación de los diferentes tipos de plásticos. En este paso se pueden utilizar técnicas de separación que se basan en métodos físicos como: el de flotación-hundimiento que toman como principio la diferencia de densidad, existen otros métodos que incorporan técnicas espectroscópicas, electrostáticas y otras basadas en la incorporación de marcadores químicos y utilización de disolventes.
- c. **Trituración:** El plástico es introducido en un molino con cuchillas de acero inoxidable para obtener hojuelas de plástico.
- d. **Lavado:** Eliminación de residuos contaminantes como tierra, restos orgánicos e inorgánicos que puedan alterar la composición de esta materia prima.
- e. **Secado:** Una vez limpio el material es introducido en un secador rotatorio de aire caliente, la concentración de humedad permitida o recomendada en las hojuelas de plástico es del 0,5 %.
- f. **Obtención de granza:** Se obtiene mediante un proceso de extrusión. El plástico se homogeneiza mediante fundición, posterior a ello se moldea en forma de filamentos. Una vez concluido este proceso el elemento pasa a través de un filtro para eliminar residuos contaminantes diferentes al plástico y se procede a cortarlos en trozos pequeños, el producto final se lo denomina granza reciclada.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Imagen 2.2.2.1. 1 Proceso de reciclaje mecánico.



Fuente: (López, 2016).

2.2.2.2 SECUNDARIO.

Es un proceso de fusión el cual consiste en transformar los polímeros en productos diferentes a la materia prima que incluyen mejores características físicas. Este proceso se denomina "cascada" y solo un 20 % de los polímeros pueden ser procesados de esta manera (Angumba Aguilar, 2016).

2.2.2.3 Terciario.

Este proceso es denominado como reciclaje químico y se considera a su vez como un complemento del reciclaje mecánico puesto que suple las limitaciones de este último, optimizando recursos y recuperación de residuos. Una de las condiciones del reciclaje mecánico es la necesidad de disponer residuos plásticos limpios, clasificados según sus características físicas a fin de conseguir una homogeneidad en los elementos, y garantizar la calidad del producto final. Por esta razón el reciclaje químico genera una gran ventaja y es la de no tener que separar por tipos de polímeros al

procesarlos, lo conlleva a una reducción en los costos de recolección y clasificación de los RSU. Dando origen a productos de buena calidad (Cedex, 2013; Hachi & Rodríguez, 2010). Los procesos que se dan en el reciclaje químico son:

- Pirólisis:** Consiste en el craqueo de las moléculas por calentamiento al vacío (450 °C) puesto que es necesario someter a grandes temperaturas para romper el enlace de carbono-carbono. Este proceso genera hidrocarburos líquidos y sólidos que pueden ser procesados en refinerías (Cedex, 2013; Hachi & Rodríguez, 2010).
- Hidrogenación:** Los polímeros son procesados mediante un tratamiento térmico e hidrógeno a temperaturas que oscilan entre los (400 a 500 °C), y presiones elevadas (10-100 kPa); en este proceso las cadenas poliméricas se rompen y se convierten en petróleo sintético (Cedex, 2013; Hachi & Rodríguez, 2010).
- Gasificación:** Los residuos plásticos se calientan con aire u oxígeno, mediante este proceso se pueden obtener gases como: monóxido de carbono e hidrógeno, mismos que pueden ser utilizados para generar metanol o amoníaco o a su vez en la producción de aceros en hornos de venteo (Hachi & Rodríguez, 2010).
- Quimiólisis:** Este proceso consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis a los poliésteres, poliuretanos, poli acetales y poliamidas para reciclarlos y transformarlos nuevamente en monómeros básicos que posterior a ello se re polimerizan en nuevos plásticos. Este procedimiento agota más recursos que los otros ya que requiere de grandes cantidades de residuos plásticos clasificados según sus características físicas (Hachi & Rodríguez, 2010).

- e. **Hidrólisis:** Este realiza un proceso denominado saponificación lo que facilita el reciclaje, esta etapa necesita de un postratamiento para convertir el material reciclado en monómeros utilizables. Mediante la hidrólisis se pueden tratar residuos plásticos heterogéneos (Cedex, 2013).
- f. **Metanólisis:** Este avanzado proceso de reciclado descompone al PET en sus moléculas básicas, incluidos el dimetiltereftalato y etilenglicol, mediante la aplicación de metanol. La ventaja es que estas moléculas pueden polimerizarse nuevamente y convertirse en resina virgen (Cedex, 2013).
- g. **Glicólisis:** Es un procedimiento que utiliza etilenglicol pero en menos cantidades con respecto a la metanólisis y la hidrólisis, reduciendo el gasto económico, pero es menos eficaz que las anteriormente mencionadas en el tratamiento de desechos heterogéneos (Cedex, 2013).

Imagen 2.2.2.3. 1 Proceso de reciclaje químico.



Fuente: (López, 2016).

2.2.2.4 CUATERNARIO.

En este proceso el plástico reciclado se utiliza como combustible para generar energía, por lo que no es recomendable debido a los índices de contaminación que este produce (Angumba Aguilar, 2016)

2.2.3 APLICACIONES DE LOS POLIMEROS PET

El PET proviene de elementos derivados del petróleo y en la actualidad es utilizado como materia prima para la elaboración de los plásticos. Por sus ventajas físico-químicas es ideal para la fabricación de un sinnúmero de productos que son utilizados a nivel mundial y generan una alta demanda de consumo; debido a sus diferentes aplicaciones en cuanto a su uso, entre ellas están:

- a. **PET de grado botella:** Los polímeros se convirtieron en el mejor sustituto para los envases de vidrio, el PET es el material mayormente utilizado por las empresas para almacenar líquidos de consumo humano e industriales. Este polímero es utilizado principalmente por su resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menor costo de fabricación y comodidad en su manejo así como de conservar los sabores de los líquidos de consumo humano (López, 2016). El PET se puede encontrar en envases de gaseosas, lociones, polvos, aguas, jugos, vinos industria de la alimentación, laboratorios cosméticos, productos químicos e industriales así como de limpieza (Polanco & Quishpe, 2019). Las funciones que cumplen los envases de PET son las de contener un producto para que pueda ser transportado y almacenado, preservar y conservar el contenido garantizando la seguridad y calidad del producto, y evitar

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

la contaminación por agentes externos (Polanco & Quishpe, 2019).

- b. PET de grado textil (Fabricación de Poliéster):** La primera aplicación del PET en el sector industrial fue en la textil, en la época de la Segunda Guerra Mundial, su aplicación fue principalmente para sustituir a las fibras naturales. El polímero se utiliza para la fabricación de fibras sintéticas (Poliéster) para sustituir al algodón o lino. El poliéster se utiliza para producción de fibras para la confección de textiles, generalmente se mezcla en diferentes porcentajes con el algodón. Asimismo es muy común su uso en los rellenos de edredones, almohadas, así como en la manufactura de tejidos industriales utilizados en la sustentación de cauchos, lonas, bandas transportadoras, entre otros (López, 2016).
- c. PET de grado film:** Desde su invención el PET es muy utilizado en la fabricación de film, con este se elaboran las películas fotográficas, de rayos X y cintas de audio (López, 2016).
- d. PET de grado ingeniería:** El PET es utilizado en la fabricación de un sinnúmero de productos plásticos, como: cuerdas, hilos, mangueras, cepillos industriales, refuerzos de llantas, entre otros productos de uso cotidiano y especializado (López, 2016).

2.2.4 PET COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Actualmente existen a nivel mundial una variedad de propuestas para utilizar y reciclar el PET en la construcción de edificaciones, especialmente las de tipo vivienda, estas toman un enfoque de tipo social, por lo que su principal acción es favorecer a comunidades

de escasos recursos, así como aportar al cuidado del medio ambiente (Reyes, 2013).

El PET como materia prima para la fabricación de elementos plásticos como botellas contenedores y demás objetos que se utilizan hoy en día nace en Europa, y es en este continente donde existen diferentes tipos de viviendas construidas a partir de botellas de PET y otros desechos industriales como llantas, cartones entre otros R.S.U. (Reyes, 2013).

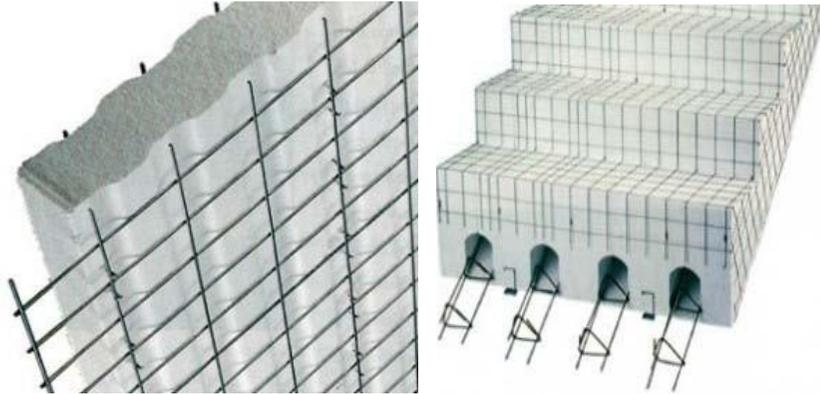
El reciclaje en Latinoamérica ha tenido éxito en los últimos años en países como México, Honduras, Uruguay y Argentina; este último destaca por sus proyectos en los que se emplean eco-tecnologías. Otros de países en los que el reciclaje es una herramienta para la construcción de viviendas están: Inglaterra, Taiwán y Nigeria (Reyes, 2013).

Los siguientes sistemas constructivos utilizan o reciclan polímeros para la construcción de viviendas:

a. Sistema de construcción con paneles de poliestireno expandido inserto en mallas metálicas.

Este sistema existe desde hace tres décadas y se caracteriza por ser sismo resistente, con grandes propiedades de aislamiento termo-acústico. Según estudios realizados en varios países concluyen que, por la ligereza del material, el desplazamiento, transporte e instalación, aporta significativamente en la reducción en los tiempos de ejecución de una obra comparado con los sistemas tradicionales, por lo que supone ahorro en el costo de construcción, más del 20 %. Cabe mencionar que estos estudios demuestran también que estos paneles poseen alta resistencia para soportar cargas estructurales (Reyes, 2013).

Imagen 2.2.4. 1 Paneles de poliestireno expandido con inserto en mallas metálicas.

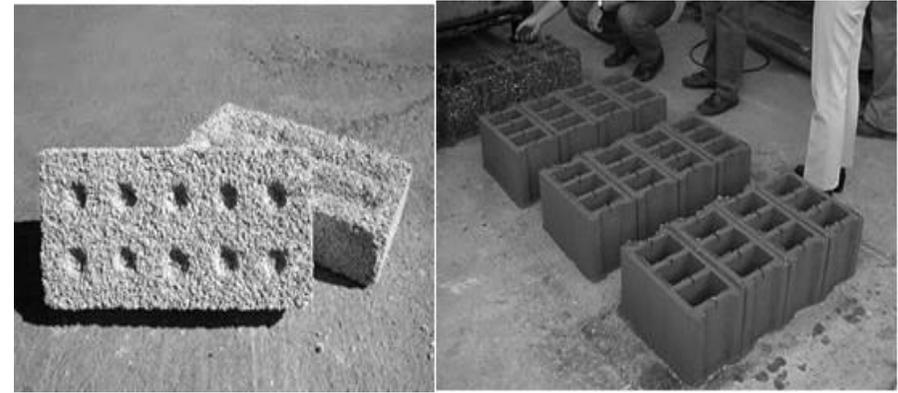


Fuente: (Reyes, 2013).

b. Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción

En la ciudad de Córdoba-Argentina se desarrolla una nueva tecnología sustentable, pues se utiliza el plástico como materia prima, que luego se mezcla con cemento portland, con el propósito de sustituir los áridos comunes por polímeros triturados. Esta tecnología se ha perfeccionado de tal modo que los elementos constructivos han logrado ser mucho más livianos con respecto a los tradicionales, un buen aislamiento térmico y una resistencia mecánica adecuada conforme indica la normativa.

Imagen 2.2.4. 2 Ladrillos desarrollados por el CEVE.



Fuente: (Reyes, 2013).

c. Construcción con botellas.

Esta alternativa para la construcción de viviendas surgió en los primeros años del siglo XXI en Honduras, posteriormente países como Brasil, Bolivia, Argentina y Colombia optaron por la aplicación de este sistema. Según los promotores de esta iniciativa sugieren que la población debe dejar de catalogar a los plásticos como objetos de un solo uso e inservibles y promover la aplicación de los polímeros en la construcción de viviendas, pues los costos de inversión con este sistema son menores con respecto a los tradicionales (Reyes, 2013).

Andreas Froese, de origen alemán, ideó la técnica para construir con plástico. Menciona que las botellas PET tienen mayor vida útil que un bloque de concreto común, y pueden durar hasta 300 años en descomponerse, incluso mucho más que el empleado para unirlos. Se necesitan alrededor de unas 8000 botellas plásticas para la construcción de una vivienda ecológica (Reyes, 2013).

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Imagen 2.2.4. 3 Construcción hecha por Andreas Froese.



Fuente: (Reyes, 2013).

En Nigeria en la región de la villa de Sabon Yelwa, se construyó una casa de dos habitaciones, con alrededor de 14 mil botellas. Su estructura está conformada únicamente por botellas de plástico rellenas con arena, con un peso aproximado de 3 kg, cada una. Como aglutinante para su ensamble se utilizó una mezcla de barro y cemento, además de una compleja red de cuerdas como soporte adicional que refuerza la estructura. Las ventajas que ofrece este sistema constructivo son: Resistencia al fuego, balas y terremotos y una excelente aislación térmica, pues su interior mantiene una temperatura constante de 18 °C (Reyes, 2013).

Imagen 2.2.4. 4 Vivienda construida con botellas de plástico.



Fuente: (Reyes, 2013).

En Taiwán se construyó un edificio con 1.5 millones de botellas de plástico PET, se lo conoce con el nombre de EcoArq, y fue diseñado con el propósito de crear conciencia sobre la importancia del reciclaje. La estructura de 130 metros de largo puede ser desmontada y vuelta a montar, consta de 3 pisos de altura, que alberga un anfiteatro, una sala de exposiciones y una pantalla de agua lluvia usada como acondicionador de aire. Su estructura es lo suficiente mente resistente a tifones y terremoto (Franco, 2013).



Imagen 2.2.4. 5 EcoArk en Taiwán.



Fuente: (Franco, 2013)

2.2.5 INDICADORES DE RECICLAJE A NIVEL LOCAL

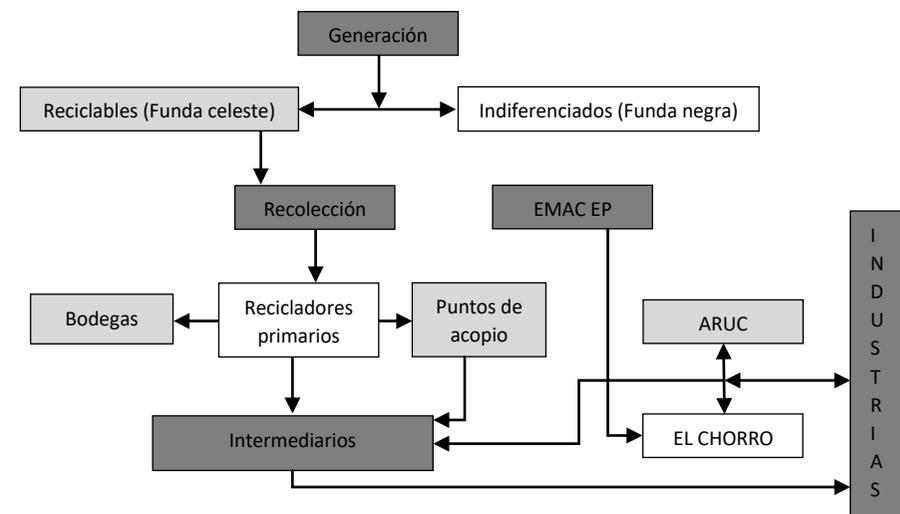
En la ciudad de Cuenca la Empresa Municipal de Aseo de Calles EMAC EP fue creada en 1998, es la entidad responsable de:

- Barrido y limpieza.
- Manejo de escombros.
- Manejo de la fauna silvestre.
- Recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos.
- Administración y mantenimiento de áreas verdes.

- Reciclaje y producción de compost humus.

Según los datos proporcionados por la EMAC EP se recolectan en promedio 160 ton/mes. De residuos inorgánicos, los cuales el 90 % proviene de recicladores primarios (Angumba Aguilar, 2016). El siguiente diagrama muestra la situación actual del reciclaje en la ciudad de Cuenca.

Diagrama 2.2.5. 1 Situación actual del reciclaje en Cuenca.



Fuente: EMAC EP. Elaboración: Fernando Cabrera.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

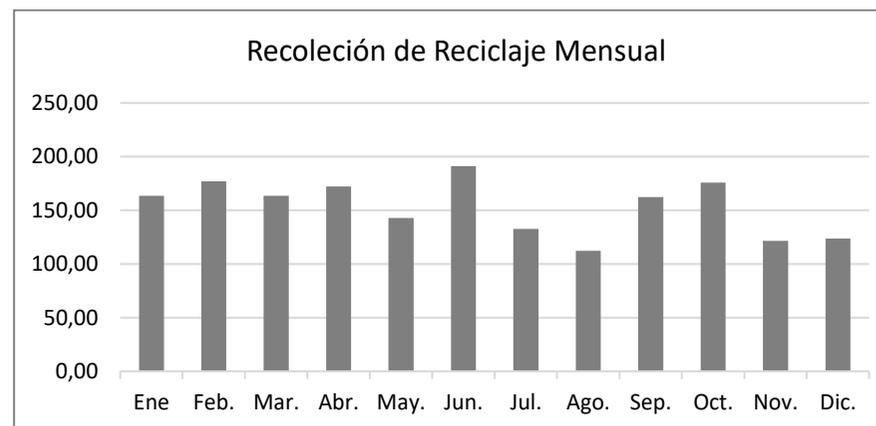
En la ciudad la ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos sólidos en el cantón Cuenca es la siguiente: "Es obligación de los ciudadanos clasificar los desechos para favorecer las actividades de reducción, recolección, tratamiento, reutilización y reciclaje de los residuos sólidos". Es decir que todos los ciudadanos están obligados a almacenar y desechar diferenciadamente los residuos sólidos, por lo que los residuos sólidos reciclables deben ser almacenados en fundas azules y en fundas negras los desechos orgánicos. Asimismo la EMAC EP establece horarios de recolección, los mismos que deben cumplirse, puesto que la EMAC impondrá multas entre 10 y 100 dólares por el incumplimiento de la Ordenanza Municipal Vigente (EMAC EP, 2020).

El objetivo de la EMAC EP es recuperar los residuos sólidos inorgánicos, con el fin de contribuir a la maximización de la vida útil del Relleno Sanitario. Fomentar una visión social y humana de los recicladores y disminuir el impacto ambiental mediante la concientización y sensibilidad ciudadana (EMAC EP, 2020).

EMAC EP cuenta con indicadores de reciclaje con datos mensuales y promedios anuales. Debido al confinamiento provocado por la pandemia de la COVID-19, el recaudo de información del año 2020 no pudo realizarse, por lo que la EMAC cuenta con información únicamente hasta el año 2019. Es evidente que en la Tabla 2.2.4.1 la generación de desechos inorgánicos incrementa anualmente, pero en el año 2018 y 2019 refleja un aumento significativo con respecto a los años anteriores.

En el año 2019 según los datos de la EMAC EP se recolectaron 123,58 Ton de residuos inorgánicos y de estos el 59,30 % se lo cataloga como al material aprovechable. Del total recolectado el 19,32 % (23,88 Ton) corresponde al plástico blando y rígido.

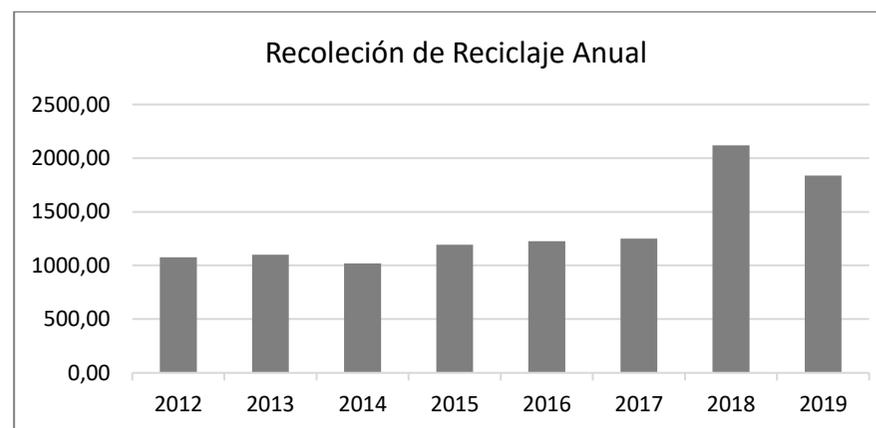
Gráfico 2.2.5. 1 Indicadores de reciclaje mensual de la ciudad de Cuenca, año 2019.



Fuente: EMAC EP.

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa:

Gráfico 2.2.5. 2 Indicadores de reciclaje anual de la ciudad de Cuenca, 2012-2019.



Fuente: EMAC EP.

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa



Tabla 2.2.5. 1 Indicadores de reciclaje anual de la ciudad de Cuenca.

| AÑO | Ene | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | TOTAL | PROMEDIO MENSUAL |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|------------------|
| META | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 1920,00 | 160,00 |
| 2012 | 113,01 | 91,44 | 136,57 | 123,66 | 114,59 | 90,60 | 82,85 | 82,15 | 95,85 | 58,09 | 54,20 | 33,88 | 1076,89 | 89,74 |
| 2013 | 84,69 | 70,37 | 105,62 | 79,37 | 105,14 | 103,16 | 96,54 | 98,62 | 92,35 | 92,53 | 89,30 | 82,50 | 1100,19 | 91,68 |
| 2014 | 76,20 | 86,00 | 74,07 | 87,00 | 94,51 | 87,80 | 118,05 | 63,95 | 69,47 | 84,75 | 86,46 | 92,48 | 1020,74 | 85,06 |
| 2015 | 104,59 | 108,08 | 103,50 | 90,17 | 92,38 | 94,84 | 119,04 | 96,00 | 115,35 | 95,90 | 78,10 | 95,88 | 1193,83 | 99,49 |
| 2016 | 85,85 | 96,06 | 102,20 | 126,73 | 118,71 | 108,44 | 86,11 | 76,98 | 111,60 | 94,32 | 100,43 | 119,28 | 1226,71 | 102,23 |
| 2017 | 105,14 | 104,22 | 92,71 | 114,25 | 139,17 | 114,98 | 102,30 | 116,74 | 125,09 | 100,39 | 111,50 | 134,15 | 1360,64 | 113,39 |
| 2018 | 122,68 | 126,06 | 119,19 | 130,73 | 144,08 | 119,67 | 197,48 | 252,39 | 263,55 | 245,96 | 199,68 | 196,87 | 2118,34 | 176,53 |
| 2019 | 163,66 | 176,96 | 163,66 | 172,31 | 142,79 | 191,06 | 132,64 | 112,19 | 162,29 | 175,82 | 121,59 | 123,58 | 1838,54 | 153,21 |

Fuente: EMAC EP.

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Tabla 2.2.5. 2 Mecanismo de recolección, recicladores.

| MECANISMO DE RECOLECCIÓN | TOTAL DE MATERIAL RECICLABLE | Papel | Cartón | Plástico blando | Plástico rígido | Vidrio | Metales | Tetrapack | RAEE | Otros | Total de material aprovechado | % de Total Aprovechado |
|--|------------------------------|-------|--------|-----------------|-----------------|--------|---------|-----------|-------|-------|-------------------------------|------------------------|
| PORCENTAJE (%) Caracterización de residuos de la fundación celeste | ---- | 4,50% | 5,58% | 1,11% | 4,35% | 5,59% | 1,89% | 1,32% | 0,00% | 0,00% | 24,34% | ---- |
| CR's (ARUC) | 36,66 | 1,65 | 2,05 | 0,41 | 1,59 | 2,05 | 0,69 | 0,48 | 0,00 | 0,00 | 8,92 | 11,85% |
| Recolector de Doble Tolva y Camiones Contratados (Chorra) | 27,17 | 1,22 | 1,52 | 0,30 | 1,18 | 1,52 | 0,51 | 0,36 | 0,00 | 0,00 | 6,61 | 8,78% |
| Donaciones en el cantón | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00% |
| Punto Limpio | 1,09 | 0,24 | 0,13 | 0,17 | 0,00 | 0,23 | 0,02 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 1,09 | 1,45% |
| Reciclaje a pie de vereda | 58,66 | 11,78 | 45,63 | 17,13 | 3,11 | 7,81 | 12,77 | 3,84 | 1,54 | 3,35 | 58,66 | 77,92% |
| Total | 123,58 | 14,89 | 49,32 | 18,00 | 5,88 | 11,60 | 13,99 | 4,69 | 1,85 | 3,35 | 75,29 | 100,00% |

Fuente: EMAC EP.

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

CAPÍTULO 03

3. BLOQUES DE MORTERO CON POLÍMEROS PET



CAPÍTULO III: BLOQUES DE MORTERO CON POLÍMEROS PET.

3.1 ENSAYOS DE LABORATORIO DE MATERIA PRIMA

El contenido de los objetivos específicos incluye la elaboración de ensayos de laboratorio de la materia prima, que se utilizará para elaborar los bloques a base de mortero y polímeros PET. Por tal motivo a continuación se describen los procesos de los diferentes ensayos que se realizaron en el Laboratorio de Aplicaciones constructivas y Bioclimática de la Universidad de Cuenca.

Es importante mencionar que en el país no existe una normativa que vinculen los diferentes ensayos y experimentos que se realizarán en el laboratorio, con elementos constructivos de este tipo, por lo que se adaptaron para lograr una mayor aproximación a la realidad; utilizando bibliografías similares que hayan experimentado con elementos que se utilizarán como materia prima en el presente trabajo de investigación y que posean resultados favorables en sus investigaciones.

De este modo se procedió a la adquisición de la materia prima que será utilizada en la elaboración de los bloques. En primera instancia y para tener un acercamiento y conocimiento en cuanto al tema del reciclaje y como se maneja en la ciudad de Cuenca se visitaron varios puntos de recolección o centros de acopio de R.S.U. (Residuos Sólidos Urbanos), especialmente lugares que se dediquen al reciclaje del plástico. En varios de estos indicaron que, únicamente se dedicaban a la recolección, limpieza, lavado y empaquetado de los desechos plásticos, que posterior a ello, eran enviados a la ciudad de Guayaquil para su respectivo

procesamiento y ser transformarlos en materia prima para la elaboración de nuevos productos.

Debido a las restricciones impuestas por el Gobierno Nacional del Ecuador a causa de la Covid-19, el proceso de reciclaje de la materia prima no pudo realizarse de manera normal y este proceso tuvo que modificarse y adaptarse a la fecha en la que se está realizando esta investigación.

Por lo tanto, mediante la colaboración del Técnico de Reciclaje de la EMAC EP, el Ing. Juan Pablo Vega, se pudo tomar contacto con el Gerente de Alplast Ing. Iván Álvarez, una empresa dedicada al reciclaje y elaboración de nuevos productos poliméricos, colaboró con elementos reciclados y maquinaria para la obtención de los gránulos de PET, los mismo que servirán de materia prima para la elaboración de los bloques.

Según la entrevista realizada al gerente de Alplast, la cultura del reciclaje ha crecido en los últimos años a tal punto que en la ciudad de Cuenca el precio del PET fluctúa entre los 0.10 – 0.50 centavos de dólar por kilo. Esto favorece a la conservación del medio ambiente, debido al incremento del reciclaje de R.S.U. De igual manera coadyuva al mejorar la calidad de vida de varias familias que se dedican a esta actividad, mejorando sus ingresos económicos.

Por esta razón es necesario que a futuro se planteen nuevas investigaciones, que propongan la industrialización de estos procesos. Es decir que partan desde el reciclaje hasta la elaboración de bloques con polímeros, que serían una buena alternativa para el sector de la construcción mediante el uso de estos elementos, mejor calidad de vida de la ciudad y sobre todo la conservación del medio ambiente.

3.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO.

El agregado fino en este caso arena se adquirió en los depósitos de Rookaazul, la misma que procede del Río Paute y Río Jubones.

Para la elaboración del bloque el agregado fino debe cumplir lo establecido en la NTE INEN 696, norma que establece métodos de ensayo para determinar la distribución granulométrica de los agregados finos y gruesos.

Según lo procesos para la elaboración de este ensayo se tomó una muestra de 300 g de agregado, la cual previamente fue colocada en un horno de secado a una temperatura de 100 °C +/- 5 °C durante 24 h.

Imagen 3.1.1. 1 Muestra árido fino, arena.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Luego se colocó la muestra dentro de los tamices normalizados conforme a la norma. Según los resultados obtenidos mediante este ensayo, el módulo de finura de la arena es de 2.75, el cual se encuentra dentro del rango establecido por la norma $2.3 < MF < 3.1$, ver Tabla (3.1.1.1).

Imagen 3.1.1. 2 Proceso de tamizado del agregado fino, arena.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

El módulo de finura se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ de los pesos acumulados en los tamices}}{100}$$

$$Mf = 2.75$$

Tabla 3.1.1. 1 Tabla granulométrica del agregado fino, arena.

| TAMICES | PESO TAMIZ | PESO TAMIZ MUESTRA | PESO RETENIDO | % PESO RETENIDO | % PESO ACUMULADO | % PESO PASADO | REQUISITO % PASA |
|---------|------------|--------------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|------------------|
| 3/8" | 519,6 | 519,6 | 0 | 0 | 0 | 100,00 | 100 |
| N° 4 | 489 | 489,4 | 0,4 | 0,13 | 0,13 | 99,87 | 95 a 100 |
| N° 8 | 480,9 | 496,6 | 15,7 | 5,22 | 5,36 | 94,64 | 80 a 100 |
| N° 16 | 401,2 | 454,2 | 53 | 17,63 | 22,99 | 77,01 | 50 a 85 |
| N° 30 | 375,8 | 476,5 | 100,7 | 33,50 | 56,49 | 43,51 | 25 a 60 |
| N° 50 | 344,7 | 447,8 | 103,1 | 34,30 | 90,79 | 9,21 | 10 a 30 |
| N° 100 | 535,6 | 559,6 | 24 | 7,98 | 98,77 | 1,23 | 2 a 10 |
| C | 501,1 | 504,8 | 3,7 | 1,23 | | | |
| | | TOTAL | 300,6 | MF= | 2,75 | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Gráfico 3.1.1. 1 Curva granulométrica del agregado fino, arena.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Asimismo, se realizó el ensayo granulométrico del polvo de piedra volcánica, materia prima utilizada en la elaboración de bloques de pómez. Los ensayos de la NTE INEN 696 no aplican para agregados finos de peso ligero, por lo que se adaptaron estos métodos para cumplir con los objetivos del trabajo de titulación, puesto que en base a la bibliografía consultada aplican esta normativa y tomando como referencia la ACI 211.2-98, misma que contiene métodos de ensayo para agregados livianos.

El proceso de elaboración del ensayo granulométrico para el agregado fino de peso ligero (polvo de pómez) es el que se siguió para el ensayo granulométrico de la arena, con la diferencia de que la muestra de ensayo es de 500 g. Según los resultados obtenidos mediante este ensayo, el módulo de finura de la arena es de 2.75, el cual se encuentra dentro del rango establecido por la norma $2.3 < MF < 3.1$, ver Tabla (3.1.1.2).

Imagen 3.1.1. 3 Muestra de ensayo del agregado fino, polvo.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

Tabla 3.1.1. 2 Tabla granulométrica del agregado fino, polvo.

| TAMICES | PESO TAMIZ | PESO TAMIZ MUESTRA | PESO RETENIDO | % PESO RETENIDO | % PESO ACUMULADO | % PESO PASADO | REQUISITO % PASA |
|---------|------------|--------------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|------------------|
| Nº 4 | 489,2 | 496,7 | 7,5 | 1,51 | 1,51 | 98,49 | 100 |
| Nº 8 | 481 | 525,6 | 44,6 | 8,96 | 10,46 | 89,54 | 95 a 100 |
| Nº 16 | 401,1 | 456,7 | 55,6 | 11,16 | 21,63 | 78,37 | 80 a 100 |
| Nº 30 | 375,8 | 429,7 | 53,9 | 10,82 | 32,45 | 67,55 | 50 a 85 |
| Nº 50 | 344,7 | 396,2 | 51,5 | 10,34 | 42,79 | 57,21 | 25 a 60 |
| Nº 100 | 535,6 | 582,7 | 47,1 | 9,46 | 52,25 | 47,75 | 10 a 30 |
| Nº 200 | 333 | 417,3 | 84,3 | 16,93 | 69,18 | 30,82 | 2 a 10 |
| C | 501,1 | 654,6 | 153,5 | 30,82 | 100,00 | | |
| | | TOTAL | 498 | MF= | 2,30 | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

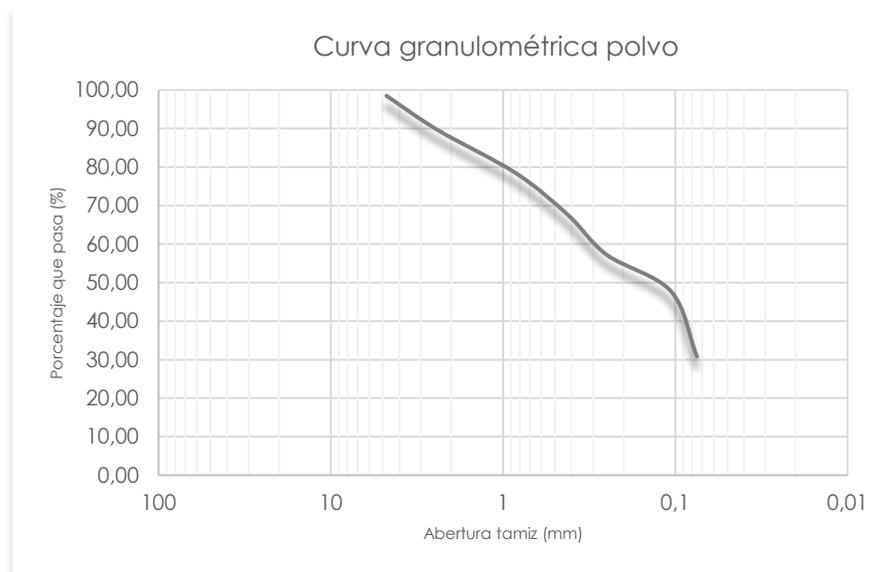
El módulo de finura se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ de los pesos acumulados en los tamices}}{100}$$

$$Mf = 2.30$$

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Gráfico 3.1.1. 2 Curva granulométrica del agregado fino, polvo.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa

3.1.2 MÉTODO DE ENSAYO PARA LA HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO FINO.

El método de ensayo establecido por la NTE INEN 862 determina el porcentaje de humedad evaporable y corresponde a la humedad superficial, como la que le aloja en los poros (NTE INEN 862, 2011). De este modo se colocó una muestra de árido fino, en este caso arena, 500 gr dentro de un horno ventilado a una temperatura de 100 °C +/- 5 °C durante 24 h. Posteriormente con la ayuda de una balanza digital con sensibilidad de 0.1 % se determinó la masa de la muestra seca. El contenido de humedad evaporable se calculó de la siguiente manera.

$$P_{hum} = \frac{100 * (W - D)}{D}$$

Donde:

- P= contenido total de humedad evaporable de la muestra, porcentaje,
- W= masa de la muestra original, g, y
- D= masa de la muestra seca, g.

$$P_{hum} = \frac{100 * (500 - 459.9)}{459.9}$$

$$P_{hum} = 8.75 \%$$

De igual manera se aplicó el método de ensayo establecido por la NTE INEN 862, para el agregado fino de peso ligero (polvo de pómez). Se colocó 500 gr de muestra en un horno ventilado a una temperatura de 100 °C +/- 5 °C durante 24 h. Posteriormente se determinó la masa de la muestra en estado seco. El contenido de humedad evaporable se calculó de la siguiente manera.

$$P_{hum} = \frac{100 * (W - D)}{D}$$

Donde:

- P= contenido total de humedad evaporable de la muestra, porcentaje,
- W= masa de la muestra original, g, y
- D= masa de la muestra seca, g.

$$P_{hum} = \frac{100 * (500 - 450.6)}{450.6}$$

$$P_{hum} = 10.96 \%$$

3.1.3 MÉTODO DE PRUEBA PARA EL EFECTO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS DEL AGREGADO FINO.

Mediante este ensayo se determinó la presencia de impurezas orgánicas que contiene el agregado fino. La muestra de ensayo debe ser seleccionada según lo establecido en la NTE INEN 695.

Según el procedimiento de la NTE INEN 855, se colocó una muestra de árido en una botella hasta llegar al nivel equivalente a 130 cm³. Y posteriormente se añadió agua con solución de hidróxido de sodio, hasta que el volumen del árido y el líquido alcanzaron los 200 cm³.

Para determinar la presencia de impurezas orgánicas en el árido fino (arena) se utilizó un comparador de color normalizado, escala de Garder. El color que arrojó la muestra de ensayo fue menor que el rango mínimo permitido (N° 5), es decir, el árido se encuentra en

condiciones óptimas y puede ser utilizado en el proceso de elaboración del bloque, ver imagen (3.1.3.1)

Imagen 3.1.3. 1 Determinación de presencia de impurezas del agregado fino, arena, mediante comparador de color, Escala de Garder.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

La aplicación del ensayo para el árido fino de peso ligero (polvo de pómez), se realizó siguiendo el mismo procedimiento que establece la norma NTE INEN 855. De igual manera se colocó una muestra de ensayo en un contenedor de vidrio hasta un nivel de 130 cm³, y luego la solución de hidróxido de sodio disuelta en agua, hasta alcanzar los 200 cm³.

La presencia de impurezas orgánicas se midió con el comparador de color normalizado, escala de Garder. El resultado que arrojó la muestra de ensayo fue menor que el rango mínimo permitido por la norma (N° 5), ver imagen (3.1.3.2).

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Imagen 3.1.3. 2 Determinación de presencia de impurezas del agregado fino, polvo, mediante comparador de color, Escala de Garder.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

3.1.4 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO.

Mediante la aplicación del método de ensayo establecido en la NTE INEN 856, se determinó el porcentaje de absorción, densidad relativa SH, densidad relativa S.S.S y densidad relativa aparente del árido fino (arena).

La preparación de la muestra de ensayo inicia sumergiendo 1 kg de árido en agua durante 24 h, posteriormente es necesario decantar el exceso de agua, precautelando la pérdida de las partículas finas, someter a la mezcla a una corriente suave de aire caliente hasta conseguir la condición Saturada Superficialmente (S.S.S). La

condición S.S.S servirá para la aplicación en los cálculos de las diferentes densidades y porcentaje de absorción del árido.

Imagen 3.1.4. 1 Preparación de la muestra de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino, arena.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

Para verificar la condición S.S.S, se colocó la muestra de árido dentro de un molde cónico y se aplicó lo establecido en la NTE INEN 856. Finalmente, la muestra se desmoronó ligeramente cumpliendo dicha condición.

Imagen 3.1.4. 2 Determinación de la condición S.S.S. del agregado fino, arena.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

Para el cálculo de densidades se aplicó el procedimiento gravimétrico, en cual consta de las siguientes aplicaciones:

- Pesar el picnómetro con agua hasta la marca de calibración.
- Tomar una muestra de 500 g de árido en condición S.S.S.
- Introducir la muestra de árido en condición S.S.S. en el picnómetro y agregar agua hasta el 90 % de su capacidad.
- Remover el aire atrapado mediante un agitador o vibración externa, de tal forma que no degrade la muestra.
- Ajustar la muestra del picnómetro y su contenido a una temperatura de 23,0 °C.

- Pesar el picnómetro con la muestra de árido y agua.
- Colocar la muestra en un contenedor e introducirla en un horno de secado durante 24 h a una temperatura de 100 °C +/- 5 °C, y por último pesar la muestra de árido seco (NTE INEN 856, 2006).

Una vez concluida la aplicación del método de ensayo y con los datos recopilados en el mismo, los resultados de las densidades y el porcentaje de absorción de la arena, son los siguientes:

- Densidad Relativa Secada al Horno (SH)

$$\text{Densidad SH} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Densidad SH} = \frac{481.4}{652.6 + 483.2 - 975.9}$$

$$P_{hum} = 3.01 \text{ g/cm}^3$$

- Densidad Relativa Superficialmente Seca (S.S.S)

$$\text{Densidad S.S.S} = \frac{S}{B + S - C}$$



$$Densidad\ S.S.S = \frac{483.2}{652.6 + 483.2 - 975.9}$$

$$Absorción = 0.37 \%$$

$$Densidad\ S.S.S = 3.02\ g/cm^3$$

- Porcentaje de Absorción Polvo %

$$Absorción = \frac{S - A}{A} * 100$$

- Densidad Relativa Aparente

$$Densidad\ Relativa\ Aparente = \frac{A}{B + A - C}$$

$$Absorción = \frac{497 - 450.6}{450.6} * 100$$

$$Densidad\ Relativa\ Aparente = \frac{481.4}{652.6 + 481.4 - 975.9}$$

$$Absorción = 10.3 \%$$

$$Densidad\ Relativa\ Aparente = 3.04\ g/cm^3$$

- Porcentaje de Absorción Arena %

$$Absorción = \frac{S - A}{A} * 100$$

$$Absorción = \frac{483.2 - 481.4}{481.4} * 100$$

3.1.5 DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) DEL ÁRIDO FINO.

Mediante la aplicación del método de ensayo de la NTE INEN 858, se calculó el peso volumétrico del árido fino (arena). La muestra de ensayo fue secada previamente en un horno ventilado a 100 °C +/- 5 °C, hasta lograr una masa constante.

Para el cálculo de dosificaciones es necesario únicamente el peso volumétrico de la muestra suelta. Esto consiste en llenar el contenedor con la muestra de árido hasta rebosar y determinar la masa del contenedor con la muestra de ensayo, asimismo, es necesario calcular la masa del contenedor vacío y su volumen.

El peso volumétrico se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) arena} = \frac{G - T}{V}$$

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) arena} = \frac{2743.4 - 160.9}{1775.098}$$

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) arena} = 1.45 \text{ g/cm}^3$$

Imagen 3.1.5. 1 Determinación peso volumétrico suelto del árido fino, arena.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

El peso volumétrico del polvo de pómez se calculó aplicó el método de ensayo descrito en la NTE INEN 858, que igualmente es necesario colocar la muestra de ensayo en un contenedor, previo a esto se determinó su masa y volumen.

Imagen 3.1.5. 2 Determinación peso volumétrico suelto del árido fino, polvo.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) polvo} = \frac{G - T}{V}$$

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) polvo} = \frac{1645.2 - 109.0}{1775.098}$$

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) polvo} = 0.865 \text{ g/cm}^3$$

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

3.1.6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

La NTE INEN 696 establece un método de ensayo para agregados del hormigón, en este caso para el agregado grueso. Esta metodología rige para los elementos únicamente de peso normal. Por tal motivo se consultó bibliografía que utilice ensayos que puedan aplicarse en muestras de ensayo de agregados gruesos de peso ligero.

Según la bibliografía consultada, es necesario una muestra de ensayo de 2830 cm³ o una cantidad mayor que la utilizada para determinar la densidad aparente. Según los resultados obtenidos mediante este ensayo, el módulo de finura del agregado grueso es de 2.23, ver tabla (3.1.6.1).

Tabla 3.1.6. 1 Tabla granulométrica del agregado grueso, PET.

| TAMICES | PESO TAMIZ | PESO RETENIDO | % PESO RETENIDO | % PESO ACUMULADO | % PESO PASADO | REQUISITO % PASA |
|---------|------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|------------------|
| 1" | 534,1 | 7,2 | 0,31 | 0,31 | 99,69 | 100 |
| 3/4" | 538,1 | 64,5 | 2,76 | 3,07 | 96,93 | 90 a 100 |
| 1/2" | 522,3 | 337,2 | 14,43 | 17,50 | 82,50 | -- |
| 3/8" | 519,6 | 294,1 | 12,59 | 30,08 | 69,92 | 10 a 55 |
| N° 4 | 489,1 | 1047 | 44,80 | 74,89 | 25,11 | 0 a 15 |
| N° 8 | 481 | 528,21 | 22,60 | 97,49 | 2,51 | 0 a 5 |
| C | 362,1 | 58,69 | 2,51 | | | |
| | TOTAL | 2336,9 | MF= | 2,23 | | |

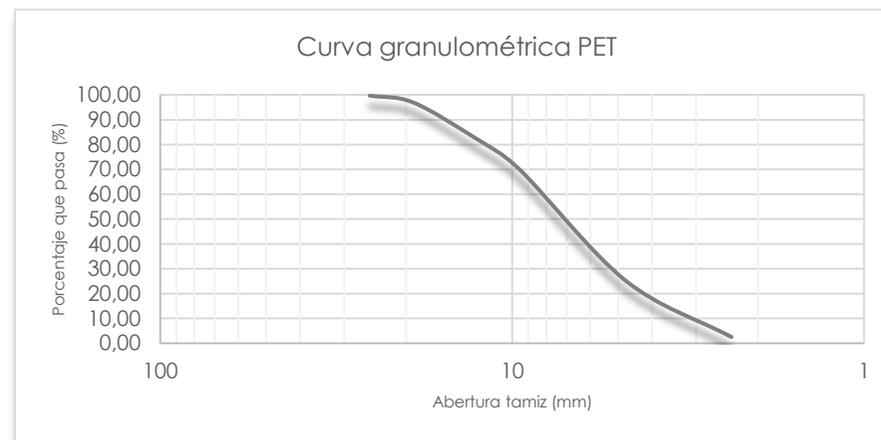
Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

El módulo de finura se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ de los pesos acumulados en los tamices}}{100}$$

$$Mf = 2.23$$

Gráfico 3.1.6. 1 Curva granulométrica del agregado grueso, PET.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 3.1.6. 1 Proceso de tamizado del agregado grueso, PET.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

3.1.7 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO.

Para determinar la densidad, densidad relativa y porcentaje de absorción del árido grueso, se aplicó el método de ensayo descrito en la NTE INEN 857. Esta normativa no es aplicable para los agregados livianos. Por tal motivo y según la bibliografía consultada, se combinaron los métodos de ensayo que establecen la ACI 211.2-98 y la NTE INEN 857, los mismos que sirvieron para el cálculo de las densidades y porcentaje de absorción.

La aplicación de estos métodos parte de seleccionar la muestra de ensayo para luego ser sumergida en agua durante 24h. Es importante cubrir la muestra de ensayo para que quede totalmente sumergida, debido a que este material flota con facilidad, procurando así que toda la muestra quede totalmente sumergida.

Imagen 3.1.7. 1 Muestra de ensayo, árido grueso, PET.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

Posteriormente se colocó la muestra de ensayo sobre un paño absorbente, con la finalidad de retirar toda el agua visible y conseguir que la muestra obtenga la condición S.S.S., luego se determinó la masa de la muestra del árido.

Asimismo, se tomó la muestra de árido, se colocó en un recipiente y este se sumergió en agua a 23 ° C. Luego se calculó la masa de la muestra sumergida en agua. Finalmente se colocó la muestra de ensayo en un horno a una temperatura de 100 °C +/- 5 °C, hasta conseguir una masa constante.

Imagen 3.1.7. 2 Preparación de la muestra, condición S.S.S.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.



Una vez concluida la aplicación del método de ensayo y con los datos recopilados en el mismo, los resultados de las densidades y el porcentaje de absorción son los siguientes:

- Porcentaje de absorción

$$\text{Absorción \%} = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{1015 - 986.3}{986.3} * 100$$

$$\text{Absorción \%} = 0.03 \%$$

- Densidad relativa secada al horno

$$\text{Densidad relativa SH} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Densidad relativa SH} = \frac{1000}{1015.0 - 1868.5}$$

$$\text{Densidad relativa SH} = -1.15 \text{ g/cm}^3$$

- Densidad relativa S.S.S.

$$\text{Densidad relativa S.S.S.} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Densidad relativa SH} = \frac{1015.0}{1015.0 - 1868.5}$$

$$\text{Densidad relativa SH} = -1.18 \text{ g/cm}^3$$

- Densidad relativa aparente SH

$$\text{Densidad relativa aparente SH} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Densidad relativa aparente SH} = \frac{1000}{1000 - 1868.5}$$

$$\text{Densidad relativa aparente SH} = -1.15 \text{ g/cm}^3$$

3.1.8 DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) DEL ÁRIDO GRUESO.

Mediante la aplicación del método de ensayo de la NTE INEN 858, se calculó el peso volumétrico del árido grueso (PET). La muestra de ensayo fue secada previamente en un horno ventilado a 100 °C +/- 5 °C, hasta lograr una masa constante.

Para el cálculo de dosificaciones es necesario únicamente el peso volumétrico de la muestra suelta. Esto consiste en llenar el contenedor con la muestra de árido hasta rebosar y determinar la masa del contenedor con la muestra de ensayo, asimismo, es necesario calcular la masa del contenedor vacío y su volumen. La muestra de ensayo de agregado grueso que se seleccionó para el cálculo de la masa unitaria fue todo aquel elemento que pasó el tamiz de 3/8".

El peso volumétrico se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) PET fino} = \frac{G - T}{V}$$

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) PET fino} = \frac{986.6 - 160.9}{1775.098}$$

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) PET fino} = 0.466 \text{ g/cm}^3$$

El peso volumétrico se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) PET grueso} = \frac{G - T}{V}$$

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) PET grueso} = \frac{758.4 - 160.9}{1775.098}$$

$$\text{Masa Unitaria (peso volumétrico) PET grueso} = 0.336 \text{ g/cm}^3$$

Imagen 3.1.8. 1 Muestra de ensayo de árido grueso, PET.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.



3.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BLOQUE DE MORTERO CON POLÍMERO PET.

3.2.1 DOSIFICACIÓN 1:0.5:1. APLICANDO ARENA COMO AGREGADO FINO Y POLÍMERO AL 100 % COMO AGREGADO GRUESO.

Concluidos los ensayos en laboratorio en donde se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los agregados se procedió a encontrar la dosificación para la elaboración de los bloques. En primera instancia, mediante las bases bibliográficas se aplicó la metodología de la ACI 211.2, la cual describe los procesos para dosificar hormigones livianos. Estos procedimientos son utilizados por (Santacruz & Velasteguí, 2018) en su tesis "Determinación de dosificación para elaborar bloques huecos de hormigón que cumplan con la actual norma INEN 3066".

El primer procedimiento describe los pasos para dosificar hormigones livianos cuando el agregado grueso es liviano y el agregado fino tiene peso normal. El segundo describe los pasos cuando los dos agregados o solo el agregado fino tienen peso normal (Santacruz & Velasteguí, 2018).

Inicialmente se experimentó con la dosificación 1:0.5:1, es decir: 1 de chasqui fino, 0.5 de chasqui grueso y 1 de polvo, con un factor de cemento de 59.3 kg/m³ de agregado (Santacruz & Velasteguí, 2018). Aplicando esta dosificación en la presente investigación quedó: 1 de polímero fino, 0.5 de polímero grueso y 1 de arena. Teniendo en cuenta que el chaqui fino y el polímero fino tienen un máximo nominal de 3/8". Según (Santacruz & Velasteguí, 2018), esta dosificación es la que arrojó mejores resultados en los ensayos a compresión de los bloques, es decir cumplieron con la NTE INEN 3066.



De este modo y de acuerdo a las propiedades de los elementos determinadas en el apartado 3.1, se procedió al cálculo de materiales para la primera dosificación 1:0.5:1. Las cantidades que se utilizaron están previstas para la elaboración de 6 cilindros que servirán para las pruebas de resistencia y comprobar la efectividad de la dosificación.

La cantidad de cemento se calculó de acuerdo al factor cemento 59.3 kg de cemento por cada metro cúbico de agregado. La cantidad de agua para la mezcla según (Santacruz & Velasteguí, 2018) es de 245-260 l/m³ y su relación a/c es de 2.13. Esta relación agua/cemento fue obtenido de acuerdo a la utilizada en la fábrica de bloques, en la cual el operador estimaba la cantidad idónea para elaborar el bloque.

Debido a que el polímero y la arena cuentan con un porcentaje de absorción y contenido de humedad inferior a los utilizados en los bloques de pómez (chasqui y polvo de pómez), la cantidad de agua se calculó con una relación agua-cemento de 0.6

En la tabla 3.2.1.1 se muestra las cantidades de los materiales según la dosificación 1:0.5:1. Al momento de realizar la mezcla se evidenció una baja cohesión entre los agregados por lo que fue necesario modificar el factor cemento por metro cúbico de material, de igual manera al incrementar el factor cemento la relación a/c tuvo una variación de 0.6 a 0.5. Por lo tanto, en la tabla 3.2.1.2 se muestra la cantidad en volumen y peso de los agregados que se utilizaron en las muestras de la primera dosificación a ensayar.

Tabla 3.2.1. 1 Dosificación 1:0.5:1. Cilindros de 785.4 cm³.

| 6 cilindros de 785,4 cm ³ , c/u = 4712,4 cm ³ , con Polímero al 100 % | | | | | | |
|---|-------------------------|---------|---|----------|-------------------------|--------------|
| Material | Dosificación | Volumen | Masa unitaria suelta (g/cm ³) | Peso (g) | Agua (cm ³) | Relación A/C |
| Polímero Fino | 1 | 2999,55 | 0,466 | 1397,79 | 149,29 | 0,6 |
| Polímero Grueso | 0,5 | 1498,54 | 0,336 | 503,51 | | |
| Arena | 1 | 3006,00 | 1,45 | 4358,70 | | |
| Cemento | 59,31 kg/m ³ | -- | -- | 248,82 | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Tabla 3.2.1. 2 Corrección dosificación 1:0.5:1. Cilindros 785.4 cm³.

| 6 cilindros de 785,4 cm ³ , c/u = 4712,4 cm ³ , con Polímero al 100 % | | | | | | |
|---|-------------------------|---------|---|----------|-------------------------|--------------|
| Material | Dosificación | Volumen | Masa unitaria suelta (g/cm ³) | Peso (g) | Agua (cm ³) | Relación A/C |
| Polímero Fino | 1 | 2999,55 | 0,466 | 1397,79 | 375,00 | 0,50 |
| Polímero Grueso | 0,5 | 1498,54 | 0,336 | 503,51 | | |
| Arena | 1 | 3006,00 | 1,45 | 4358,70 | | |
| Cemento | 59,31 kg/m ³ | -- | -- | 746,46 | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

La aplicación de esta dosificación tiene que ver con el segundo procedimiento que describe la ACI 211.2 para la fabricación de hormigones livianos. Es decir, cuando los dos agregados o solo el agregado fino tienen peso normal. Este método es aplicable siempre y cuando los agregados que se utilicen en la fabricación de bloques sean de uso común, es decir, arena de río y polvo de pómez como agregado fino, y piedra pómez o Chasqui como agregado grueso.

Asimismo, el método uno de la ACI 211.2 para la fabricación de hormigones livianos según (Santacruz & Velasteguí, 2018), "al aplicar este procedimiento, los valores de resistencia que arrojó la dosificación fueron muy bajos con respecto a los diseñados, igualmente la cantidad de agua que se determinó era excesiva, por lo que se generaba una mezcla demasiado fluida y consecuentemente unos bloques con superficies irregulares". Por esta razón se decidió prescindir de este método para el cálculo de dosificaciones en el presente trabajo de investigación.

Imagen 3.2.1. 1 Elaboración de cilindros, prueba de dosificación 1:0.5:1.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Los resultados obtenidos de los ensayos a compresión realizados a los 7 y 28 días de las 6 muestras, imagen (3.2.1.1), arrojaron resultados que ya se preveían al momento de desencofrar los cilindros. Las muestras no presentaban una buena cohesión entre los agregados, esto se debe a que la dosificación ensayada contenía una cantidad reducida de cemento. Como se mencionó anteriormente dicha dosificación se tomó como referencia de la tesis "Determinación de dosificación para elaborar bloques huecos de hormigón que cumplan con la actual norma INEN 3066" de (Santacruz & Velasteguí, 2018). En esta se elaboraron bloques con agregados livianos como el Chasqui y el polvo de pómez, los cuales cuentan con características totalmente distintas a las utilizadas en la primera fase experimentación.

Según la tabla 3.2.1.3 las cargas que se aplicaron a las muestras de ensayo no tuvieron gran variación entre los 7 y 28 días después de la fundición. En estas el promedio de resistencias a la compresión de 3 cilindros a los 7 y 28 respectivamente es de apenas 4.89 kgf/cm² y 5.25 kgf/cm². En base a estos resultados la dosificación 1:0.5:1, que utiliza arena como agregado fino y polímero como agregado grueso no cumple con la resistencia a la compresión, establecida por la NTE INEN 643 y NTE INEN 638, que menciona lo siguiente: "Para paredes divisorias exteriores, con revestimiento y paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento, la resistencia a la compresión de los bloques de concreto debe ser de 2.5 Mpa." (NTE INEN 638, 2002). Asimismo, para paredes divisorias exteriores, sin revestimiento, la resistencia a la compresión de los bloques de concreto debe ser de 3.0 Mpa (NTE INEN 643, 1993). Por lo tanto, esta dosificación no es aplicable para los fines que sigue esta investigación.

Tabla 3.2.1. 3 Resultados de los ensayos a compresión.

| 6 cilindros de 785,4 cm ³ . polímero PET 100 %. | | | | | | Compresión | |
|--|-------------|---------------|-----------|-------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
| Bloque | Edad (días) | Diámetro (mm) | Alto (mm) | Carga (kgf) | Área neta (cm ²) | Bruta (kgf/cm ²) | Bruta (Mpa) |
| 1 | 7 | 100 | 200 | 349,9 | 78,54 | 4,46 | 0,45 |
| 2 | 7 | 100 | 200 | 387,5 | 78,54 | 4,93 | 0,49 |
| 3 | 7 | 100 | 200 | 415,2 | 78,54 | 5,29 | 0,53 |
| 4 | 28 | 100 | 200 | 409,1 | 78,54 | 5,21 | 0,52 |
| 5 | 28 | 100 | 200 | 541 | 78,54 | 6,89 | 0,69 |
| 6 | 28 | 100 | 200 | 287 | 78,54 | 3,65 | 0,37 |
| Promedio 7 días | | | | | | 4,89 | 0,49 |
| Promedio 28 días | | | | | | 5,25 | 0,53 |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 3.2.1. 2 Proceso ensayos de compresión.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 3.2.1. 3 Cilindro sometido a esfuerzo a compresión.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 3.2.1. 4 Cilindros dosificación 1:0.5:1.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

3.2.2 DOSIFICACIÓN 1:1.25:1, 154 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO. APLICANDO POLVO DE PÓMEZ COMO AGREGADO FINO Y POLÍMERO AL 100 % COMO AGREGADO GRUESO.

Una vez concluido el primer ensayo con la dosificación 1:05:1 del apartado 3.2.1, fue necesario visitar una fábrica que se especialice en la producción de bloques. En este caso se entrevistó al Gerente Propietario de "Fábrica Orellana" ubicada en el parque industrial. En esta fábrica utilizan la siguiente dosificación: Por un saco de cemento de 50kg es necesario 0.82 m³ de agregado, esto se divide en 0.50 m³ de chasqui o agregado grueso y 0.32 m³ de polvo. Asimismo, el fabricante utiliza una relación a/c = 1.9, es decir 95 litros de agua por un saco de cemento de 50 kg.

Tomando como referencia esta dosificación se procedió el cálculo de cantidades para los agregados y cemento. En el proceso de mezcla se evidenció que el agregado fino tendía a adherirse a las paredes del agregado grueso. Esto se debe a la irregularidad de las paredes del polímero, por tal motivo este material tiende a absorber mayor cantidad de agregado fino y cemento. Teniendo en cuenta dicha característica del agregado grueso se corrigió la cantidad de agregado fino, es decir aumentó un 75 % de polvo de pómez con respecto a lo calculado inicialmente.

Al incrementar el volumen de agregado fino fue necesario corregir la cantidad de cemento para la mezcla. La cantidad de agua que se agregó fue según las indicaciones del fabricante "Bloques Roca Dura" y "Macosa", por lo que se añadió hasta que la mezcla forme una pasta húmeda que se compacte al apretar con el puño. Dicha cantidad fue medida con una probeta para así obtener la relación a/c y el volumen de agua adecuado para los siguientes ensayos, ver tabla 3.2.2.1 y 3.2.2.2.

Tabla 3.2.2. 1 Dosificación 1:1:1.4, para bloques de 10 x 20 x 40 cm.

| Bloques de 10 x 40 x 20 cm, con Polímero al 100 % | | | | | | |
|---|--------------|----------------------------|--|----------|-------------------------|--------------|
| Material | Dosificación | Volumen (cm ³) | Masa unitaria suelta (gr/cm ³) | Peso (g) | Agua (cm ³) | Relación a/c |
| Polímero | 1,4 | 14552,04 | 0,466 | 6781,25 | 1334,63 | 1,83 |
| Polvo | 1 | 10356,25 | 0,865 | 8958,16 | | |
| Cemento | 50 kg | -- | -- | 729,15 | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 3.2.2. 1 Preparación de la mezcla y corrección de dosificación 1:1.24:1.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Tabla 3.2.2. 2 Corrección dosificación 1:1.25:1, para bloques de 10 x 20 x 40 cm.

| Bloques de 10 x 40 x 20 cm, con Polímero al 100 % | | | | | | |
|---|--------------|----------------------------|---|----------|-------------------------|--------------|
| Material | Dosificación | Volumen (cm ³) | Masa unitaria suelta (g/cm ³) | Peso (g) | Agua (cm ³) | Relación a/c |
| Polímero | 1 | 14552,04 | 0,466 | 6781,25 | 2334,6 | 1,42 |
| Polvo | 1,25 | 18123,45 | 0,865 | 15676,78 | | |
| Cemento | 50 kg | -- | -- | 1640,59 | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 3.2.2. 2 Bloque 10 x 20 x 40 cm. Dosificación 1:1.24:1.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

3.2.3 DOSIFICACIÓN 60 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO. APLICANDO POLVO DE PÓMEZ COMO AGREGADO FINO Y POLÍMERO AL 100 % COMO AGREGADO GRUESO.

Una vez ensayada la dosificación correcta de los agregados para la elaboración de los bloques, fue necesario corregir la cantidad de cemento para un volumen determinado de agregado y cumplir con la resistencia a la compresión según como lo establece la normativa.

Según entrevistas realizadas a diferentes fabricantes de bloques de la ciudad de Cuenca, mencionaron que, al fabricar bloques con materiales diferentes a los tradicionales o a su vez realizar una combinación entre ellos es necesario reducir la cantidad de volumen de agregado por saco de cemento. Esto con la finalidad de lograr la resistencia a la compresión sugerida por la norma. Finalmente, en este apartado se calculó la cantidad en volumen de agregado, para un rendimiento de 60 bloques por un saco de cemento de 50 kg.

Tabla 3.2.3. 1 Dosificación 1:1.25:1, para bloques de 10 x 20 x 40.

| Bloques de 10 x 40 x 20 cm, con Polímero al 100 % | | | | | | |
|---|--------------|----------------------------|--|----------|-------------------------|--------------|
| Material | Dosificación | Volumen (cm ³) | Masa unitaria suelta (gr/cm ³) | Peso (g) | Agua (cm ³) | Relación a/c |
| Polímero | 1 | 14552,04 | 0,466 | 6781,25 | 3733,35 | 0,90 |
| Polvo | 1,25 | 18123,45 | 0,865 | 15676,78 | | |
| Cemento | 50 kg | -- | -- | 4166,70 | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Imagen 3.2.3. 1 Fabricación del bloque de 10 x 20 x 40 cm.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 3.2.3. 2 Desencofrado del bloque de 10 x 20 x 40 cm. Dosificación 1:1.24:1 30 bloques por saco de cemento.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

3.2.4 DOSIFICACIÓN 30 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO. APLICANDO POLVO DE PÓMEZ COMO AGREGADO FINO Y POLÍMERO AL 100 % COMO AGREGADO GRUESO.

En esta dosificación se fabricaron 5 bloques de 10 x 20 x 40 cm. Esta consiste en agregar 50 kg de cemento por volumen de agregado suelto, es decir que la mezcla tendrá un rendimiento de 30 bloques por saco de cemento. Asimismo, la relación a/c utilizada en la dosificación del apartado 3.2.3 no es válida puesto que la mezcla final tiende a ser más fluida y no es posible el desencofrado y en consecuencia se generarían bloques deformes y con menor resistencia.

Por tal motivo se utilizó una probeta para medir la cantidad de agua adecuada para la mezcla. Se añadió el agua hasta lograr una pasta consistente similar a la de las dosificaciones anteriores. En consecuencia, la relación a/c adecuada para esta dosificación es de 0.49.

Tabla 3.2.4. 1 Dosificación 1:1.25:1, para bloques de 10 x 20 x 40 cm.

| Bloques de 10 x 40 x 20 cm, con Polímero al 100 % | | | | | | |
|---|--------------|----------------------------|--|----------|-------------------------|--------------|
| Material | Dosificación | Volumen (cm ³) | Masa unitaria suelta (gr/cm ³) | Peso (g) | Agua (cm ³) | Relación a/c |
| Polímero | 1 | 14552,04 | 0,466 | 6781,25 | 4062,5 | 0,49 |
| Polvo | 1,25 | 18123,45 | 0,865 | 15676,78 | | |
| Cemento | 50 kg | -- | -- | 8333,33 | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 3.2.4. 1 Fabricación bloque de 10 x 20 x 40



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 3.2.4. 2 Bloque de 10 x 20 x 40. Dosificación 1:1.25:1 30 bloques por saco de cemento.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

3.2.5 DOSIFICACIÓN 30 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO. APLICANDO POLVO DE PÓMEZ COMO AGREGADO FINO, CHASQUI AL 50% Y POLÍMERO AL 50 % COMO AGREGADO GRUESO.

Los elementos que se utilizan normalmente en la fabricación de bloques de pómez son: polvo de pómez, Chasqui (piedra pómez), cemento y agua. Por tal motivo fue necesario la elaboración de bloques, utilizando los agregados comunes, pero añadiendo un 50 % de polímero a la mezcla final.

En las dosificaciones anteriores se experimentó sustituyendo el Chasqui por el PET, añadiendo el 100 % de polímero. En este apartado se calculó la dosificación de los materiales con la finalidad de sustituir el Chasqui por el PET, pero únicamente en un 50 %. La dosificación resultante de los agregados para la fabricación de 6 bloques de muestra es la siguiente.

Tabla 3.2.5. 1 Dosificación 0.5:1:0.5:1, para bloques de 10 x 20 x 40 cm.

| 6 bloques de 10 x 40 x 20 cm, con polímero al 100 % | | | | | | | |
|---|--------------|----------------------------|---|----------|--------------------------------------|-------------------------|--------------|
| Material | Dosificación | Volumen (cm ³) | Masa unitaria suelta (g/cm ³) | Peso (g) | Volumen agregados (cm ³) | Agua (cm ³) | Relación a/c |
| Polímero | 0,50 | 8731,22 | 0,466 | 4068,75 | 39210,59 | 4875,0 | 0,49 |
| Polvo | 1,25 | 21748,14 | 0,865 | 18812,14 | | | |
| Chasqui | 0,50 | 8731,22 | 0,69 | 6016,83 | | | |
| Cemento | 50 kg | -- | -- | 10000,00 | | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.



3.2.6 RESUMEN DE DOSIFICACIONES

En el proceso de encontrar una dosificación ideal para la elaboración de bloques de mortero con polímeros PET y que cumplan con la actual norma vigente NTE INEN 3066, se revisaron distintas bases bibliográficas y entrevistas a diferentes fabricantes de bloques en la ciudad de Cuenca. En la bibliografía consultada los autores realizaron análisis con dosificaciones compartidas por fabricantes de la ciudad en la que radican (Quito), esto debido a que llegaron a la conclusión de que no existe una normativa o un procedimiento adecuado para el cálculo de materiales en la elaboración de bloques con agregados no comunes como la arena y el ripio. Es por eso que se valieron de la experticia de algunos fabricantes y así con los datos compartidos por ellos que luego de realizar ciertos ajustes llegaron a una dosificación ideal para la elaboración de bloques que cumplan con la normativa vigente.

Como resultado de esto únicamente dos fabricantes estuvieron dispuestos a compartir sus dosificaciones, Fábrica Orellana y Bloques el Cisne. Asimismo, en la fábrica de bloques Macosa y Bloques Roca Dura, los obreros encargados prestaron su ayuda con clases prácticas para elaborar bloques de pómez y mixtos. Los trabajadores de estas fábricas mencionaron que, a pesar de tener la cantidad de agua adecuada para elaborar cierto número de bloques por saco de cemento, ellos agregaban cuidadosamente el agua hasta lograr obtener una mezcla que se compacte al compactar con el puño, dado que los agregados no poseían un contenido de humedad uniforme, esto les permitía aumentar o disminuir la cantidad de agua a la mezcla. En la tabla 3.2.6.1 se observa un resumen de las dosificaciones de los fabricantes, así como de las extraídas de las bases bibliográficas.

Tabla 3.2.6. 1 Dosificaciones de bibliografía y fábricas de la ciudad de Cuenca.

| DOSIFICACIÓN TESIS VELASTEGUI & SANTACRUZ | | CONTENIDO DE CEMENTO | AGUA TOTAL (l/m ³) | RELACIÓN AGUA/CEMENTO |
|--|----------------|--|--------------------------------|-----------------------|
| 1 | polvo de pómez | factor cemento 59,6 kg/ m ³ | 245-260 | 2,13 |
| 0,5 | chasqui grueso | | | |
| 1 | chasqui fino | | | |
| DOSIFICACIÓN TESIS MORENO & CAÑIZARES | | CONTENIDO DE CEMENTO | AGUA TOTAL (litros) | RELACIÓN AGUA/CEMENTO |
| 2,5 | arena | 50 kg | 32,99 | 0,66 |
| 2,5 | pedra pómez | | | |
| 1 | cemento | | 35,99 | 0,72 |
| 1,8 | 25 % polímero | | 38,99 | 0,78 |
| 3,5 | 50 % polímero | | | |
| DOSIFICACIÓN FÁBRICA ORELLANA & BLOQUES EL CISNE | | CONTENIDO DE CEMENTO | AGUA TOTAL (litros) | RELACIÓN AGUA/CEMENTO |
| 1 | polvo de pómez | factor cemento 50 kg/0,82 m ³ | 95 | 1,9 |
| 1,56 | chasqui | | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Con todas estas referencias se procedió a elaborar bloques con dichas dosificaciones, pero no dieron resultado, ya que los materiales que utilizan difieren en cuanto a sus propiedades físicas, por lo que en cada una de ellas se corrigió la cantidad de los agregados, cemento y agua; para llegar a una dosificación ideal mediante la prueba y error. Además, esto se logró debido a lo aprendido en las fábricas durante las entrevistas y las clases prácticas. Según cada fabricante, mencionó que entre más difieran los agregados con los utilizados normalmente en la fabricación de bloques, menor debe ser el volumen de agregados por saco de cemento. Por eso es que al encontrar una dosificación en la que se evidencie la correcta cohesión entre los elementos se procedió a dosificar por rendimiento, es decir, obtener cierto



número de bloques por saco de cemento. Llegando a fabricar 154, 60 y 30 bloques por un saco de cemento de 50 kg. Concluyendo que la dosificación ideal para elaborar bloques no estructurales y que cumplan con la NTE 3066 es de 30 bloques por saco de cemento y 0.2 m³ de agregado, ver tabla 3.2.6.1.

Tabla 3.2.6. 2 Resumen de dosificaciones.

| DOSIFICACIÓN 1:0,5:1 | | CONTENIDO DE CEMENTO | AGUA TOTAL (l/factor cemento) | RELACIÓN AGUA/CEMENTO |
|---|-----------------|---|-------------------------------|-----------------------|
| 1 | arena | factor cemento 59,31 kg/m ³ | 29,79 | 0,5 |
| 0,5 | polímero grueso | | | |
| 1 | polímero fino | | | |
| DOSIFICACIÓN 1:1,25:1/154 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO | | CONTENIDO DE CEMENTO | AGUA TOTAL (litros) | RELACIÓN AGUA/CEMENTO |
| 1,25 | polvo de pómez | 50 kg | 71,15 | 1,42 |
| 1 | polímero | | | |
| DOSIFICACIÓN 1:1,25:1/60 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO | | CONTENIDO DE CEMENTO | AGUA TOTAL (litros) | RELACIÓN AGUA/CEMENTO |
| 1,25 | polvo de pómez | 50 kg | 44,8 | 0,9 |
| 1 | polímero | | | |
| DOSIFICACIÓN 1:1,25:1/30 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO | | CONTENIDO DE CEMENTO | AGUA TOTAL (litros) | RELACIÓN AGUA/CEMENTO |
| 1,25 | polvo de pómez | 50 kg | 24,4 | 0,49 |
| 1 | polímero | | | |
| DOSIFICACIÓN 1:1,25:1/30 BLOQUES POR 50 kg DE CEMENTO. 50 % DE POLÍMERO | | CONTENIDO DE CEMENTO | AGUA TOTAL (litros) | RELACIÓN AGUA/CEMENTO |
| 0,5 | polímero | 50 kg | 24,4 | 0,49 |
| 1,25 | polvo de pómez | | | |
| 0,5 | chasquí | | | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

CAPÍTULO 04

4. ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS



CAPÍTULO IV: ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS BLOQUES.

4.1.1 ENSAYO DE ABSORCIÓN.

La NTE INEN 639:2012 establece métodos de ensayo para evaluar las características físico-mecánicas de los bloques de concreto.

El apartado 5.5 de la NTE INEN 639:2012, detalla el procedimiento de ensayo para determinar la absorción, el porcentaje de absorción, contenido de humedad y densidad de los bloques de hormigón. Asimismo, detalla las fórmulas para el cálculo del área neta, área bruta, volumen neto y área neta promedio. Estos últimos cálculos servirán para calcular la resistencia a la compresión de los bloques, según las cargas que reciban en los ensayos de laboratorio.

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

- **Saturación:** consiste en sumergir a las muestras de ensayo en agua a una temperatura entre 16 y 27 °C, durante 24 h. Posteriormente, determinar la masa de las muestras completamente, sumergidas suspendidas de un alambre. Por último, dejar secar las muestras de ensayo durante 60 segundos +/- 5 segundos, sobre una malla que permita escurrir el agua, asimismo, retirar el agua visible con la ayuda de un paño absorbente y determinar su masa.

Imagen 4.1.1. 1 Proceso de saturación de bloques en agua durante 24h.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 4.1.1. 2 Método de sumersión de las muestras de ensayo en agua.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 4.1.1. 3 Bloques superficialmente secos.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

- **Secado:** Concluido el ensayo de saturación, se procede a secar las muestras de ensayo, con la ayuda de un horno ventilado a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 24 h. y determinar su masa (NTE INEN 639, 2012).

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Imagen 4.1.1. 4 Determinación de las muestras de ensayo totalmente secas.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

Concluidos los diferentes ensayos descritos por la norma se procede al cálculo de absorción, densidad, volumen neto y área neta de las muestras de ensayo mediante las siguientes fórmulas:

- Absorción:

$$\text{Absorción, (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} \times 1000$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100$$

Donde:

- M_s = masa de la unidad saturada, kg,

- M_i = masa de la unidad sumergida, kg,
- M_d = masa de la unidad seca al horno, kg.

- Densidad:

$$\text{Densidad, (} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\text{)} D = \frac{M_d}{M_s - M_i} \times 1000$$

Donde:

- M_s = masa de la unidad saturada, kg,
- M_i = masa de la unidad sumergida, kg,
- M_d = masa de la unidad seca al horno, kg.

- Área neta promedio:

$$\text{Volumen neto, (mm}^3\text{)} V_n = \frac{M_d}{D} = (M_s - M_i) \times 10000000$$

$$\text{Área neta promedio, (mm}^2\text{)} A_n = \frac{V_n}{h}$$

Donde:

- M_s = masa de la unidad saturada, kg,
- M_i = masa de la unidad sumergida, kg,
- M_d = masa de la unidad seca al horno, kg,



- V_n = volumen neto de la unidad, mm^3 ,
- D = densidad de la unidad seca al horno, kg/m^3 ,
- A_n = área neta promedio, mm^2 ,
- h = altura promedio de la unidad, mm .

Los bloques que se analizaron, fueron los que se fabricaron con la dosificación 1:1.25:1, que tiene un rendimiento de 30 bloques por saco de cemento. Según la normativa es necesario analizar 3 muestras con la finalidad de obtener un resultado promedio. De este modo en la siguiente tabla se encuentran los resultados obtenidos en los ensayos realizados en laboratorio y la aplicación de las fórmulas descritas por la norma.

Tabla 4.1.1. 1 Resultados de ensayos.

| BLOQUE TIPO - 10 x 20 x 40. PET 100 %. Dosificación 30 bloques por saco de cemento | | | | | |
|--|---------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Bloque | Altura h (mm) | Masa sumergida (g) | Masa saturada (g) | Masa seca(g) | Densidad (kg/m^3) |
| 1 | 181 | 1604,9 | 5615,9 | 4880,95 | 1216,89 |
| 2 | 182 | 1464,5 | 5630,5 | 4879,5 | 1171,27 |
| 3 | 181 | 1673,8 | 5659,3 | 4882,4 | 1225,04 |
| Promedio | | | | | 1204,40 |
| | Absorción (%) | Absorción (kg/m^3) | Volumen neto (mm^3) | Área neta promedio (mm^2) | Área neta (cm) |
| | 0,15 | 183,23 | 4011000 | 22160 | 222 |
| | 0,15 | 180,27 | 4166000 | 22890 | 229 |
| | 0,16 | 194,93 | 3985500 | 22019 | 220 |
| Promedio | 0,15 | 186,14 | 4054167 | 22356,56 | 223,57 |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

4.1.2 ENSAYO DE ESFUERZOS A COMPRESIÓN.

Con la finalidad de dar cumplimiento al segundo objetivo específico se procedió a realizar ensayos de esfuerzos a compresión de las muestras elaboradas en los laboratorios. Todas las muestras elaboradas con las diferentes dosificaciones, fueron sometidas a las pruebas de compresión. En la actualización de la NTE INEN 3066 la norma detalla la nueva clasificación de los bloques según uso. Dicha clasificación responde a la resistencia neta mínima a la compresión simple (NTE INEN 3066, 2016).

Tabla 4.1.2. 1 Bloques de hormigón de acuerdo a su uso.

| Clase | Uso |
|-------|----------------------------|
| A | Mampostería estructural |
| B | Mampostería no estructural |
| C | Alivianamientos en losas |

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016).

Según la NTE INEN 3066 los bloques de clase A para mampostería estructural deben cumplir con la resistencia neta mínima a la compresión simple entre 12.4 y 13.8 Mpa. Para los bloques de clase B para mampostería no estructural la resistencia neta mínima a la compresión simple está entre 3.5 y 4.0 Mpa, por último los bloques de tipo C, que sirven para alivianamientos de losas deben cumplir con una resistencia entre 1.4 y 1.7 Mpa.

Por esta razón se aplicó el método de ensayo descrito en la norma a cada una de las muestras de las diferentes dosificaciones que se

elaboraron en el laboratorio. Esto con la finalidad de encontrar la dosificación exacta que cumpla con lo que sugiere la norma. Una vez ensayadas todas las muestras se clasificarán de acuerdo a la tabla 4.1.2.1 Bloques de hormigón de acuerdo a su uso. Cabe mencionar que el presente trabajo de investigación se concentra en fabricar bloques de mortero y polímeros PET para mampostería no portante, es decir que los bloques que se elaboren en el laboratorio deben ser de clase B (mampostería no estructural), con una resistencia neta mínima a la compresión simple entre 3.5 y 4.0 Mpa.

Los ensayos de resistencia a la compresión simple deben realizarse a los 28 días luego de fabricado el bloque. Pero con la finalidad de obtener mejores resultados para el análisis de las dosificaciones se ensayaron muestras a los 7 y 28 días.

4.1.2.1 RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1:1.4:1. RENDIMIENTO 154 BLOQUES POR SACO DE CEMENTO.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en los ensayos a compresión de la dosificación 1:1.4:1 del apartado 3.2.2. Esta dosificación tiene un rendimiento de 154 bloques por saco de cemento. Los agregados que se utilizaron en la fabricación de los bloques con esta dosificación fueron polvo de pómez y polímero al 100 %, este último sustituye al Chasqui, el cual es el agregado grueso que se utiliza en la fabricación de bloques de pómez. Los bloques que se ensayaron cuentan con las siguientes dimensiones: 10 x 20 x 40 cm. Un área neta promedio de 211.8 cm² y un área bruta de 400 cm².

Tabla 4.1.2.1. 1 Resistencia a la compresión, bloque de 10 x 20 x 40 cm, PET al 100 %. Resultados a los 7 y 28 días. Dosificación 1:1.4:1.

| BLOQUE TIPO - 10 x 20 x 40. PET 100 %. Dosificación 154 bloques por saco de cemento | | | | | | | |
|---|-------------|---------------|------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Bloque | Edad (días) | Longitud (mm) | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Carga (kgf) | Área neta (cm ²) | Área bruta (cm ²) |
| 1 | 7 | 400 | 102 | 24 | 2236,1 | 211,8 | 400 |
| 2 | 7 | 400 | 101 | 24 | 1925,3 | 211,8 | 400 |
| 3 | 28 | 400 | 102 | 24 | 2738 | 211,8 | 400 |
| 4 | 28 | 400 | 102 | 24 | 3699,7 | 211,8 | 400 |
| | | | | | Compresión | | |
| Bloque | | | | | Neta (kgf/cm ²) | Neta (Mpa) | Bruta (kgf/cm ²) |
| 1 | | | | | 10,56 | 1,06 | 5,59 |
| 2 | | | | | 9,09 | 0,91 | 4,81 |
| 3 | | | | | 12,93 | 1,29 | 6,85 |
| 4 | | | | | 17,47 | 1,75 | 9,25 |
| Promedio 7 días | | | | | 9,82 | 0,98 | 5,20 |
| Promedio 28 días | | | | | 15,20 | 1,52 | 8,05 |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Los resultados obtenidos indican que la resistencia a la compresión de los bloques a los 28 días, son relativamente bajos y no cumplen con lo establecido en la norma. Pues según la NTE INEN 3066 los bloques para mampostería no estructural deben tener una resistencia neta mínima a la compresión simple entre 3.5 a 4.0 Mpa. Asimismo, estos bloques tampoco entrarían en la clasificación de

tipo C, que son bloques para alivianamiento, estos bloques deben resistir un promedio de 1.7 Mpa. En consecuencia, la dosificación empleada no es de utilidad, para cumplir con los objetivos planteados en la presente investigación.

Imagen 4.1.2.1. 1 Ensayo a compresión bloque 10 x 20 x 40 cm.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

4.1.2.2 RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1:1.25:1. RENDIMIENTO 60 BLOQUES POR SACO DE CEMENTO.

En la tabla 4.1.2.2.1 se puede observar los resultados que se obtuvieron en los ensayos a compresión simple de los bloques que se fabricaron con la dosificación 1:1.25:1, de rendimiento 60 bloques por saco de cemento. De acuerdo a lo estipulado en la norma, estos bloques entran en la clasificación C, que, según la tabla de usos, sirven para alivianamiento de losas. Puesto que, cuentan con una resistencia neta mínima promedio a la compresión simple de 1.95 Mpa.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Tabla 4.1.2.2. 1 Resistencia a la compresión, bloque de 10 x 20 x 40 cm, PET al 100 %. Resultados a los 7 y 28 días. Dosificación 1:1.25:1.

| BLOQUE TIPO - 10 x 20 x 40. PET 100 %. Dosificación 60 bloques por saco de cemento | | | | | | | |
|--|-------------|---------------|------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Bloque | Edad (días) | Longitud (mm) | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Carga (kgf) | Área neta (cm ²) | Área bruta (cm ²) |
| 1 | 7 | 400 | 102 | 24 | 1802,4 | 211,8 | 400 |
| 2 | 7 | 400 | 101 | 24 | 2918,1 | 211,8 | 400 |
| 3 | 28 | 400 | 102 | 24 | 4186,5 | 211,8 | 400 |
| 4 | 28 | 400 | 102 | 24 | 4058 | 211,8 | 400 |
| | | | | | Compresión | | |
| Bloque | | | | | Neta (kgf/cm ²) | Neta (Mpa) | Bruta (kgf/cm ²) |
| 1 | | | | | 8,51 | 0,85 | 4,51 |
| 2 | | | | | 13,78 | 1,38 | 7,30 |
| 3 | | | | | 19,77 | 1,98 | 10,47 |
| 4 | | | | | 19,16 | 1,92 | 10,15 |
| Promedio 7 días | | | | | 11,14 | 1,11 | 5,90 |
| Promedio 28 días | | | | | 19,46 | 1,9 | 10,31 |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 4.1.2.2. 1 Ensayo a compresión bloque 10 x 20 x 40.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

4.1.2.3 RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1:1.25:1. RENDIMIENTO 30 BLOQUES POR SACO DE CEMENTO.

Con la finalidad de llegar a la resistencia neta mínima a la compresión simple como establece la norma, para bloques de clase B, de uso Mampostería no Estructural. Se analizaron los resultados de los ensayos de las muestras anteriores y fue necesario corregir la dosificación, es decir aumentar la cantidad de cemento por volumen de agregado, ya que no existía una adecuada cohesión entre los materiales. Esta condición impedía que los bloques llegasen a la resistencia a la compresión simple, que se necesita para cumplir con los objetivos planteados.

En la tabla 4.1.2.3.1 se puede observar los resultados de los ensayos aplicados a las muestras. La corrección de la dosificación mejoró las características físico mecánicas de los bloques, es decir se cumplió con la resistencia neta mínima a la compresión simple, para bloques de clase B, para Mampostería no Estructural.

Tabla 4.1.2.3. 1 Resistencia a la compresión, bloque de 10 x 20 x 40 cm, PET al 100 %. Resultados a los 7 y 28 días. Dosificación 1:1.25:1.

| BLOQUE TIPO - 10 x 20 x 40. PET 100 %. Dosificación 30 bloques por saco de cemento | | | | | | | |
|--|-------------|---------------|------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Bloque | Edad (días) | Longitud (mm) | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Carga (kgf) | Área neta (cm ²) | Área bruta (cm ²) |
| 1 | 7 | 400 | 102 | 24 | 4204 | 211,8 | 400 |
| 2 | 7 | 400 | 101 | 24 | 5044,5 | 211,8 | 400 |
| 3 | 28 | 400 | 102 | 24 | 7777,1 | 211,8 | 400 |
| 4 | 28 | 400 | 102 | 24 | 8656,6 | 211,8 | 400 |
| 5 | 28 | 400 | 102 | 24 | 8756,8 | 211,8 | 400 |
| | | | | | Compresión | | |
| Bloque | | | | | Neta (kgf/cm ²) | Neta (Mpa) | Bruta (kgf/cm ²) |
| 1 | | | | | 19,85 | 1,99 | 10,51 |
| 2 | | | | | 23,82 | 2,38 | 12,61 |
| 3 | | | | | 36,73 | 3,67 | 19,44 |
| 4 | | | | | 40,88 | 4,09 | 21,64 |
| 5 | | | | | 41,35 | 4,14 | 21,89 |
| Promedio 7 días | | | | | 21,84 | 2,18 | 11,56 |
| Promedio 28 días | | | | | 39,7 | 4,0 | 20,99 |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 4.1.2.3. 1 Ensayo a compresión bloque 10 x 20 x 40.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

4.1.2.4 RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1:0.5:0.5:1. CHASQUI Y PET AL 50 % COMO AGREGADO GRUESO.

Una vez conseguida la dosificación ideal que cumpla con los objetivos planteados en trabajo de titulación, asimismo, con la NTE INEN. Fue necesario repicar dicha dosificación, pero esta vez añadiendo otro tipo de agregado grueso; dicho material es utilizado comúnmente en la fabricación de bloques de pómez.

De igual manera, para cumplir con los objetivos específicos planteados en la presente investigación, se aplicaron ensayos a compresión simple a las muestras elaboradas en el laboratorio, esto con la finalidad de determinar si los bloques elaborados con la combinación de dichos agregados cumplieran con la normativa vigente. En la tabla 4.1.2.4.1 se puede observar la resistencia

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

promedio final a los 28 días, así como, las resistencias netas mínimas a la compresión simple de cada una de las muestras ensayadas.

Tabla 4.1.2.4. 1 Resistencia a la compresión, bloque de 10 x 20 x 40 cm, PET al 50 %. Resultados a los 28 días.

| BLOQUE TIPO - 10 x 20 x 40. PET 50 %. Dosificación 30 bloques por saco de cemento | | | | | | | |
|---|-------------|---------------|------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Bloque | Edad (días) | Longitud (mm) | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Carga (kgf) | Área neta (cm ²) | Área bruta (cm ²) |
| 1 | 28 | 400 | 102 | 22 | 8384,9 | 211,8 | 400 |
| 2 | 28 | 400 | 101 | 22 | 9053,6 | 211,8 | 400 |
| 3 | 28 | 400 | 100 | 22 | 7872,8 | 211,8 | 400 |
| | | | | | Compresión | | |
| Bloque | | | | | Neta (kgf/cm ²) | Neta (Mpa) | Bruta (kgf/cm ²) |
| 1 | | | | | 39,6 | 4,0 | 20,96 |
| 2 | | | | | 42,8 | 4,3 | 22,63 |
| 3 | | | | | 37,2 | 3,7 | 19,68 |
| Promedio 28 días | | | | | 39,8 | 4,0 | 21,1 |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 4.1.2.4. 1 Ensayo a compresión simple bloque 10 x 20 x 40 cm.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

Imagen 4.1.2.4. 2 Ensayo a compresión simple bloque 10 x 20 x 40 cm.



Fuente: Fernando Cabrera Figueroa.

4.2 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO Y DETERMINACIÓN DE LAS VENTAJAS DE LOS BLOQUES A BASE DE MORTERO Y POLÍMEROS PET.

Con la finalidad cumplir con el último objetivo específico de la investigación, Analizar resultados y determinar ventajas de bloques a base de mortero con polímeros PET. Se realizaron los respectivos ensayos que se describen en la NTE INEN 3066, esto con la finalidad de conocer las características físicas y mecánicas de los bloques.

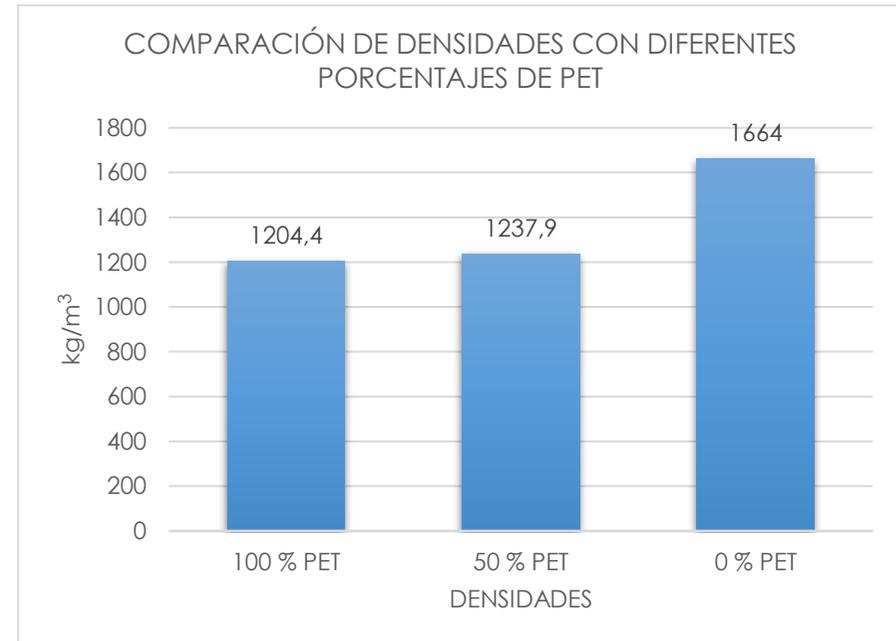
Mediante la aplicación de estos ensayos se pudieron determinar las siguientes características de los bloques de mortero con polímeros PET: Densidad, porcentaje de absorción y resistencia neta mínima a la compresión simple.

Una vez obtenidos los datos de los ensayos aplicados a las muestras, se realizó una comparación de los diferentes resultados de las densidades y porcentajes de absorción de agua.

Por lo tanto, en el gráfico 4.2.1 se observan las densidades de los bloques con contenido de PET al 0 %, 50 % y 100 %. Un bloque común de pómez con dimensiones 10 x 20 x 40 cm. Cuenta con una densidad de alrededor de 1600 kg/m³, en este caso como se muestra en el gráfico la densidad de bloque es de 1664 k/m³.

Los bloques con contenido de PET al 50 % y 100 %, cuentan con una reducción en sus densidades con respecto al bloque con 0 % de contenido de PET, en un 25,61 % y 27,62 % respectivamente, ver tabla 4.2.1.

Gráfico 4.2. 1 Comparación de densidades con diferentes porcentajes de PET.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Tabla 4.2. 1 Análisis de densidades con diferentes porcentajes de PET.

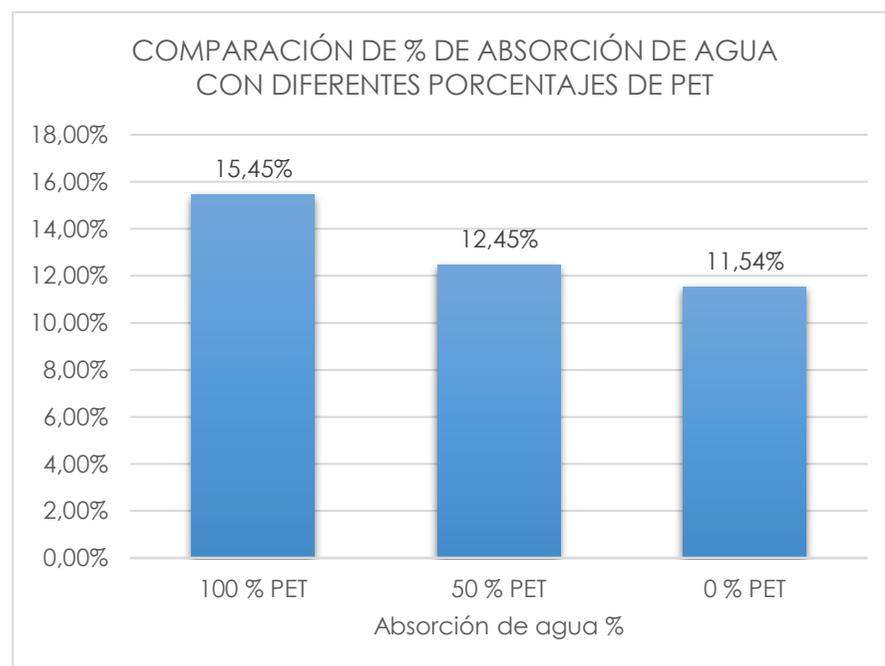
| ANÁLISIS DE DENSIDADES | | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Bloque tipo | Densidad (kg/m ³) | Reducción de densidades (%) |
| 100 % PET | 1204,4 | -27,62 |
| 50 % PET | 1237,9 | -25,61 |
| 0 % PET | 1664 | |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Asimismo, el gráfico 4.2.2 se puede observar un incremento en la absorción de agua, conforme aumenta el contenido de PET en el bloque. Los bloques fabricados con el 100 % de PET como agregado grueso absorben un 3.91 % más de agua con respecto a los bloques de pómez. De igual manera comparando los resultados con respecto a los bloques con 0 % de polímero, los bloques que contienen un 50 % de PET absorben un 0.91 % más de agua, es decir, su porcentaje de absorción es del 12.45 %. Estos porcentajes de absorción cumplen con NTE INEN 3066.

Gráfico 4.2. 2 Comparación de % de absorción de agua con diferentes porcentajes de PET.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

En cuando a los ensayos de resistencia neta mínima a la compresión. Estos ensayos se aplicaron a cada una de las muestras elaboradas en el laboratorio. Dichos bloques fueron fabricados con diferentes dosificaciones, que son el resultado de la experimentación en el laboratorio, es decir prueba y error.

En la primera fase de experimentación se utilizaron las dosificaciones de las bases bibliográficas y la que mejores resultados arrojó al concluir la investigación fue la de (Santacruz & Velasteguí, 2018) en su tesis "Determinación de dosificación para elaborar bloques huecos de hormigón que cumplan con la actual norma INEN 3066". Los resultados que arrojaron las pruebas de compresión de los cilindros fabricados en los laboratorios estuvieron muy por debajo de las que sugiere la norma (0.5 Mpa).

Con el propósito de cumplir con la resistencia estipulada en la norma, se realizaron entrevistas a diferentes fabricantes de bloques en la ciudad de Cuenca. De un total de cinco fábricas, únicamente dos prestaron la información necesaria para continuar con la investigación, "Fábrica Orellana" ubicada en el parque industrial y "Fábrica de Bloques El Cisne" ubicada en la Vía Monay Baguanchi. Estas empleaban similares dosificaciones para la fabricación de bloques de pómez.

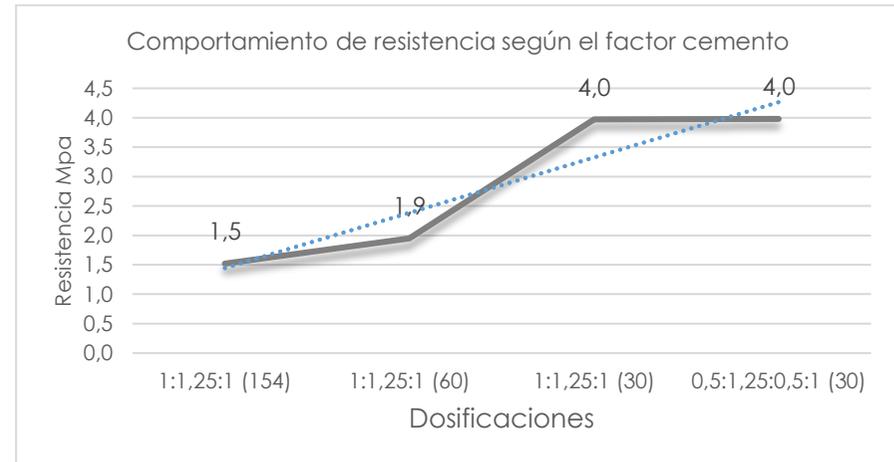
Utilizando como referencia la dosificación proporcionada por las fábricas, se realizaron los cálculos en peso y volumen para elaborar los bloques en el laboratorio. Cuando se realizó la mezcla de los agregados se evidenció que la calidad de esta carecía de consistencia y difería con la que se realiza en fábrica, por lo que se ajustó la proporción de los agregados, con la finalidad de lograr una mezcla similar a la del fabricante. Cada una de las correcciones ya sea de agregados, agua y cemento fueron medidas para luego ser replicadas y comprobar su efectividad.

Los bloques fabricados con las primeras dosificaciones no cumplían con la resistencia requerida. Por lo que fue necesario aumentar la cantidad de cemento por volumen de agregado. Es decir, se calculó la cantidad de agregado en peso y volumen para fabricar 60 y 30 bloques por saco de cemento. Finalmente se fabricaron bloques, pero esta vez se agregó 50 % de PET y 50 % de Chasqui como agregado grueso.

Según el gráfico 4.2.3 la resistencia neta mínima a la compresión simple cumple los bloques que fueron fabricados con la dosificación 1:1.25:1 con un rendimiento de 30 bloques por saco de cemento. Según la NTE INEN 3066 el bloque de clase B para uso de mampostería no estructural debe resistir 3.5 Mpa y el promedio de la resistencia neta mínima a la compresión simple de 3 bloques es de 4 Mpa. Estos resultados cumplen con los objetivos plantados en la investigación.

Los bloques que se fabricaron con la dosificación 1:1.25:1 con un rendimiento de 60 bloques por saco de cemento, son de clase C que son utilizados para alivianamientos de losas. Pese a que los objetivos de la investigación se centran en la elaboración de bloques no estructurales a base de mortero y polímeros PET, se sugiere el uso de estos bloques como alivianamientos de losa debido a que la idea principal de esta tesis surgió en base a la problemática planteada, que es la contaminación ambiental. Además, estos bloques cumplen con la resistencia promedio de 3 bloques (1.7 Mpa). Y el uso de los mismos aportarían a reducir el impacto ambiental que los plásticos generan.

Gráfico 4.2.3 Incremento de resistencia según factor cemento.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Tabla 4.2. 2 Resumen de resistencias promedio, a los 28 días.

| RESUMEN RESISTENCIAS | | |
|----------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Dosificaciones | Nº Bloques por saco de cemento | Resultados promedio (Mpa) |
| 1:1,25:1 | 154 | 1,5 |
| 1:1,25:1 | 60 | 1,9 |
| 1:1,25:1 | 30 | 4,0 |
| 0,5:1,25:0,5:1 | 30 | 4,0 |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

4.2.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Con la finalidad de determinar las ventajas de los bloques con PET, de igual manera es necesario obtener los costos de fabricación y venta de los mismos. Por tal motivo se efectuaron análisis de precios unitarios, de los bloques fabricados con diferente contenido de PET (100 % - 50 %).

Los APU se elaboraron con los precios actuales de los materiales, asimismo, con rendimientos y costos unitarios extraídos de las bases bibliográficas consultadas. Debido a que el costo del PET fluctúa entre los 10 y 50 centavos de dólar, se realizaron APU con el precio del PET a 10 centavos, 30 centavos y 50 centavos de dólar. De igual manera, estos APU se realizaron con los bloques que contienen 50 % y 100 % de PET, (ver anexos).

En la tabla 4.2.1.1 se detalla la diferencia de precios según el contenido de PET y los costos de este último en el mercado del reciclaje. Es evidente que los bloques con 100 % de contenido de PET y con el costo máximo de reciclaje (50 ctvs.) son los más costosos. Es importante mencionar que el costo del PET depende de nivel de reciclado por el que ha pasado. Es decir que los envases plásticos reciclados que se destinan al almacenamiento de productos de consumo humano, se permite únicamente un primer nivel de reciclado y estos tienen un costo de aproximadamente 50 centavos de dólar por kilo. Luego de superar este nivel el PET es reutilizado para el almacenaje de productos fitosanitarios, detergentes, así como, fibra de relleno textil. Estos polímeros llegan a costar hasta \$ 0.10 dólares americanos por kilo.

Los bloques con menor costo de producción y utilidad de venta están fabricados con PET al 50 %; el costo total de este rubro es de 47 centavos de dólar. La diferencia entre el costo de estos bloques

y los adquiridos en dos fábricas de la ciudad de Cuenca (Macosa y Bloques Roca Dura), es de \$ 0.01 y \$ 0.00 dólares americanos respectivamente, ver tabla (4.2.1.1) y tabla (4.2.1.2). Es decir, los bloques elaborados con PET al 50 % cuentan con precios similares los que ofrecen dichas fábricas, ver gráfico (4.2.1.1) y (4.2.1.2).

Tabla 4.2.1. 1 Diferencia de costos según contenido y precio de PET.

| Diferencia de costos según precios y contenido de PET | | | | |
|---|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| Costo PET (\$/kg) | Costo bloque 100 % PET (\$) | Costo bloque 50 % PET (\$) | Costo bloque MACOSA (\$) | Diferencia de costo Bloque 50% PET vs 0% de PET (\$) |
| 0,5 | 1,04 | 0,73 | 0,46 | 0,27 |
| 0,3 | 0,78 | 0,60 | 0,46 | 0,14 |
| 0,1 | 0,53 | 0,47 | 0,46 | 0,01 |

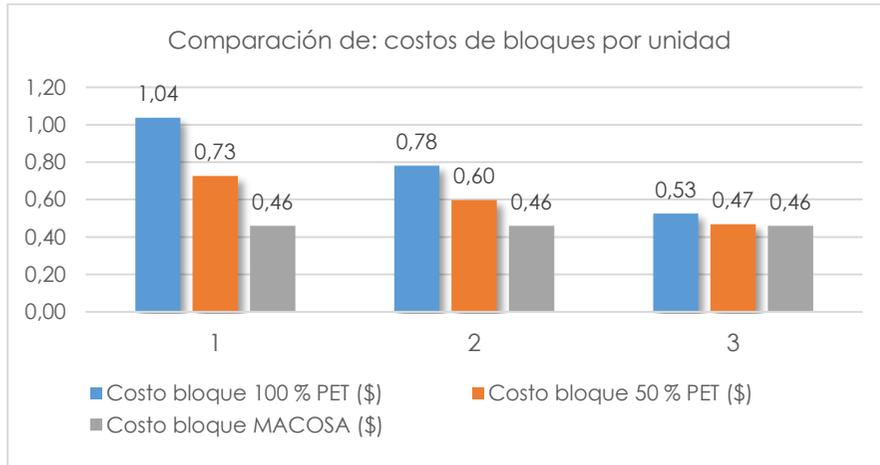
Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Tabla 4.2.1. 2 Diferencia de costos según contenido y precio de PET.

| Diferencia de costos según precios y contenido de PET | | | | |
|---|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|--|
| Costo PET (\$/kg) | Costo bloque 100 % PET (\$) | Costo bloque 50 % PET (\$) | Costo bloque BLOQUES ROCA DURA (\$) | Diferencia de costo Bloque 50% PET vs 0% de PET (\$) |
| 0,5 | 1,04 | 0,73 | 0,47 | 0,26 |
| 0,3 | 0,78 | 0,60 | 0,47 | 0,13 |
| 0,1 | 0,53 | 0,47 | 0,47 | 0,00 |

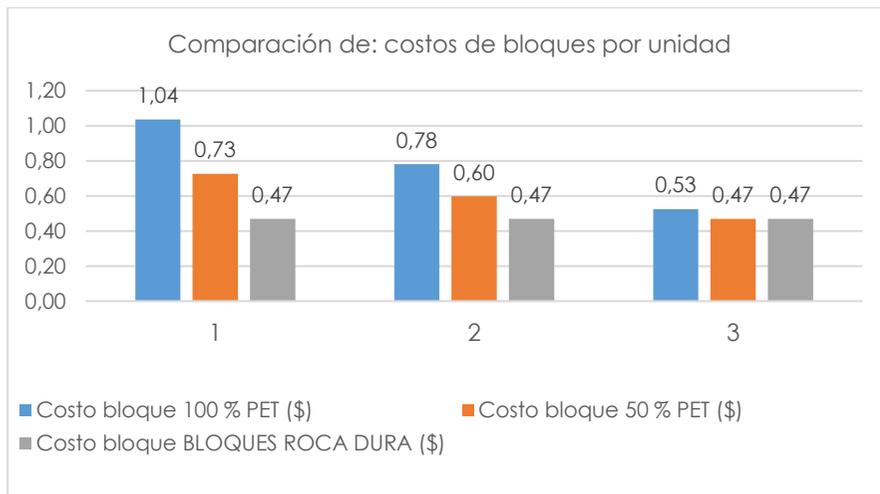
Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Gráfico 4.2.1. 1 Costo de bloques por unidad y contenido de PET.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

Gráfico 4.2.1. 2 Costo de bloques por unidad y contenido de PET.



Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

4.2.2 DETERMINACIÓN DE LAS VENTAJAS DE LOS BLOQUES A BASE DE MORTERO Y POLÍMEROS PET.

En base a los análisis realizados de densidad, resistencia mínima a la compresión simple y costos de producción. Se puede determinar que los bloques elaborados con el 50 % de PET son óptimos para el uso en el sector de la construcción. Esto debido a las ventajas que estos tienen. En la tabla 4.2.2.1 se detallan las características de los bloques con polímeros.

La resistencia neta mínima a la compresión simple y el porcentaje de absorción son características que estos cumplen según lo establecido en la NTE INEN 3066. Asimismo, una de las ventajas de los bloques es su densidad o peso específico, estos son un 25.61 % más livianos que un bloque de pómez común. Esta característica es una ventaja importante, ya que, al ser bloques de tipo liviano, el peso por metro cuadrado de mampostería es un 36.47 %, más ligero que el de una mampostería de bloque común de pómez. Es decir, favorece al cálculo estructural de una edificación ya que se reducen las cargas muertas ejercidas por la mampostería.

Asimismo, según el análisis de costos realizado en el apartado 4.2.1, el costo del bloque con contenido de PET al 50 % se ajusta a los precios que ofrecen fabricas como Macosa y Bloques Roca Dura en la ciudad de Cuenca. Es importante mencionar que al momento de solicitar una cotización a las dos fábricas mencionadas no entregaron la información técnica del bloque en este caso la resistencia neta mínima a la compresión simple, pero el asesor de ventas de una de ellas mencionó que los bloques mixtos cuentan con una resistencia neta mínima a la compresión simple de 30 a 35 kgf/cm², siendo esta inferior a la obtenida en los ensayos que se efectuaron en el laboratorio de los bloques elaborados en esta investigación y la que establece la NTE INEN 3066.



ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

Por último, la característica más importante de estos bloques es, que son fabricados con polímeros PET reciclados. Los mismos que al no ser reutilizados y manipulados como elementos de un solo uso generan un impacto negativo al medio ambiente. Ya que, como se mencionó en la problemática de esta investigación, en el mundo se generan alrededor de 8 millones de toneladas anuales de residuos plásticos y solo en el Ecuador se generaron 438700 toneladas de botellas plásticas y únicamente el 11.39 % de estas fueron recicladas ("El Comercio," 2017), (Estevez, 2019). Por lo tanto, la fabricación de bloques con polímeros PET aportarán a reducir esta gran problemática que causa un severo impacto al medio ambiente.

Tabla 4.2.2. 1 Peso de la mampostería de bloque con polímeros PET.

| PESO DE MAMPOSTERÍA POR m2 | | | | |
|----------------------------|-------------|--------|--------------|--------|
| TIPO DE BLOQUE | PESO UNIDAD | # B/m2 | PESO m2 (kg) | % |
| 50% | 5,4 | 11,21 | 60,534 | -36,47 |
| 0% | 8,5 | 11,21 | 95,285 | -- |

Elaboración: Fernando Cabrera Figueroa.

CAPÍTULO 05

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

El uso de los polímeros ha incrementado drásticamente en las últimas décadas, esto representa un impacto negativo al ecosistema, ya que la mayoría de estos elementos son desechados sin pasar por un proceso de reutilización. Los plásticos al no pasar por los procesos de reciclaje contaminan ríos mares y lagos afectando a la flora y fauna. Puesto que los polímeros tardan siglos en descomponerse.

Durante el proceso de ensayo de los agregados, así como del cálculo de las dosificaciones para la fabricación de los bloques de mortero con polímeros PET, las metodologías de la ACI y la ASTM para el cálculo de dosificaciones para hormigones livianos, no son aplicables para la presente investigación, puesto que, las características de los agregados que se utilizaron en la fabricación de los bloques difieren con respecto a los comunes como arena y ripio. Pero de igual manera se aplicó uno de los dos métodos de la ACI 211.2: - procesos para dosificar hormigones livianos cuando el agregado grueso es liviano y el fino tiene peso normal. Y – procesos para dosificar hormigones livianos cuando los dos agregados o solo el agregado fino tienen peso normal (Santacruz & Velasteguí, 2018).

Los ensayos a compresión de las probetas fabricadas con el método de la ACI 211.2 arrojaron resultados que se esperaban, es decir, que durante la elaboración de los cilindros se evidenció una baja cohesión entre los elementos incluso luego del proceso de compactación y corrección de dosificaciones. Finalmente, el



promedio de resistencias a la compresión simple de los cilindros fue de 0.53 Mpa. Cifras que están muy por debajo de lo estipulado en la NTE INEN 3066.

Para el cálculo de dosificaciones fue necesario consultar bases bibliográficas que hayan usado metodologías similares. De igual manera se visitaron fábricas de bloques que cuenten con productos que cumplan con la norma, esto con la finalidad de ensayar sus dosificaciones y adaptarlas a la investigación.

Las proporciones que manejan las fábricas de bloques en la ciudad de Cuenca, en la elaboración de bloques no arrojaron buenos resultados en cuanto a la resistencia neta mínima a la compresión simple. Utilizando esta dosificación el resultado promedio de la resistencia fue únicamente de 1.5 Mpa, en la primera fase de experimentación, mientras que, realizando la corrección en la cantidad de cemento, la resistencia subió a 1.9 Mpa. Estos bloques entran en la categoría C, lo cuales son utilizados para alivianamiento de losas de hormigón armado.

Con la finalidad de alcanzar la resistencia neta mínima a la compresión simple establecida en la norma, se aumentó la cantidad de cemento a la mezcla, esto por sugerencia de uno de los fabricantes, asimismo, esta alternativa se aplicó en trabajos de investigación que forman parte de la bibliografía consultada. Incrementar la cantidad de cemento influyo significativamente en la resistencia neta mínima a la compresión simple de los bloques, puesto que se alcanzó la resistencia que establece la norma para los bloques de tipo B, para mampostería no estructural (4 Mpa).

Por último, se fabricaron bloques con un contenido de PET al 50 %, esto con la finalidad de ampliar los resultados de la investigación y comprobar la dosificación aceptada. Los bloques fabricados con

PET y Chasqui al 50 %, tienen una resistencia mínima a la compresión simple de 4.0 Mpa, de igual manera cumplen con la NTE INEN 3066.

Para determinar las ventajas de los bloques también se realizaron ensayos de densidad y porcentaje de absorción. Llegando a la conclusión que una de las ventajas de los bloques es su densidad o peso específico, estos son un 25.61 % más livianos que un bloque de pómez común. Esta característica es una ventaja importante, ya que, al ser bloques de tipo liviano, el peso por metro cuadrado de mampostería es un 36.47 %, más ligero que el de una mampostería de bloque común de pómez. Es decir, favorece al cálculo estructural de una edificación ya que se reducen las cargas muertas ejercidas por la mampostería.

Finalmente, a pesar de que los bloques con contenido de PET al 100 % y 50 % presentan similares características físicas en cuanto a la resistencia a la compresión, densidad y absorción de agua. Los óptimos para ser utilizados en la construcción son los que contienen PET al 50 % esto debido al costo de producción que estos ejercen, el precio incluye la utilidad del fabricante (0.47 dólares americanos).



5.2 RECOMENDACIONES.

Este proyecto de investigación es el punto de partida para iniciar con futuras investigaciones, que se concentren en la industrialización. Es decir, que partan desde el reciclaje hasta la elaboración de bloques con polímeros. Analizar este proceso con la finalidad de generar mayor rentabilidad y en consecuencia mejorar la calidad de los productos al entrar por un proceso de industrialización. Creando una buena alternativa para el sector de la construcción mediante el uso de estos elementos, ya que en esta investigación se demostraron las ventajas que estos bloques poseen. Y sobre todo aportan en la reducción del impacto ambiental que los plásticos generales sobre el ecosistema, mediante la reutilización de estos.

Se recomienda utilizar los datos de las dosificaciones para nuevos proyectos de investigación, como en la elaboración de elementos constructivos para mampostería no estructural y de auto ensamble. Que puedan generar un ahorro en el tiempo de ejecución de obra y una reducción en el costo total de un proyecto arquitectónico.



BIBLIOGRAFÍA

- Advance-Consultora. (2015). RECICLAJE INCLUSIVO Y RECICLADORES DE BASE EN EL ECUADOR. *IRR (Iniciativa Regional Para El Reciclaje Inclusivo)*, 72.
- Angumba Aguilar, P. J. (2016). Ladrillos elaborados con plásticos reciclado (PET), para mampostería no portante. *El Escorial*, 80.
- Angumba, P. (2016). Ladrillos elaborados con plásticos reciclado (PET), para mampostería no portante. *El Escorial*, 80.
- Cedex. (2013). *Residuos plásticos*. 30.
http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_RESIDUOSPLASTICOSDIC2013.pdf
- El Comercio. (2017). *Una Iniciativa Crea Bloques Para Casas a Partir de Botellas Plásticas Recicladas.*, 1.
- Emac. (2014). *EMAC. Escombreras*.
- EMAC EP. (2020). *Reciclaje Inclusivo de Residuos Orgánicos*.
- Estevez, R. (2019). *Ambientum. Datos Sobre La Contaminación Que Causa El Plástico*.
- Franco, J. T. (2013). *EcoArk en Taiwan: una mega-estructura construida con botellas de plástico recicladas*.
<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-290580/ecoark-en-taiwan-una-mega-estructura-construida-con-botellas-de-plastico-recicladas>
- Gaggino, R. (2008). LADRILLOS Y PLACAS PREFABRICADAS CON PLÁSTICOS RECICLADOS APTOS PARA LA AUTOCONSTRUCCIÓN. *Revistainvi*, 23, 137–163.
- Gómez, M. S., Carvajal, A. M., & Santelices, V. (2011). Influencia del



- Polietileno de Alta Densidad (PEAD) usado como adición en el mortero de cemento. *Revista de La Construcción*, 10(3), 110–121. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2011000300011>
- Hachi, J., & Rodríguez, J. (2010). *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de PET en la ciudad de Guayaquil*.
- Hidalgo Aguilera, L., Imbaquingo, J., & Mideros, D. (2017). Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente. *Enfoque UTE*, 8(5), 89. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n5.183>
- Huaman, V. (2019). *EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DE LADRILLOS TIPO IV COMPUESTO DE ARENA GRUESA Y DE POLÍMEROS PET EN BASE A LA NORMA TÉCNICA E-070*.
- INEC. (2016). *Encuesta de edificaciones 2016*. 28.
- INEN-696. (2011). NTE INEN 0696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. *Determinación Del Tamaño de Partículas En Arido Fino y Grueso.*, 1 (Primera Edición), 5. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_696-1.pdf
- Infante, J., & Valderrama, C. (2019). Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET). *Información Tecnológica*, 30(5), 25–36. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500025>
- López, C. (2016). Reciclado del plástico [PET*] para la obtención de fibra textil. *Reciclado Del Plástico [PET*] Para La Obtención de Fibra Textil*, 125. <http://www.edutecne.utn.edu.ar>
- Madrid, J., & Bolobosky, M. (2018). *Fabricación de ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas Manufacture of bricks based on PET polymers and metal chips*. 4, 33–38.
- NTE INEN 3066. (2016). *NTE INEN 3066: Bloques de hormigón, requisitos y métodos de ensayo. Servicio Ecuatoriano de Normalización*. 27.
- NTE INEN 638. (2002). Bloques Huecos de hormigón. Definiciones, Clasificaciones Y Condiciones. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 2332(1), 1–5.
- NTE INEN 639. (2012). BLOQUES HUECOS DE HORMIGON. Muestreo y Ensayos NTE INEN 639:2012. *Bvsde.Paho.Org*. <http://www.bvsde.paho.org/cgi-bin/wxis.exe/iah/?IscScript=iah/iah.xis&base=bvsde.others&lang=e&nextAction=lnk&exprSearch=BVSDE.00013745&indexSearch=ID>
- NTE INEN 642. (1993). *Bloques Huecos De Hormigón Determinación De La Absorción De Agua*.
- NTE INEN 643. (1993). *DESCRIPTORES: Cemento, hormigón, bloques huecos, requisitos -1- 1992-054*.
- NTE INEN 855. (2010). Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. NTE INEN 855. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 15. http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/JSI/nte_inen_iso_26000extracto.pdf
- NTE INEN 856. (2006). Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 21. http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/149/3/03AGP_63_NTE_INEN_1340.pdf
- NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Arido Grueso.



ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

- INEN 857. *Instituto Ecuatoriano De Normalización, 1* (Primera Edición), 1–14. <http://apps.normalizacion.gob.ec>
- NTE INEN 858. (2002). NTE INEN 858: Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. *Annual Book of ASTM Standards, 1* (Primera Edición), 5. <file:///C:/Users/braya/Desktop/858.pdf>
- NTE INEN 862. (2011). Áridos Para Hormigón. Determinación Del Contenido Total De Humedad. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1–8.
- NTE INEN 872. (2011). Áridos Para Hormigón. Requisitos. NTE INEN 872. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 16.
- Paoli, W. R. M. A. S. M.-A. De. (2020). *Polímeros*. 1–14.
- Polanco, S., & Quishpe, L. (2019). *Aprovechamiento de tereftalato de polietileno (PET) reciclado y residuo aserrín de madera para el desarrollo de un compuesto plástico-madera*. 174. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2671>
- Reyes, C. (2013). *El Pet Como Sistema Alternativo Para La Construcción De Muros En La Vivienda*.
- Rubén, M., & Cañizares, F. (2011). *Agregado Alternativo para Fabricación de bloques y Adoquines en base a Polietileno Tereftalato*. 197. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3968>
- Santacruz, W., & Velasteguí, E. (2018). *Determinación de dosificación para elaborar bloques huecos de hormigón que cumplan con la actual norma INEN 3066*. 253. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19369>
- Távora, R. R. (2004). *PROPUESTA DE RECICLAJE MECÁNICO DE PLÁSTICOS EN LA CIUDAD DE PIURA*.

ANEXOS



ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

| COSTO BLOQUE 10 x 20 x 40 cm. CON 100 % DE PET_50 ctvs | | | | | |
|--|----------------|------------------------------|-------------|-------------|---------|
| EQUIPOS | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Herramienta menor (5% de M.O) | | | | | 0,00334 |
| Mezcladora (10%M.O.) | | | | | 0,00667 |
| Maquina vobrocompactadora (10% M.O.) | | | | | 0,00667 |
| Subtotal | | | | | 0,01668 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | JORNAL/HORA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Peón (estruc.ocup.E2) | 2,0000 | 2,5088 | 5,0176 | 0,0133 | 0,0667 |
| Subtotal | | | | | 0,0667 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P. UNITARIO | COSTO | |
| | | A | B | A=A*B | |
| Agua | m ³ | 0,001 | 0,200 | 0,0002 | |
| Cemento | kg | 1,667 | 0,153 | 0,255 | |
| Polvo | m ³ | 0,003 | 2,500 | 0,009 | |
| Plástico | kg | 1,280 | 0,500 | 0,640 | |
| SUBTOTAL | | | | 0,904 | |
| | | TOTAL, COSTO DIRECTO | | 0,987 | |
| | | INDIRECTOS Y UTILIDADES | | 0,050 | |
| | | OTROS INDIRECTOS | | | |
| | | COSTO TOTAL DEL RUBRO | | 1,04 | |



| COSTO BLOQUE 10 x 20 x 40 cm. CON 50 % DE PET_50 ctvs | | | | | |
|---|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| EQUIPOS | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Herramienta menor (5% de M.O) | | | | | 0,0033 |
| Mezcladora (10%M.O.) | | | | | 0,0067 |
| Maquina vobrocompactadora (10% M.O.) | | | | | 0,0067 |
| Subtotal | | | | | 0,0167 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | JORNAL/HORA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Peón (estruc.ocup.E2) | 2 | 2,51 | 5,0176 | 0,0133 | 0,0667 |
| Subtotal | | | | | 0,0667 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P. UNITARIO | COSTO | |
| | | A | B | A=A*B | |
| Agua | m ³ | 0,001 | 0,200 | 0,0002 | |
| Cemento | kg | 1,667 | 0,153 | 0,255 | |
| Polvo | m ³ | 0,003 | 2,500 | 0,009 | |
| Plástico | kg | 0,644 | 0,500 | 0,322 | |
| Chasqui | kg | 0,952 | 0,007 | 0,007 | |
| SUBTOTAL | | | | | 0,593 |
| TOTAL, COSTO DIRECTO | | | | | 0,676 |
| INDIRECTOS Y UTILIDADES | | | | | 0,050 |
| OTROS INDIRECTOS | | | | | |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO | | | | | 0,73 |



ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

| COSTO BLOQUE 10 x 20 x 40 cm. CON 100 % DE PET_30 ctvs | | | | | |
|--|----------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|
| EQUIPOS | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Herramienta menor (5% de M.O) | | | | | 0,00334 |
| Mezcladora (10%M.O.) | | | | | 0,00667 |
| Maquina vobrocompactadora (10% M.O.) | | | | | 0,00667 |
| Subtotal | | | | | 0,01668 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | JORNAL/HORA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Peón (estruc.ocup.E2) | 2,0000 | 2,5088 | 5,0176 | 0,0133 | 0,0667 |
| Subtotal | | | | | 0,0667 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P. UNITARIO | COSTO | |
| | | A | B | A=A*B | |
| Agua | m ³ | 0,001 | 0,200 | 0,0002 | |
| Cemento | kg | 1,667 | 0,153 | 0,255 | |
| Polvo | m ³ | 0,003 | 2,500 | 0,009 | |
| Plástico | kg | 1,280 | 0,300 | 0,384 | |
| SUBTOTAL | | | | | 0,648 |
| | | | TOTAL, COSTO DIRECTO | | 0,731 |
| | | | INDIRECTOS Y UTILIDADES: | | 0,050 |
| | | | OTROS INDIRECTOS | | |
| | | | COSTO TOTAL DEL RUBRO | | 0,78 |



| COSTO BLOQUE 10 x 20 x 40 cm. CON 50 % DE PET_30 ctvs | | | | | |
|---|----------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|
| EQUIPOS | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Herramienta menor (5% de M.O) | | | | | 0,0033 |
| Mezcladora (10%M.O.) | | | | | 0,0067 |
| Maquina vobrocompactadora (10% M.O.) | | | | | 0,0067 |
| Subtotal | | | | | 0,0167 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | JORNAL/HORA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Peón (estruc.ocup.E2) | 2 | 2,51 | 5,0176 | 0,0133 | 0,0667 |
| Subtotal | | | | | 0,0667 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P. UNITARIO | COSTO | |
| | | A | B | A=A*B | |
| Agua | m ³ | 0,001 | 0,200 | 0,0002 | |
| Cemento | kg | 1,667 | 0,153 | 0,255 | |
| Polvo | m ³ | 0,003 | 2,500 | 0,009 | |
| Plástico | kg | 0,644 | 0,300 | 0,193 | |
| Chasqui | kg | 0,952 | 0,007 | 0,007 | |
| SUBTOTAL | | | | | 0,464 |
| | | | TOTAL, COSTO DIRECTO | | 0,547 |
| | | | INDIRECTOS Y UTILIDADES: | | 0,050 |
| | | | OTROS INDIRECTOS | | |
| | | | COSTO TOTAL DEL RUBRO | | 0,60 |

ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURALES A BASE DE MORTERO CON POLÍMEROS PET

| COSTO BLOQUE 10 x 20 x 40 cm. CON 100 % DE PET_10 ctvs | | | | | |
|--|----------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|
| EQUIPOS | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Herramienta menor (5% de M.O) | | | | | 0,00334 |
| Mezcladora (10%M.O.) | | | | | 0,00667 |
| Maquina vobrocompactadora (10% M.O.) | | | | | 0,00667 |
| Subtotal | | | | | 0,01668 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | JORNAL/HORA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Peón (estruc.ocup.E2) | 2,0000 | 2,5088 | 5,0176 | 0,0133 | 0,0667 |
| Subtotal | | | | | 0,0667 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P. UNITARIO | COSTO | |
| | | A | B | A=A*B | |
| Agua | m ³ | 0,001 | 0,2000 | 0,000 | |
| Cemento | kg | 1,667 | 0,153 | 0,255 | |
| Polvo | m ³ | 0,003 | 2,500 | 0,009 | |
| Plástico | kg | 1,280 | 0,100 | 0,128 | |
| SUBTOTAL | | | | | 0,392 |
| | | | TOTAL, COSTO DIRECTO | | 0,475 |
| | | | INDIRECTOS Y UTILIDADES: | | 0,050 |
| | | | OTROS INDIRECTOS | | |
| | | | COSTO TOTAL DEL RUBRO | | 0,53 |



| COSTO BLOQUE 10 x 20 x 40 cm. CON 50 % DE PET_10 ctvs | | | | | |
|---|----------------|-------------|------------------------------|-------------|-------------|
| EQUIPOS | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Herramienta menor (5% de M.O) | | | | | 0,0033 |
| Mezcladora (10%M.O.) | | | | | 0,0067 |
| Maquina vobrocompactadora (10% M.O.) | | | | | 0,0067 |
| Subtotal | | | | | 0,0167 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | JORNAL/HORA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C=A*B | R | D=C*R |
| Peón (estruc.ocup.E2) | 2 | 2,51 | 5,0176 | 0,0133 | 0,0667 |
| Subtotal | | | | | 0,0667 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P. UNITARIO | COSTO | |
| | | A | B | A=A*B | |
| Agua | m ³ | 0,0008 | 0,2000 | 0,0002 | |
| Cemento | kg | 1,667 | 0,153 | 0,255 | |
| Polvo | m ³ | 0,003 | 2,500 | 0,009 | |
| Plástico | kg | 0,644 | 0,100 | 0,064 | |
| Chasqui | kg | 0,952 | 0,007 | 0,007 | |
| SUBTOTAL | | | | | 0,335 |
| | | | TOTAL, COSTO DIRECTO | | 0,419 |
| | | | INDIRECTOS Y UTILIDADES: | | 0,050 |
| | | | OTROS INDIRECTOS | | |
| | | | COSTO TOTAL DEL RUBRO | | 0,47 |