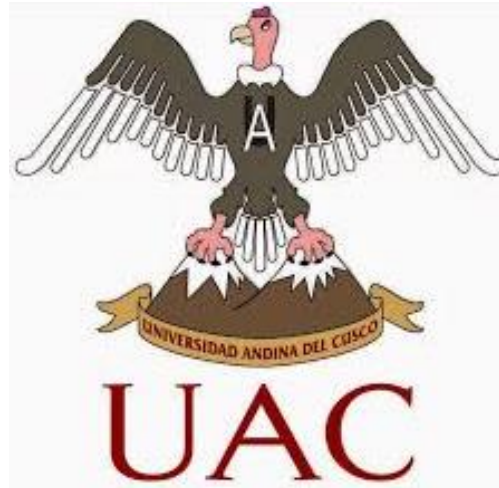




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE UN PROTOTIPO DE LADRILLO MACIZO
DE CEMENTO SUSTITUYENDO EL AGREGADO FINO POR PET RESPECTO A
UN LADRILLO ARTESANAL, CUSCO-2018”**

Presentado por:

Bach. Juan Pablo Flores Florez

Bach. Ronald Joseph Ochoa Terán

Para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Víctor Chacón Sánchez.

CUSCO-PERÚ

2019



Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mi padre, quien me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por sí mismo. También está dedicado a mi madre, quien me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez., a mis hermanos por brindarme su tiempo, que, con ejemplo, valores estuvieron a mi lado, siempre pendientes; a mi asesor quien me tuvo paciencia para lograr mis objetivos, A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Juan Pablo Flores Florez

Dedico este trabajo de investigación al forjador de mi camino, a nuestro padre celestial, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo, a mis amados padres Ronald e Isabel por su sacrificio y esfuerzo por darme una carrera profesional para mi futuro y por creer en mi capacidad; a mis hermanas quienes con sus palabras de aliento no me dejaron caer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales; a mi asesor quien me tuvo paciencia para lograr mis objetivos, a mis amigos que me dieron todo su apoyo y tiempo; a mis amigos y compañeros presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas.

Ronald Joseph Ochoa Teran



Agradecimientos

A mis padres, por ser el pilar fundamental de mi desarrollo personal y apoyarme en todo momento.

A mis hermanos, por ser parte importante de mi vida.

A mi asesor, Ing. Víctor Chacón Sánchez por su valiosa guía y asesoramiento durante la elaboración de este proyecto.

A mis amigos por el tiempo, el apoyo, las ganas de aportar y sacar esto adelante.

A mis dictaminantes, por su constante apoyo y guía para la culminación del presente proyecto.

Juan Pablo Flores Florez

A Dios que permite todos mis logros, que son resultado de tu ayuda, y cuando caigo me pones a prueba, aprendo de mis errores, y me doy cuenta de lo que pones en frente mío para que mejore como ser humano, y crezca de diversas maneras.

A mis padres, por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar, y creer en mi y en mis expectativas, gracias por sus consejos y por cada una cada una de sus palabras que me guiaron cada día.

A mis hermanas, por estar siempre presentes, y mucho más cuando les he necesitado, agradecerles en esta ocasión tan especial, por todas sus ayudas y compromisos, les agradezco de corazón.

A mi asesor, Ing. Víctor Chacón Sánchez. Por su valiosa guía y asesoramiento durante la elaboración de este proyecto.

A mis dictaminantes, Ing. Rode Luz Arohuanca Sosa e Ing. Camilo Mendoza Escalante, por su paciencia, tiempo y guía que ayudaron a la culminación de este proyecto.

A mis amigos y compañeros de vida y trabajo por el tiempo, que con respeto y decencia realizaron aportes a esta tesis, gracias a todos.

Ronald Joseph Ochoa Terán



Resumen

La investigación se desarrolló en la Ciudad de Cusco, departamento de Cusco, teniendo como finalidad analizar y evaluar el comportamiento de un prototipo de ladrillo macizo de cemento sustituyendo el agregado fino por PET, encontrando la proporción óptima PET y agregado fino en porcentajes, con relación al volumen del agregado para determinar el aumento en la resistencia a la compresión, disminución en el peso(kg) del prototipo de ladrillo con respecto al ladrillo artesanal, así como la variación dimensional entre ambos ladrillos, variación entre absorción y alabeo. Para la realización de los ensayos de las unidades fueron según las Normas Técnicas Peruanas respectivamente (E0.70). Para la investigación se tiene como muestra el ladrillo artesanal y el prototipo de ladrillo de cemento sustituyendo el agregado fino por PET al 20%, 40%, 60%, 80% y la población para ladrillos artesanales de 14 ladrillos, y la población para los prototipos de ladrillo de 76 ladrillos; ambas muestras fueron sometidas a los ensayos según la Norma Técnica Peruana E070 de variación dimensional, alabeo, peso específico, humedad, resistencia a la compresión ($f'b$) ; Respecto a la metodología de la investigación es hipotético deductivo debido a que obtendremos las conclusiones de los resultados de los ensayos. De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo IV se demostró parcialmente que los prototipos de ladrillo según la dosificación de PET alcanzaron mejores características con respecto a un ladrillo artesanal siguiendo los parámetros de la Norma Técnica Peruana E070, con una dosificación de sustitución de PET al 80% se tiene un prototipo de ladrillo más ligero y con una resistencia a la compresión que supera los parámetros permisibles de la Norma Técnica Peruana E 070, para albañilería No Portante, no se demostró un incremento en la resistencia a la compresión pero los parámetros de alabeo son mínimos con respecto a un ladrillo artesanal, respecto a los porcentajes de absorción entre los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales, fue mínimo ya que el PET es un material más impermeable, de esta manera los prototipos de ladrillo en las distintas dosificaciones planteadas por sus características físico mecánicas demuestran valores permisibles aplicando la Norma Técnica Peruana E 070 y es viable su aplicación en albañilería no portante.

Palabras claves: PET, ladrillo macizo, ladrillo artesanal, prototipo, resistencia a la compresión, absorción, variación, alabeo, agregado fino, Norma Técnica.



Abstract

The research was carried out in the City of Cusco, department of Cusco, with the purpose of analyzing and evaluating the behavior of a prototype of solid cement brick replacing the fine aggregate with PET, finding the optimal proportion PET and fine aggregate in percentages, in relation to the volume of the aggregate to determine the increase in compressive strength, decrease in the weight (kg) of the brick prototype with respect to the artisanal brick, as well as the dimensional variation between both bricks, variation between absorption and warping. For the realization of the tests of the units were according to the Peruvian Technical Standards respectively (E0.70). For the investigation, the artisan brick and the cement brick prototype are shown, replacing the fine aggregate with 20%, 40%, 60%, 80% PET and the population for artisan bricks of 14 bricks, and the population for 76 brick bricks prototypes; both samples were subjected to the tests according to the Peruvian Technical Standard E070 of dimensional variation, warping, specific weight, humidity, compressive strength (f^b); Regarding the research methodology, it is hypothetical deductive because we will obtain the conclusions of the test results. According to the results obtained in Chapter IV, it was partially demonstrated that the brick prototypes according to the PET dosage achieved better characteristics with respect to an artisanal brick following the parameters of the Peruvian Technical Standard E070, with a replacement dosage of PET at 80% has a lighter brick prototype with a compressive strength that exceeds the permissible parameters of the Peruvian Technical Standard E 070, for Non-Carrying masonry, an increase in compressive strength was not demonstrated but the parameters of warping are minimal with respect to an artisanal brick, with respect to the absorption percentages between brick prototypes and artisanal bricks, it was minimal since PET is a more impermeable material, in this way the brick prototypes in the different dosages proposed by their physical mechanical characteristics demonstrate permissible values apply do the Peruvian Technical Standard E 070 and its application in non-bearing masonry is viable.

Keywords: PET, solid brick, artisanal brick, prototype, resistance to compression, absorption, variation, warping, fine aggregate, Technical Standard.



Introducción

El presente trabajo de investigación se da debido a que en la sociedad de la ciudad de Cusco uno de los principales residuos sólidos los envases de PET el cual no es reciclado correctamente ni recibe tratamiento industrial, por lo cual se propone la reutilización de las botellas de plástico de PET para utilizarlo como aditivo sustituyendo por el agregado fino para producir los prototipos de ladrillo, por lo cual el presente trabajo de investigación trata de diseñar, elaborar y analizar las propiedades físico mecánicas de los prototipos de ladrillo siguiendo el marco normativo Norma Técnica Peruana E 070, siendo este producto una alternativa a los ladrillos artesanales por lo cual se realizó un análisis comparativo.

Se planteó el estudio y elaboración de un prototipo de ladrillo macizo de cemento cuyos insumos principales fueron adquiridos en el departamento de Cusco, como son el cemento Portland IP, agregado fino de la cantera de Cunyac, y el PET.

También se sustentaron las distintas dosificaciones expresadas en porcentaje de PET, en proporción del volumen de agregado fino, utilizando tablas para demostrar mediante la interpretación de los resultados de los ensayos de laboratorio las variaciones respecto a la resistencia a la compresión, alabeo, variación dimensional, y absorción, en consecuencia, optimizar las características antes mencionadas.

Se efectuó un análisis de costos unitarios para conocer el costo de elaboración del prototipo de ladrillo macizo de cemento, detallando los recursos necesarios que implicaron para cotejar la viabilidad en comparación al ladrillo artesanal.

El estudio de la evaluación comparativa del prototipo de ladrillo macizo de cemento respecto al ladrillo artesanal se comprobó mediante el cumplimiento de la hipótesis, para ello se determinó la población, extrajo la muestra para aplicar los ensayos de laboratorio y su posterior interpretación de resultados, y realizar el análisis comparativo entre el prototipo de ladrillo macizo de cemento y el ladrillo artesanal, para su aplicación en mampostería no portante.

En esta investigación se llegó al planteamiento de los siguientes cuestionamientos: ¿Cumplirán los bloques de cemento con triturado de PET los requisitos de las normas y los reglamentos establecidos en Perú para este tipo de elementos en la construcción, siendo viables económicamente?



Para la solución a la interrogante antes mencionada, se tomaron como referencias trabajos de investigaciones realizados por otros autores, asociados con el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del PET con el cemento. Uno de los trabajos es el realizado por Tafo, O ‘Sullivan, Harman y Akashi para Curtin University Sarawak y University College Cork en el año 2014, acerca de la caracterización experimental de eco-ladrillos de tereftalato de polietileno (PET). Otro trabajo analizado fue el adelantado por Luís, Rendón y Woody como tesis de grado para la Universidad Central de Caracas en el año 2008, el cual consistió en una investigación experimental donde se elaboraron, ensayaron y caracterizaron Mezclas de Tereftalato de Polietileno (PET) – Cemento. Por último, cabe resaltar el manual de producción y aplicación del ladrillo de PET de CEVE, donde se incluyen el uso de plásticos PET (polietileno tereftalato) y otros tipos de polietilenos en la fabricación de bloques o ladrillos para la construcción. Con base en estas investigaciones, se observa que existen estudios de caracterización experimental de los materiales y elaboración de bloques de cemento con PET, pero ninguna de ellas utiliza aditivos para mejorar la adherencia de los materiales y tampoco cumplen con los requisitos de la NSR-10 y de las Normas Técnicas Colombianas NTC del ICONTEC. Por ello, la importancia y pertinencia de esta investigación reside en poder evaluar las distintas propiedades de los bloques y obtener la proporción óptima de PET que cumpla con los requisitos y normas técnicas peruanas.



INDICE

Dedicatoria i

Agradecimientos..... ii

Resumen iii

Abstract iv

Introducción v

1 Capítulo I: Planteamiento del Problema..... 16

1.1 Identificación del Problema..... 16

1.1.1 Descripción del problema..... 16

1.1.2 Formulación interrogativa del problema 17

1.2 Justificación e Importancia de la investigación 18

1.2.1 Justificación técnica..... 18

1.2.2 Justificación social..... 18

1.2.3 Justificación por viabilidad..... 18

1.2.4 Justificación por relevancia 18

1.3 Limitaciones de la Investigación 19

1.3.1 Limitaciones de lugar 19

1.3.2 Limitación temporal 19

1.3.3 Limitaciones de materiales 19

1.3.4 Limitaciones con respecto a ensayos..... 20

1.3.5 Otras limitaciones 20

1.4 Objetivo de la investigación 21

1.4.1 Objetivo General..... 21

1.4.2 Objetivos Específicos 21

2 Capítulo II: Marco Teórico 22

2.1 Antecedentes de la tesis o Investigación Actual 22

2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional..... 22

2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional 24

2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes 28

2.2.1 El ladrillo -Orígenes y desarrollo 28

2.2.2 Albañilería 30

2.2.3 Unidad de Albañilería..... 31

2.2.4 Mortero 34

2.2.5 Polímero PET (Polietileno Tereftalato)..... 34



2.2.6	Agregado	42
2.2.7	Cemento.....	45
2.2.8	Agua	54
2.2.9	Agua para curado.....	55
2.2.10	Requisitos de Calidad	55
2.2.11	Ensayos.....	56
2.3	Hipótesis	58
2.3.1	Hipótesis general	58
2.3.2	Sub hipótesis.....	58
2.4	Definición de variables.....	58
2.4.1	Variables independientes.....	58
2.4.2	Variables dependientes	59
2.4.3	Cuadro de Operacionalización de Variables.	60
3	Capitulo III: Metodología.....	61
3.1	Metodología de la Investigación.....	61
3.1.1	Enfoque de la investigación.....	61
3.1.2	Nivel de la investigación	61
3.1.3	Método de investigación.....	61
3.2	Diseño de la Investigación.....	62
3.2.1	Diseño metodológico	62
3.2.2	Diseño de Ingeniería	63
3.3	Población y Muestra	64
3.3.1	Población	64
3.3.2	Muestra	64
3.3.3	Criterios de inclusión.....	67
3.4	Instrumentos	68
3.4.1	Instrumentos metodológicos de recolección de datos (encuestas, entrevistas, guías de observación)	68
3.4.2	Instrumentos de ingeniería	77
3.5	Procedimiento de recolección de datos	82
3.5.1	Título de la prueba de laboratorio o procedimiento que se realizó para la recolección de datos	82
3.5.2	Muestreo de las Unidades de Albañilería NTP 331.017	82
3.5.3	Determinación del Peso Específico (NTP 399.613 y NTP 399.604)	88
3.5.4	CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO DE CUNYAC Y DEL PET.....	91
3.5.5	Resistencia a la Compresión en pilas NTP 339.613 y 339.604.....	95



3.5.6 Ensayos de compresión en unidades de albañilería artesanal y unidades de albañilería con adición de PET NTP. 339.613 y 339.604..... 97

3.5.7 Ensayo de variación dimensional y Alabeo en ladrillos artesanales y prototipos de ladrillo de cemento 101

3.5.8 Ensayos de Porcentaje de Absorción para unidades de albañilería con adición de PET NTP 339.613 Y 339.604 107

3.6 Procedimiento de análisis de datos..... 110

3.6.1 Variación Dimensional de los Prototipos de Ladrillo y Ladrillos Artesanales 110

3.6.2 Alabeo de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales 117

3.6.3 Absorción de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales 120

3.6.4 Resistencia a la compresión de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales . 123

3.6.5 Análisis de Confiabilidad 126

4 Capítulo IV: Resultados 129

4.1 Resultados de la Resistencia a la Compresión de los prototipos de ladrillo con respecto a los ladrillos artesanales..... 129

4.2 Resultados de absorción de los prototipos de ladrillo con respecto a los ladrillos artesanales 130

4.3 Resultados de variación dimensional de los prototipos de ladrillo con respecto a los ladrillos artesanales 131

4.4 Resultados de Alabeo los prototipos de ladrillo respecto a los ladrillos artesanales.. 133

4.5 Resultados del Peso de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales..... 134

4.6 Resultados de Granulometría del agregado fino y del PET 134

5 Capítulo V: Discusión 137

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características del ladrillo artesanal KK..... 28

Tabla 2: Parámetros de producción del ladrillo artesanal KK (por horno) 29

Tabla 3: propiedades de los plásticos más comunes 37

Tabla 4: Características Físico-químicas del PET..... 40

Tabla 5: Características Físico-mecánicas del PET 41

Tabla 6. Adecuación para calcular la granulometría del PET..... 42

Tabla 7: Características de los Agregados 43

Tabla 8: Características de los Ensayos 44

Tabla 9: Límites de granulometría para el agregado fino 44



Tabla 10: Tamices estándar ASTM..... 45

Tabla 11: Componentes Químicos del Cemento..... 50

Tabla 12 Resistencia de los cementos tipo I, II, III, IV, V..... 54

Tabla 13: Tipos de curado..... 55

Tabla 14: Límites Permisibles para agua de mezcla y curado según la norma itintec 339.08856

Tabla 15 Cuadro de Operacionalización de Variables 60

Tabla 16: muestras a ensayar a compresión 65

Tabla 17: Ensayos de absorción 66

Tabla 18: Ensayos de variación dimensional 66

Tabla 19: Ensayos de alabeo 66

Tabla 20: Ensayo a Pilas 67

Tabla 21. Datos obtenidos del ensayo de Peso específico de la dosificación del 20% de PET.
..... 89

Tabla 22. Datos obtenidos del ensayo de Peso Específico de la dosificación del 40% de PET.
..... 89

Tabla 23. Datos obtenidos del ensayo de Peso Específico de la dosificación del 60% de PET.
..... 90

Tabla 24. Datos obtenidos del ensayo de Peso Específico de la dosificación del 80% de PET.
..... 90

Tabla 25: Granulometría del agregado fino 93

Tabla 26: Granulometría del PET 94

Tabla 27. Formato de recolección de datos para el ensayo de compresión con PET al 20% .. 99

Tabla 28. Formato de recolección de datos para el ensayo de compresión con PET al 40% 100

Tabla 29. Formato de recolección de datos para el ensayo de compresión con PET al 60% 100

Tabla 30. Formato de recolección de datos para el ensayo de compresión con PET al 80% 100

Tabla 31. Toma de datos para los valores de Variación dimensional de los prototipos de ladrillo
con 20% de PET..... 103

Tabla 32. Toma de datos para los valores de Variación dimensional de los prototipos de ladrillo
con 40% de PET..... 104

Tabla 33. Toma de datos para los valores de Variación dimensional de los prototipos de ladrillo
con 60% de PET..... 104

Tabla 34. Toma de datos para los valores de Variación dimensional de los prototipos de ladrillo
con 80% de PET..... 105



Tabla 35. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 20% de PET..... 105

Tabla 36. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 40% de PET..... 105

Tabla 37. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 60% de PET..... 106

Tabla 38. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 80% de PET..... 106

Tabla 39. Toma de datos para el ensayo de Peso Específico en el prototipo de ladrillo con 20% de PET..... 109

Tabla 40. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 40% de PET..... 109

Tabla 41. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 60% de PET..... 109

Tabla 42. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 80% de PET..... 110

Tabla 43. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 20% de PET..... 111

Tabla 44. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 20% de PET..... 111

Tabla 45. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 20% de PET..... 112

Tabla 46. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 40% de PET..... 112

Tabla 47. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 40% de PET..... 113

Tabla 48. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 40% de PET..... 113

Tabla 49. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 60% de PET..... 114

Tabla 50. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 60% de PET..... 114

Tabla 51. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 60% de PET..... 115



Tabla 52. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 80% de PET..... 115

Tabla 53. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 80% de PET..... 116

Tabla 54. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 80% de PET..... 116

Tabla 55. Variación Dimensional promedio en mm. 117

Tabla 56. Variación Dimensional promedio en porcentaje..... 117

Tabla 57. Resultados de los Valores de alabeo para los prototipos de ladrillo con 20% de PET. 118

Tabla 58. Resultados de los Valores de alabeo para los prototipos de ladrillo con 40% de PET. 118

Tabla 59. Resultados de los Valores de alabeo para los prototipos de ladrillo con 60% de PET. 119

Tabla 60. Resultados de los Valores de alabeo para los prototipos de ladrillo con 80% de PET. 119

Tabla 61. Resultados de los Valores de alabeo para los ladrillos artesanales..... 120

Tabla 62. Resultados de Alabeo promedio..... 120

Tabla 63. Resultados de absorción para los prototipos de ladrillo con 20% de PET..... 121

Tabla 64. Resultados de absorción para los prototipos de ladrillo con 40% de PET..... 121

Tabla 65. Resultados de absorción para los prototipos de ladrillo con 60% de PET..... 122

Tabla 66. Resultados de absorción para los prototipos de ladrillo con 80% de PET..... 122

Tabla 67. Resultados de absorción para los ladrillos artesanales..... 122

Tabla 68. Resultados de absorción promedio..... 123

Tabla 69. Resultados de compresión para los prototipos de ladrillo con 20% de PET..... 124

Tabla 70. Resultados de compresión para los prototipos de ladrillo con 40% de PET..... 124

Tabla 71. Resultados de compresión para los prototipos de ladrillo con 60% de PET..... 125

Tabla 72. Resultados de compresión para los prototipos de ladrillo con 80% de PET..... 125

Tabla 73. Resultados de compresión para los ladrillos artesanales..... 126

Tabla 74. Resultados de Resistencia a Compresión Promedio. 126

Tabla 75. Cálculo de alfa de Cronbach para el ensayo de resistencia a la compresión. 127

Tabla 76. Resultados de resistencia a compresión en kg/cm². 129

Tabla 77. Resultados de absorción promedio en porcentaje 130

Tabla 78. Resultados de Variación Dimensional Promedio en milímetros..... 131



Tabla 79. Resultados de alabeo en milímetros..... 133
Tabla 80. Resultados de peso promedio en gramos. 134
Tabla 81. Resultados de Agregado Fino 135
Tabla 82. Parámetros del Módulo Finura Permisibles 136
Tabla 83. Resultados del Módulo de Finura para el Agregado Fino..... 136
Tabla 84. Resultados de la granulometría del PET 136
Tabla 85. Resultados del Módulo de Fineza para el PET 137

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica del área de estudio 16
Figura 2. Esquema de los procesos de producción del ladrillo 30
Figura 3. Molde en diferentes partes del País (Perú) 33
Figura 4. Aparato de Vicat 47
Figura 5. Hidratación de los granos de cemento en función a la finura 48
Figura 6. Cemento Portland Tipo IP 51
Figura 7. Cemento Portland Tipo II 52
Figura 8. Cemento Portland Tipo IV 53
Figura 9. Flujograma 63
Figura 10. Formato de Recolección de Datos Absorción y Variabilidad Dimensional 69
Figura 11. Formato de Recolección de Datos para Compresión y Alabeo 70
Figura 12. Formato de Recolección de datos para Granulometría 71
Figura 13. Hoja de recolección de datos del ensayo de Peso Específico 72
Figura 14. Hoja de recolección de datos del ensayo de absorción 73
Figura 15. Hoja de recolección de datos del ensayo de variabilidad 74
Figura 16. Hoja de recolección de datos del ensayo de Alabeo 75
Figura 17. Hoja de recolección de datos del Ensayo de Compresión Simple 76
Figura 18. Máquina de Compresión 77
Figura 19. Discos Rectangulares para ensayo a compresión 78
Figura 20. Juego de Tamices 78
Figura 21. Balanza Electrónica 79
Figura 22. Balanza Electrónica 79
Figura 23. Horno 80
Figura 24. Regla Metálica 81



Figura 25. Bernier 81

Figura 26. Adquisición de los ladrillos artesanales en la ladrillera "LATESAN" 82

Figura 27. Condiciones de transporte y almacenamiento de los ladrillos artesanales 83

Figura 28. Selección de los ladrillos artesanales..... 83

Figura 29. Selección del PET triturado 85

Figura 30. Pesaje para comenzar la dosificación del PET 85

Figura 31. Dosificación para los distintos porcentajes de PET..... 86

Figura 32. Mezcla de los materiales para la elaboración de los prototipos de ladrillo. 86

Figura 33. Separando las proporciones para las distintas dosificaciones empleadas..... 87

Figura 34. Mezcla de Concreto con las distintas dosificaciones de PET..... 87

Figura 35. Echado la mezcla a los moldes. 87

Figura 36. Balanza Electrónica UNITEST 88

Figura 37. Balanza Electrónica del laboratorio de la UAC..... 88

Figura 38. Pesaje del ladrillo artesanal..... 89

Figura 39. Pesaje del PET seleccionado para la determinación de su granulometría. 92

Figura 40. Tamizado y zarandeo del PET. 92

Figura 41. Revisión de los tamices después del zarandeo..... 93

Figura 42. Gradación del PET..... 93

Figura 43. Curva Granulométrica del Agregado Fino..... 94

Figura 44. Curva Granulométrica del PET..... 95

Figura 45. Pila de Ladrillo Artesanal 96

Figura 46. Ensayo de Pilas de ladrillo artesanal..... 96

Figura 47. Maquina compresión universal con el prototipo de ladrillo 97

Figura 48. Prototipo de ladrillo posterior a la rotura..... 98

Figura 49. Prototipos de ladrillo después del ensayo de compresión..... 98

Figura 50. Prototipos de ladrillo en el laboratorio de la UAC. 99

Figura 51. Toma de datos ancho en los prototipos de ladrillo. 101

Figura 52. Medición para los valores de concavidad - convexidad en los prototipos de ladrillo.
..... 102

Figura 53. Toma de datos para variación dimensional en los prototipos de ladrillo en el
laboratorio del a UAC. 102

Figura 54. Toma de datos para los valores de alabeo en el laboratorio de la UAC. 103

Figura 55. Prototipos de ladrillo sumergidos para el ensayo de absorción. 107

Figura 56. Prototipo de ladrillo saturado..... 108



Figura 57. Toma de datos del prototipo saturado en el laboratorio de la UAC.	108
Figura 58. Criterio de Alfa de Cronbach para ver fiabilidad de datos.	127
Figura 59. Variación de resistencia a compresión en kg7cm2.	129
Figura 60. Variación de porcentaje de absorción.	130
Figura 61. Variación dimensional en milímetros.	131
Figura 62. Resultados de Variación Dimensional Promedio en porcentaje.	132
Figura 63. Variación dimensional promedio en porcentaje.	132
Figura 64. Valores de alabeo promedio en milímetros.	133
Figura 65. Valores de peso promedio en gramos.	134
Figura 66. Curva Granulométrica del Agregado Fino.....	135
Figura 67. Curva Granulométrica del PET.....	136

1 Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1 Identificación del Problema

El área de estudio corresponde al distrito de San Jerónimo con las siguientes coordenadas $13^{\circ} 33' 7.39''$ S y $71^{\circ} 52' 52.73''$ W, sobre los 3262 m.s.n.m., debido a que la elaboración de los ladrillos artesanales tiene como materia prima la arcilla común y el agua, donde la dosificación y elaboración son de manera artesanal, se hizo la adquisición de los ladrillos artesanales en la ladrillera “LATESAN, donde se observó la elaboración de los ladrillos artesanales y se verificó que se ejecuta en condiciones óptimas.

Se utilizará como agregado fino (arena fina) para la elaboración de los prototipos de ladrillo macizo de cemento, el proveniente de la cantera de Cunyac, que es óptima calidad, cuya vía de acceso de entrada se encuentra en las siguientes coordenadas $12^{\circ} 51' 52.6''$ S y $74^{\circ} 53' 02.5''$ W, sobre los 2900 m.s.n.m.

El PET (polietileno tereftalato) triturado, que sustituirá al agregado fino, se adquirió de proveedores en el distrito de San Sebastián, provincia de Cusco.



Figura 1. Ubicación Geográfica del área de estudio

1.1.1 Descripción del problema

Los ladrillos artesanales en la ladrillera “LATESAN” generan una alta oferta y demanda en la Ciudad de Cusco aplicando dichos ladrillos a la construcción de muros portantes y no portantes (en distintas obras), estos ladrillos artesanales otorgan un peso significativo en las estructuras muchas veces cumpliendo solo la función de muros de cerramientos (muros no portantes) teniendo un procedimiento de elaboración tradicional, manual. El personal que realiza la



elaboración del ladrillo usualmente no es calificado y el proceso de cocción del ladrillo es altamente contaminante, producto de estas observaciones se plantea como alternativa de solución la elaboración del prototipo de ladrillo macizo de cemento sustituyendo el agregado fino por PET triturado, el cuál es un material que resulta de la reutilización de un residuo sólido bastante común como son las botellas de plástico triturado.

1.1.2 Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál será la variación de las características físico mecánicas entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070 para albañilería no portante?

1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos

Problema 1: ¿Cuál será la variación de la resistencia a la compresión entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80% con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070?

Problema 2: ¿Cuál será la variación del peso específico compresión entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070?

Problema 3: ¿Cuál será la variación del alabeo entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070?

Problema 4: ¿Cuál el porcentaje de variación dimensional entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070?

Problema 5: ¿Cuál será la absorción entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070?



1.2 Justificación e Importancia de la investigación

1.2.1 Justificación técnica

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el área de albañilería y de tecnología de materiales.

Se planteó un prototipo de ladrillo macizo de cemento sustituyendo el agregado fino por PET, cuya sustitución mejora las propiedades físico mecánicas.

Con los porcentajes óptimos en sustitución del agregado fino por PET, resulta un prototipo de ladrillo macizo de cemento (para albañilería no portante), al reducir el peso resulta un prototipo de ladrillo más ligero con una buena resistencia a la compresión y así dar a conocer nuevos procesos constructivos utilizando el PET.

1.2.2 Justificación social

El presente trabajo de investigación busca dar una alternativa sostenible para el medio ambiente y que mejora la calidad de vida del área de influencia, dando valor agregado al residuo sólido en este el caso el PET obtenido de la reutilización de las botellas trituradas para su aplicación como aditivo en sustitución del agregado fino para la construcción.

De la misma manera se busca fomentar la investigación en nuevas tecnologías alternativas y sostenibles, en el rubro de la construcción para que sea un aporte, antecedente y consulta para posteriores trabajos de investigación académicos y proyectos en beneficio de nuestra comunidad profesional y social.

1.2.3 Justificación por viabilidad

El estudio es viable puesto que cuenta con la logística necesaria, el financiamiento adecuado y la disponibilidad de tiempo para llevar de manera adecuada el desarrollo del trabajo de investigación.

1.2.4 Justificación por relevancia

El presente trabajo de investigación proporciona valor agregado al PET triturado como aditivo sostenible en sustitución del agregado fino para la elaboración de ladrillos prototipos de cemento, determinando el porcentaje óptimo de PET triturado que optimice las propiedades



físico mecánicas respecto a un ladrillo artesanal, utilizando los parámetros de la Norma E. 070, para obtener un prototipo de ladrillo funcional y adecuado, contribuyendo al desarrollo sostenible.

1.3 Limitaciones de la Investigación

1.3.1 Limitaciones de lugar

El presente trabajo de investigación tiene como ámbito de influencia la Ciudad del Cusco, la cual se encuentra a 3.399 msnm, situado en la parte suroriental del país, que comprende territorios mayormente montañosos con una latitud Sur: 11° 13'19", longitud oeste: entre meridianos 72° 59'52" y 73° 57' 45", su clima es frío y seco de mayo a diciembre y lluvioso en los meses de enero hasta abril. La temperatura media en la ciudad es de 12 °C siendo la máxima de 18 °C y la mínima alrededor de 4 °C más o menos. (Garayar, 2003)

El agregado fino utilizado en la fabricación de los prototipos de ladrillo se limita a la cantera de Cunyac, que se encuentra aproximadamente en el departamento de Apurímac, en la carretera que conduce a Abancay la cuál provee de material fino, el cuál es de buena calidad, este material se transporta desde la ribera del río Apurímac.

1.3.2 Limitación temporal

El presente trabajo de investigación se realizó durante los meses de enero a junio del 2018 y noviembre del 2018 a febrero del 2019 teniendo un total de 10 meses de investigación, en el cual se realizó la adecuada investigación teórica y la realización de los ensayos para cada caso. Realizándose también ensayos complementarios durante el mes de junio del 2019.

1.3.3 Limitaciones de materiales

- Se trabajó con agregado fino que es arena fina proveniente de la cantera de Cunyac.
- El agregado fino debe cumplir con la granulometría de la norma E070 de albañilería.
- El PET triturado se adquirió de los recicladores del distrito de San Sebastián.
- El PET triturado debe cumplir con la granulometría de la norma E070 de albañilería para poder sustituir al agregado fino.
- Se utilizó el cemento Portland tipo IP.



- Los porcentajes de sustitución del PET triturado en relación al volumen de agregado fino (20%, 40%, 60%, 80%), responde a antecedentes encontrados mientras se desarrolló el proyecto de investigación.
- Los ladrillos artesanales adquiridos en la ladrillera “LATESAN” son del tipo King Kong 18 huecos, con una dimensión 24 x 12 x 9 cm.
- Los prototipos de ladrillo de cemento sustituyendo el agregado fino por PET tienen una dimensión de 24 x 12 x 9 cm.

1.3.4 Limitaciones con respecto a ensayos

- Se limita a plantear la dosificación cemento y agregado fino (arena fina) por ladrillo, en volumen de 1:1, donde el primer dígito corresponde a una jarra plástica y media de cemento con un volumen de 1500 cm³, y el segundo dígito corresponde a una jarra plástica y media de agregado fino con un volumen de 1500 cm³, respecto a esta dosificación se sustituyó el agregado fino por PET en volumen del 20%, 40%, 60% y 80% teniendo de esta manera 4 dosificaciones volumétricas.
- Se limita la dosificación del agua de una relación en volumen 1:1 obteniendo una mezcla semihúmeda para las 4 dosificaciones antes mencionadas.
- Se limita a evaluar la resistencia a la compresión de acuerdo a la NTP 399.613 y 339.604 para muros no portantes.
- Se limita a evaluar el alabeo de acuerdo a la NTP 399.613 para muros no portantes.
- Se limita a evaluar la variación dimensional de acuerdo a la NTP 399.613 y 339.604 para muros no portantes.
- Se limita a evaluar la absorción de acuerdo a la NTP 399.613 y 339.604 para muros no portantes.
- Se limita a realizar los ensayos en un laboratorio UNITEST de la ciudad del Cusco.
- Se limita a realizar los ensayos complementarios en el Laboratorio de Concreto, Asfalto y Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco.

1.3.5 Otras limitaciones

- El financiamiento fue propio de los investigadores.



1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivo General

Evaluar las características físico mecánicas entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070.

1.4.2 Objetivos Específicos

Objetivo 1: Determinar la resistencia a la compresión f'_b a la que llegarán los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070.

Objetivo 2: Determinar el peso específico entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80% con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070.

Objetivo 3: Determinar la variación del alabeo entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070.

Objetivo 4: Determinar la variación dimensional entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070.

Objetivo 5: Determinar la absorción obtenida entre los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070.



2 Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la tesis o Investigación Actual

2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional

Tema: Análisis de las propiedades de un prototipo de unidad de albañilería fabricada a partir de suelo-cemento y fibras de polipropileno en la ciudad del Cusco (tesis pregrado)

Universidad Andina del Cusco

Publicado: 2016, Cusco – Perú.

Autores: Delgado Salazar ,William y Bravo Paredes, Juan José

Resumen:

En el siguiente estudio se analizaron las propiedades tanto clasificatorias como resistencia a la compresión, alabeo y variación dimensional, así como las no clasificatorias como absorción, succión y peso de unidades de albañilería elaboradas a partir de suelo cemento adicionadas con fibras de polipropileno

Los materiales empleados para el diseño de suelo tanto la arena como la arcilla fueron extraídos de la zona ladrillera de San Jerónimo, el cemento utilizado fue el de la empresa “Yura” tipo IP y las fibras de polipropileno fueron las conocidas comercialmente como Sikafiber comercializadas por la empresa “Sika”

En la presente investigación se detalla el proceso y la metodología que fue usada para el diseño y la fabricación de estas unidades las cuales fueron moldeadas, compactadas, curadas y finalmente ensayadas a los 21 días de su fabricación

Las unidades elaboradas fueron de dimensiones de 25x14x10.5 con dos perforaciones centrales de 5cm de diámetro, se hicieron 4 tipos de mezcla, el primero sin adición alguna de fibras de polipropileno, el segundo con 1gr de fibras de polipropileno por kilogramo de mezcla, el tercero con 3gr de fibras de polipropileno por kg de mezcla y finalmente el cuarto con 5gr de fibras de polipropileno por kg de mezcla

Conclusión:

Finalmente, de acuerdo con los resultados se evidencio que las fibras de polipropileno mejoraron el comportamiento de la unidad con respecto a su resistencia a la compresión, alabeo,



variación dimensional sin embrago no tuvieron un efecto notable en la absorción, succión y peso, siendo las mejores unidades en cuanto a costo y beneficio las unidades adicionadas con 3gr de fibra por kg de mezcla

2.1.1.1 Antecedente a nivel Nacional 02

Tema: Análisis de la determinación de las propiedades físico mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado.

Universidad Nacional de San Agustín

Publicado: 2014 Arequipa-Perú

Autor: Paz Gonzales, Erwin Edgardo

Resumen:

La utilización de plásticos reciclados para la elaboración de ladrillos nació de una inquietud ecológica, que reconoce la importancia del reciclado para reducir la cantidad de residuos que se entierran sin utilidad alguna o que se acumulan y queman en basurales a cielo abierto produciendo contaminación. Los plásticos que se utilizan es el PET (polietileno tereftalato) con un 70% de composición y el HDPE (polietileno de alta densidad) con un 30 % de composición, procedentes de envases de bebidas y plásticos varios. El primer paso en esta tecnología es el triturado de los residuos plásticos, permite romper el material y con ello facilitar el retiro de sustancias que acompañan a los desechos, quedando finalmente el material con un tamaño de partículas aproximadamente de 1 cm. El segundo paso es el lavado, se introduce el plástico triturado en la lavadora con agua y detergente. El mejor sistema para la recogida de plásticos y posterior reciclado se basa en agrupar aquellos que sean fáciles de identificar, teniéndolos en su estado puro. Luego, el material es sometido a varias etapas de enjuague, para retirar restos de grasas, partículas y todos los productos que se agregaron en el proceso de limpieza. El tercer paso es el centrifugado, consiste en hacer girar el material para extraer el grueso del agua que le queda entre las distintas partes molidas, con esto se extrae hasta el 95% del agua, pero como el 5% residual es una excesiva cantidad de agua para poder llegar a la extrusión o a la inyectora, se le da al material un tiempo adicional de secado a temperatura ambiente. El último paso es el proceso de inyección donde se funde, mezcla e inyecta los plásticos. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el plástico que se desea fundir.

**Conclusión:**

El ladrillo de plástico reciclado utilizado en el proyecto tiene una combinación de 70% de PET y 30% de PEAD lo que lo hace un ladrillo liviano por el peso específico de la materia prima y a su vez por su alto contenido de PET un material combustible de muy baja propagación de llama y buen aislante térmico. Al ser sometido al ensayo de alabeo el ladrillo de plástico reciclado presentó caras uniformes lo que lo haría de fácil instalación y acoplamiento; y en su ortogonalidad presentó una desviación de 0.8mm la cual se mejoraría por la utilización del molde optimizado expuesto en el proyecto.

Fuente: (Paz, 2014)

2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional

Tema: Elaboración de bloques en cemento utilizando el plástico polietileno-tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción

Universidad de Cartagena

Publicado: 2016, Cartagena - Colombia

Autores: Caballero Meza, Brayan y Florez Lengua, Orlando

Resumen:

La alternativa estudiada, es la de sustituir un porcentaje (12,5%, 25% y 37,5%) en volumen de agregado fino por plástico PET triturado y recolectado como desecho para la fabricación de bloques de hormigón de 6 pulgadas. El estudio de factibilidad consiste en que la alternativa, para diferentes sustituciones mantenga la geometría y proceso de fabricación de un bloque convencional, cumpliendo con los parámetros de resistencia, absorción, densidad y humedad de las normativas NSR-10 y Normas Técnicas Colombianas NTC del ICONTEC.

Los resultados demuestran que la alternativa es factible bajo los parámetros mencionados en el párrafo anterior; ya que los bloques con PET mostraron una reducción de peso por unidad, se redujo en un 2% la masa en comparación a los bloques convencionales, para la sustitución de 37,5% de arena. Resistencias superiores para la sustitución de 12,5% y 25% de agregado (3,5 y 3,2 MPa respectivamente) contra la de 0% (2,83 MPa), debido a estos valores en las resistencias el porcentaje de absorción del agua cumple, al arrojar magnitudes bajas de 11,9% y 11,8% para las dosificaciones correspondientes.



En cuanto a los costos económicos el uso de bloques con PET triturado resulta más económico que un bloque convencional con diferencias en precios hasta de \$113,17 para una sustitución del 37.5% de arena.

Conclusión:

La fabricación de bloques con remplazo de agregado fino por material PET puede ser una alternativa en términos de producción en serie, a los métodos de fabricación actual, teniendo en cuenta que cada vez es más preocupante la cantidad de polímeros desechados y se le exige tener a las empresas más conciencia ambiental y en términos aplicativos la creación de estructuras en las cuales más que mayor resistencia se necesite menor peso estático.

Al observar y analizar los resultados de peso, es notable que los bloques adicionados con PET triturado debido a que su densidad disminuye como acción del PET reduce el peso del block, lo cual resulta favorable debido a que se disminuyen los pesos de las estructuras cuando se construyan muros no portantes o divisorios con el uso de estos bloques.

Para los bloques con PET triturado su porcentaje de humedad va disminuyendo conforme aumenta la cantidad de PET utilizado, lo cual se debe a que las partículas de plástico no absorben el agua, lo cual provoca que el bloque tenga porcentajes de humedad menores a los bloques convencionales.

Tema: Componentes constructivos elaborados con plásticos reciclados

Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE)

Publicado: 2005, Córdoba - Argentina

Autor: Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE)

Resumen:

Los objetivos de esta investigación fueron: desarrollar una tecnología ecológica para la construcción, basada en el reciclado de residuos plásticos, y desarrollar una tecnología productiva de bajo costo, para colaborar en la solución del déficit habitacional de nuestro país. Los residuos que se utilizan proceden de envases descartables de bebidas (residuo post consumo). La mayor parte de estos residuos hasta el presente son enterrados en predios municipales, sin utilidad alguna; o acumulados y quemados en basurales, produciendo degradación del entorno.

Los resultados obtenidos fueron distintos elementos constructivos: ladrillos, bloques, placas y ladrillones que se utilizan como cerramiento no portante en viviendas económicas, los cuales fueron ensayados bajo normas en laboratorios, y obtuvieron certificados de aptitud técnica y una patente nacional.

**Conclusión:**

Desde el punto de vista tecnológico, se comprueba que los residuos plásticos pueden ser utilizados como áridos en mezclas cementicias para la fabricación de elementos constructivos, teniendo los productos obtenidos la calidad pautada por las normas vigentes en nuestro país (para mampuestos no portantes). Las cualidades técnicas principales de los productos son su bajo peso específico y baja conductividad térmica, a comparación de otros componentes constructivos tradicionales como ladrillos de tierra cocida o bloques de mortero de cemento

Desde el punto de vista ecológico, se llega a la conclusión que esta tecnología de reciclado reduce la contaminación del medio ambiente, porque utiliza como materia prima principal un residuo que actualmente en gran medida se acumula o entierra.

Constituye un aporte para la “construcción sostenible”, disminuyendo el consumo de recursos naturales en la fabricación de elementos constructivos con respecto a otras tecnologías constructivas tradicionales. Esta tecnología permite un ahorro energético, puesto los materiales plásticos utilizados tienen menor conductividad térmica que otros tradicionales, con lo cual se economiza en la climatización de la vivienda.

Al terminar la vida útil de las edificaciones construidas con estos componentes, los mismos pueden ser molidos y utilizados como agregados en mezclas cementicias para contrapisos o como relleno para dar pendientes, por ejemplo; dando lugar a un nuevo ciclo de reciclado, sin dejar residuos.

Desde el punto de vista económico, con los estudios de costos de producción a pequeña escala realizados, se comprueba que se reduce el costo global de la construcción, aunque el costo unitario de estos elementos constructivos es igual o mayor al de otros tradicionales. La materia prima principal es un residuo, pero hay que recogerlo y triturarlo.

Tema: Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA – FEPADE

Publicado: 2015, Santa Tecla – El Salvador

Autor: Zavala Arteaga, Guillermo José

Resumen:

Lo que se busca además en esta investigación, es proporcionar una alternativa de solución al alto grado de contaminación que generamos, integrando la construcción como un eje transversal para minimizar el grave impacto ambiental; basándonos en la implementación de una nueva



tecnología que profundice el concepto de Arquitectura Bioclimática, permitiendo diseños innovadores a través de nuevas tecnologías aplicadas en nuevos materiales. Por lo tanto, la presente investigación está dirigida a desarrollar una nueva tecnología constructiva con el desarrollo de nuevos materiales.

Conclusión:

Los elementos creados con cemento y PET en proporción 1.0:0.50, tiene un peso específico de 1.22gr/cm^3 ; que es entre un 15% y 20%, menor que los creados con cemento y arena.

Los elementos creados con cemento y PET en proporción 1.0:0.50, tiene una resistencia a la compresión de 62.66kg/cm^2 ; que equivale a un promedio del 40% menos que la que tienen los creados con cemento y arena; por lo que su uso se limita a espacios de circulación peatonal.

La cantidad de agua utilizada en los elementos con proporción 1.0:0.50 cemento y PET es de 175ml; lo que equivale a un 11.5% menos que la utilizada en los creados con cemento y arena.

Los elementos creados con cemento y PET tienen una alta resistencia al fuego por lo que se considera un material combustible de muy baja propagación.

La geometría irregular de las partículas plásticas influye directamente en el comportamiento de la mezcla; por tanto, entre más fina sea la partícula habrá mayor adherencia, afectando la cantidad de agregado fino en la mezcla de mortero generada.

Esta tecnología con plástico reciclado es una alternativa posible para utilizarla en elementos arquitectónicos interiores de viviendas, considerando que son elementos que no soportan cargas importantes.

Los elementos constructivos desarrollados son más ecológicos, más livianos; y ofrecen una mayor aislación térmica que otros tradicionales; mejorando la acústica. Con una resistencia suficiente para su aplicación en la construcción de elementos no estructurales.

La utilización de esta tecnología a base de plástico reciclado contribuye al proceso de disposición final de los residuos plásticos contaminantes, lo que ayuda a minimizar el impacto ambiental; reduciendo la cantidad de botellas que actualmente se acumulan o entierran y minimizando al mismo tiempo los gastos en recolección y disposición final de residuos.

La elaboración de elementos constructivos con esta tecnología tiene un costo similar al de otros elementos constructivos tradicionales.

2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1 El ladrillo -Orígenes y desarrollo

Desde el descubrimiento del fuego, más de 100.000 años atrás, sólo hace alrededor de 7.000 de cuando descubriera que, humectando, amasado, secado y posteriormente sometiendo a cocción a las arcillas, éstas se tornaban estables y resistentes, logrando lo que se conoce como cerámica; y apenas 5500 años que los sumerios aplicaran por primera vez la cerámica a la construcción, elaborando ladrillos que reemplazaban a la piedra. Esto ocurrió en las llanuras mesopotámicas, donde se establecen las tribus nómadas dando origen al sedentarismo que hace surgir las primeras ciudades del mundo en Sumeria, y que propicia el desarrollo de las construcciones de ladrillos. Estos a su vez brindan la posibilidad de ser combinados y trabados entre sí, facilitando la rigidización de los mampuestos.

Es difícil asegurar con exactitud qué pueblo desarrollo el uso del ladrillo, teniendo en cuenta que a través de la historia se verifica una sucesión de ocupaciones, conquistas e intercambios comerciales y culturales. Creemos más bien que el uso del ladrillo fue incrementándose en función del desarrollo cultural. En la mayoría de las ciudades europeas que florecieron en el medioevo y el renacimiento, se conservan monumentales construcciones hechas de ladrillo, particularmente en España, Italia, Francia, Holanda, Bélgica y Alemania. Ya en el siglo XX, fueron España e Italia los países que más contribuyeron nuevos criterios de diseño de los más actuales ladrillos cerámicos.

Fuente: (Averardo, 2009)

2.2.1.1 Ladrillo Artesanal King Kong (Cusco)

El ladrillo artesanal producido en San Jerónimo – Cusco, es del tipo King Kong (KK) el cual se utiliza para la construcción de casas en los alrededores del mencionado distrito.

En la tabla 1 se presentan características generales del ladrillo King Kong; y en la tabla 2, los parámetros de producción de ladrillos artesanales en San Jerónimo.

Tabla 1. Características del ladrillo artesanal KK

Características	Unidad	Cantidad
-----------------	--------	----------

Dimensiones	cm	24 x 11.5 x 8
Volumen	cm ³	2208
Peso	kg	3

Fuente: (Peru, 2012)

Tabla 2. Parámetros de producción del ladrillo artesanal KK (por horno)

Características	Unidad	Cantidad
Número de quemas al mes	Unidad	1
Número de quemas al año	Unidad	12
Producción por quema	Nº ladrillos/quema	9250
Producción anual	Nº ladrillos/año	111000

Fuente: (Peru, 2012)

2.2.1.2 Fabricación de Ladrillos Artesanales

Primeramente, los materiales que se utilizan son: agua (estancada), arcilla, aserrín y residuos de curtiembres. Estos materiales se los mezcla hasta obtener una masa uniforme y manejable tipo barro. Esta actividad es desempeñada por niños y adultos.

La masa se coloca en carretillas de metal y se la transporta hacia un lugar abierto. Pequeñas porciones de masa se colocan en moldes de madera, de aproximadamente 10 x 25 cm. (ver figura 3). Una vez retirados los moldes, se obtienen los ladrillos crudos. Estos adobes son colocados en el suelo en un lugar abierto. La colocación de estos adobes se realiza en orden. El secado al sol dura aproximadamente 48 horas

Fuente: (Aracellys & Lang, 2006)

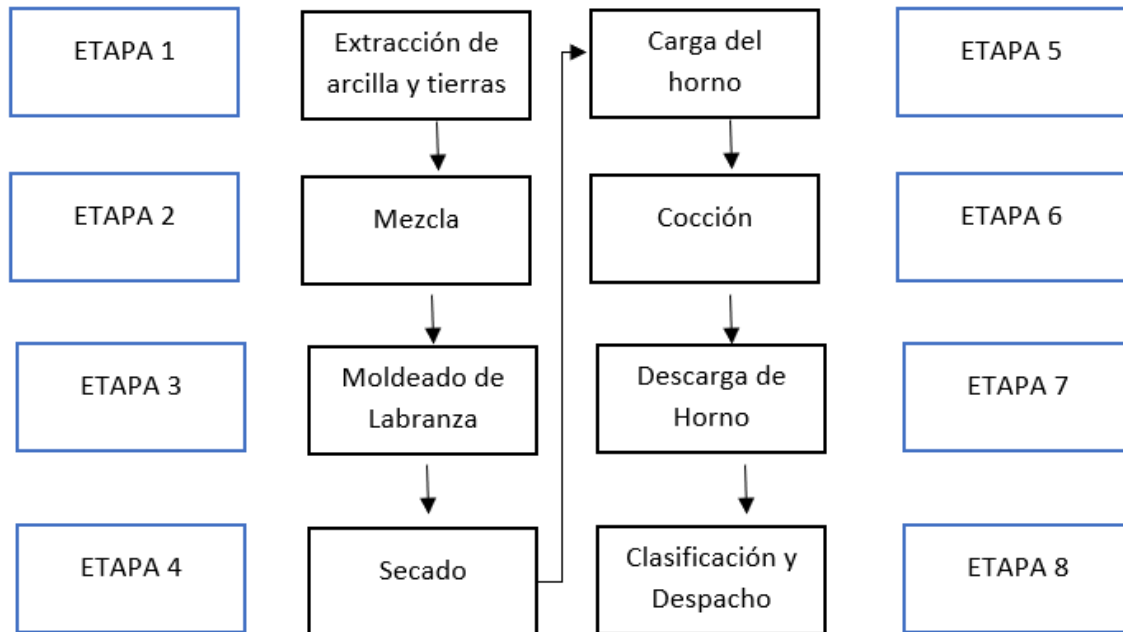


Figura 2. Esquema de los procesos de producción del ladrillo

Fuente: Ministerio de la producción, Despacho Viceministerial de MYPE e Industria Perú.

Una vez que estos adobes están secos, se los llevan a los hornos de cocción. Donde son sometidos, durante tres días seguidos, a una temperatura que varía entre 800 y 1 300 °C. Los hornos funcionan con gas natural. Una vez que los ladrillos están cocidos se apagan los hornos y después de unos días se los retiran

Fuente: (Aracellys & Lang, 2006)

2.2.2 Albañilería

2.2.2.1 Definición

La albañilería es un material estructural compuesto por unidades de albañilería asentadas con mortero o por unidades de albañilería apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2013, pág. 466).

Según (San Bartolomé, 2005, pág. 2), se define como un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con algún material, como el mortero de barro o de cemento.



2.2.2.2 Tipos de albañilería

2.2.2.2.1 Clasificación estructural

2.2.2.2.1.1 Muros portantes

Muro diseñado y construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel superior al nivel inferior o a la cimentación. Estos muros componen la estructura de un edificio de albañilería y deberán tener continuidad vertical. (Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 9)

Muro diseñado y construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel superior al nivel inferior o a la cimentación. Estos muros componen la estructura de un edificio de albañilería y deberán tener continuidad vertical. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2013, pág. 467).

Son aquellos muros de albañilería capaces de soportar esfuerzos dentro de una edificación, que cumpliendo las exigencias de diseño de las normas deberán soportar y transmitir cargas verticales y horizontales. (San Bartolome, 1994)

2.2.2.2.1.2 Muro no portante

Muro diseñado y construido en forma tal que sólo lleva cargas provenientes de su peso propio y cargas transversales a su plano, por ejemplo: los parapetos y los cercos. (Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 9)

Muro diseñado y construido en forma tal que sólo lleva cargas provenientes de su peso propio y cargas transversales a su plano. Son, por ejemplo, los parapetos y los cercos (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2013, pág. 467).

2.2.3 Unidad de Albañilería

2.2.3.1 Definición

Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar ó tubular. (Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 9)



2.2.3.2 Características generales

- Se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo.
- Las unidades de albañilería a las que se refiere esta norma son ladrillos y bloques en cuya elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, como materia prima.
- Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial.
- Las unidades de albañilería de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica. Para el caso de unidades curadas con agua, el plazo mínimo para ser utilizadas será de 28 días, que se comprobará de acuerdo a la NTP 399.602.

(Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 13)

2.2.3.2.1 Unidad de Albañilería Alveolar.

Unidad de Albañilería Sólida o Hueca con alvéolos o celdas de tamaño suficiente como para alojar el refuerzo vertical. Estas unidades son empleadas en la construcción de los muros armados. (Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 9)

Tipo de unidades de albañilería

2.2.3.2.2 Unidad de Albañilería Apilable:

Es la unidad de Albañilería alveolar que se asienta sin mortero. (Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 9)

2.2.3.2.3 Unidad de Albañilería Hueca.

Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano. (Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 10)

2.2.3.2.4 Unidad de Albañilería Sólida (o Maciza)

Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano (Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 10)

2.2.3.2.5 Unidad de Albañilería Tubular (o Pandereta).

Unidad de Albañilería con huecos paralelos a la superficie de asiento. (Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 10)



Figura 3. Molde en diferentes partes del País (Perú)

Fuente: Ministerio de la producción, Despacho Viceministerial de MYPE e Industria Perú.

2.2.3.3 Pruebas a las unidades de albañilería

- Muestreo: El muestreo será efectuado a pie de obra. Por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación de dimensiones y de alabeo. Cinco de estas unidades se ensayarán a compresión y las otras cinco a absorción.
- Resistencia a la Compresión: Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuarán los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 339.604. La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería ($f'b$) se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.
- Variación Dimensional: Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604

(Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 14)



- Alabeo: Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la Norma NTP 399.613.
- Absorción: Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.613.

(Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 15)

2.2.4 Mortero

2.2.4.1 Definición

El mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Para la elaboración del mortero destinado a obras de albañilería, se tendrá en cuenta lo indicado en las Normas NTP 399.607 y 399.610. (Norma E.070 Albañilería, 2006 pág. 15)

2.2.5 Polímero PET (Polietileno Tereftalato)

2.2.5.1 Origen del Plástico

La palabra plástico debe entenderse como un término genérico que describe una gran variedad de sustancias, las cuales se distinguen entre sí por su estructura, propiedades y composición.

Los plásticos hacen parte de un grupo de compuestos orgánicos denominados polímeros, los cuales están conformados por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno. Principalmente se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural

El plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860 en Estados Unidos, para encontrar el sustituto del marfil para la fabricación de bolas de billar; de ese concurso nace un tipo de plástico llamado celuloide. Con dicho material se comenzaron a fabricar productos de plástico como collares, mangos de cuchillos, cajas, armazones de lentes y películas cinematográficas. En 1909, se descubrió una nueva materia prima, el alquitrán, del que se fabricó otro plástico, la baquelita; usada como aislante eléctrico debido a que es altamente resistente al calor, al agua y a los ácidos

Por otra parte, los químicos a principio del siglo XX comenzaron a conocer mejor las reacciones químicas, esto aceleró la búsqueda de nuevos materiales y así, en el año 1930 comenzó la



fabricación de plásticos a partir de derivados del petróleo. Como por ejemplo el nylon y el PVC, que comenzaron su fabricación industrial en la década de los años 30, siendo en la década de los 40 cuando se incorporaron otros como el polietileno, los poliésteres, los poliuretanos y las resinas epóxicas.

Fuente: (Itca & Fepade, 2015)

2.2.5.2 Obtención del plástico

Fuente: (Itca & Fepade, 2015)

Como ya se pudo advertir dentro del estudio de los plásticos, el PET se hace a partir del petróleo crudo donde los materiales base refinados sufren una reacción química llamada “policondensación”, es decir, la obtención de un polímero por medio de condensación. Esta reacción, en la cual el etilenglicol se une ya sea a ácido tereftálico o a dimetil tereftalato, tiene como resultado el PET cristalino que se usa en aplicaciones de envases fundamentalmente.

2.2.5.3 Clasificación del Plástico

Los plásticos se clasifican según sea su comportamiento con la variación de la temperatura y los disolventes; y se clasifican en termoestables y termoplásticos. Los termoestables son los plásticos que no reblandecen ni fluyen por mucho que aumente la temperatura; por tanto, sufren modificaciones irreversibles por el calor y no pueden fundirse de nuevo. Los termoplásticos son plásticos que cuando son sometidos a calor se reblandecen y fluyen por tanto son moldeables por el calor cuantas veces se quiera sin que sufran alteración química irreversible. Son más fáciles de reciclar.

Los termoestables son utilizados para fabricar recubrimientos, espumas para colchón, adhesivos, piezas para vehículos y componentes eléctricos. En cambio, los termoplásticos son utilizados para la fabricación de marcos de ventana, tuberías, envases, vasos, cajas, tapones, tarjetas, bolsas y botellas para diferentes líquidos.

2.2.5.4 Propiedades de las Botellas de Plástico







Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases. Presentando características como las siguientes:



- Cristalinidad y transparencia.
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.
- Alta resistencia al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química
- Totalmente reciclable
- Alta rigidez y dureza.

Fuente: (Itca & Fepade, 2015)

Tabla 3. Propiedades de los plásticos más comunes

Código de reciclado	Tipo de plástico	Características	Densidad (g/cm ³)	Aplicación
	PET (polietileno-tereftalato)	Transparente, flexible pero se cuartea, rígido, no se rompe frente al impacto, habitualmente brillante	1.38 – 1.39	Botellas transparentes de bebidas
	PEAD (Polietileno de alta densidad)	Rígido pero se dobla, opaco, superficie áspera, insoluble en acetona.	0.95 – 0.97	Jarras de leche, botellas de agua
	PVC (Policloruro de vinilo)	Rígido o flexible si se agrega plastificantes, muy brillante, difícil de encender y se apaga cuando se lo aleja de la llama, soluble en tulo y no en acetona.	1.30 – 1.34	Tubería de desagüe, cortinas de baño, algunas botellas de agua, techos vinílicos de algunos autos.
	PEBD (Polietileno de baja densidad)	Opaco, muy flexible, insoluble en acetona	0.92 – 0.94	Bolsas de plástico, bolsas para la ropa, tapas de envases de vidrio.
	PP (Polipropileno)	Translucido a opaco, superficie suave, tiene lustre pero usualmente bajo brillo, insoluble en acetona.	0.90 – 0.91	Tapas de latas de aerosol, tapas rígidas de botellas, envolturas de caramelo, sustituto del papel celofán.
	PS (Poliestireno)	Transparente u opaco, brillante, frágil a semirrígido, muy soluble en acetona.	1.04 – 1.07	Tazas y utensilios de comida descartables, recipientes de yogurt recipientes aislantes.

Fuente: (http://www.quiminet.com.mx/ar4/ar_4%251D%25A2y%251FN%2529%2527.htm)

2.2.5.5 Ventajas y Desventajas de las Botellas de Plástico

Ventajas

- Es moldeable, pudiéndosele dar la forma deseada por medio de diferentes técnicas.
- Variada flexibilidad dependiendo de las características del material que se requiera.
- Una vez instalado el material no requiere constante mantenimiento.
- Es muy duradero.
- Dependiendo de su uso se puede variar la resistencia del plástico.
- Posee una gran resistencia a las sustancias químicas (líquidas y gases).
- Soporta altas y/o bajas presiones y temperaturas.



Desventajas

- Son desechos de difícil solución.
- Poco manejo de la recolección y disposición final de los residuos.
- Material poco convencional y poco utilizado en la actualidad como material de construcción.
- Material inflamable, por lo que no es recomendable utilizarlo sin recubrimiento. (funda plástica)

Fuente: (Itca & Fepade, 2015)

2.2.5.6 Plástico en la Construcción

El crecimiento constante de población ocasiona diferentes problemáticas, siendo dos las principales relacionadas con la industria de la construcción: la falta de viviendas para la población de bajos recursos y el creciente deterioro ambiental ocasionado por la generación de desechos no biodegradables. Entre las soluciones se encuentra el desarrollo y mejora en la calidad de los elementos de construcción, empleando nuevas tecnologías y materiales que disminuyan el impacto ambiental (reduciendo el gasto de energía y materias primas que requieren los elementos de construcción convencionales), que sean de bajo costo en su elaboración y de procesamiento sencillo; y en este rango se considera el plástico utilizado en la elaboración de botellas PET.

El politereftalato de etileno (PET), proveniente de las botellas plásticas, es utilizado en otros países en la fabricación de viviendas para poblaciones vulnerables y en múltiples materiales para la construcción. Todo surge con la filosofía de aportar a la conservación del medio ambiente, bajo la premisa de darles aplicación y utilización a los residuos plásticos.

Tras años de investigación sobre las propiedades del material reciclado, se lograron desarrollar elementos que anteriormente se fabricaban en madera, concreto y acero; no solo con las mismas características y propiedades mecánicas, sino alcanzando ventajas y beneficios con respecto a los materiales tradicionales. El reciclaje de desechos, ha permitido crear nuevos materiales de construcción, que por lo regular suelen ser sumamente resistentes y económicos. Uno de los materiales que más aplicación tiene en la industria de la construcción es el plástico denominado PET, ya que por sus características y resistencia puede ser utilizado tanto para la construcción



de elementos divisorios como muros, celosías y losas; como para construir edificaciones completas.

Fuente: (Itca & Fepade, 2015)

La utilización de las botellas de plástico como material de construcción permite tener una mayor diversidad de productos y materiales de construcción, considerando además las ventajas que el plástico combinado con el cemento y los agregados poseen; por lo que se pueden mencionar algunas ventajas:

- A) Uso creativo de la basura.
- B) Cuidado de la tierra.
- C) Material de construcción de muy bajo costo.
- D) Construcciones térmicas y de menor peso.
- E) Uso eficiente de recursos disponibles.
- F) Acceso a una vivienda, por parte de personas de bajos recursos económicos.

Fuente: (Itca & Fepade, 2015)

2.2.5.7 Características de los PET

Poliétileno Tereftalato (PET): Es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, y conservación del sabor y aroma de los alimentos. Es una barrera contra los gases, reciclable al 100%. (Feed Pack News, 2012).

Tabla 4. Características Físico-químicas del PET

Propiedad		Valor
Coeficiente de volumen de expansión	De 30 a 60 °C	1,6*10-4 grado -1
	De 90 a 190 °C	3,7*10-4 grado -1
Densidad específica a 25 °C	Amorfo	1,335 g/cc
	Cristal Orientado	1,390 g/cc
Temperatura de transición vítrea (Tg)	Amorfo	67 °C
	Cristalino	81 °C
	Cristalino y orientado	125 °C
Punto de derretimiento	PET comercial	265 °C
	PET puro	271 °C
Absorción de humedad (inmersión en agua a 25°C durante 1 semana)		0,80%
Resistividad	A 25°C	1*10 ¹⁸ ohmios*cm
	A 150°C	1*10 ¹³ ohmios*cm
Conductividad térmica		3,36*10-4 cal/(cm*s*°C)

Fuente: BARON Y PALACIOAS J. (2011)

Tabla 5. Características Físico-mecánicas del PET

Propiedades	Valor
Resistencia a la tracción hasta la deformación (MPa)	59
Resistencia a la tracción hasta la rotura	no rompe
Alargamiento hasta la rotura	no rompe
Módulo de elasticidad en tracción (MPa)	2420
resistencia a la flexión (MPa)	86
Resistencia al impacto charpy	no rompe

Fuente: www.goodfellow.com/csp/active/gfhome.csp

El PET es un plástico técnico de gran calidad para numerosas aplicaciones. Entre ellas destacan: fabricación de piezas técnicas, fibras de poliéster y fabricación de envases.

Por ello, entre los materiales más fabricados destacan: envases de bebidas gaseosas, jugos, jarabes, aceites comestibles, bandejas, artículos de farmacia, medicamentos, entre otros.

2.2.5.8 Granulometría del PET

Para la utilización del PET se realizó una granulometría como la del agregado fino según la Norma Técnica Peruana E.070, esto se realizó para poder identificar al PET como un agregado fino de este modo se pueda realizar la sustitución se emplearon las mismas mallas de caracterización para el agregado fino, para lo cuál se mantienen los mismos tamices que se emplean para la granulometría del agregado fino, de esta manera se tomo en cuenta las partículas de PET triturado que pasaban la malla N°4 y se quedaban retenidos en la N°200, dicha representación se presenta en la tabla N ° 6.

Tabla 6. Adecuación para calcular la granulometría del PET.

TAMIZ	LIM.INFERIOR	PET	LIM. SUPERIOR
N°4	100%	100%	100%
N°8	95%	96%	100%
N°16	70%	73%	100%
N°30	40%	43%	75%
N°50	10%	10%	35%
N°100	2%	7%	15%
N°200	0%	0%	2%

2.2.6 Agregado

2.2.6.1 Definición

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011.

Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto (Torre C Ana, 2004, pág. 10).

se usa como agregados fino y grueso.

Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregados friables (disgregables o desmenuzables) o capaces de rajarse son indeseables. Se deben evitar agregados que contienen cantidades apreciables de esquisto u otras rocas esquistosas, de materiales blandos y porosos. Se deben evitar, en especial, algunos tipos de cherts, pues tienen poca resistencia al intemperismo y causan defectos superficiales tales como las erupciones (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, Jussara Tanesi, Portland Cement Association 2004, pág. 104).

2.2.6.2 Clasificación por su tamaño

Existen 2 tipos de agregados, agregado fino y agregado grueso:

- ✓ Agregado Grueso: Según la NTP 400.037, se define como el material retenido en el tamiz N° 4 (4.75 mm), proviene de la desintegración mecánica o natural de rocas y que cumplen con los límites establecidos por la norma.
- ✓ Agregado Fino: se define como el material que pasa por el tamiz 3/8" y que queda retenida en el tamiz N° 200.

2.2.6.3 Características Físicas

En general son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad, y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación.

Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas estándar que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos o para emplearlas en el diseño de mezclas.

Es importante para evaluar estos requerimientos el tener claro los conceptos relativos de las siguientes características físicas de los agregados y sus expresiones numéricas. (Pasquel Carbajal E, 1998)

2.2.6.4 Análisis Granulométrico

La granulometría viene a ser la determinación en forma indirecta del tamaño de las partículas, el cual consiste en tamizarlas por una serie de mallas de aberturas conocidas y luego proceder a pesar los materiales retenidos refiriéndolos en % con respecto al peso total, a todo este proceso es lo que se le denomina análisis granulométrico o granulometría, que viene a ser la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

Tabla 7. Características de los Agregados

Características	Importancia
Resistencia a abrasión y degradación.	Resistencia al desgaste.
Resistencia a congelación.	Descascaramiento de la superficie aspereza, pérdida de sección, deformación.
Resistencia a sulfatos.	Descascaramiento de la superficie, aspereza, pérdida de sección, deformación.
Absorción y humedad superficial.	Control de calidad del concreto.

Fuente: Diseño de Mezcla Enrique Pasquel

Tabla 8. Características de los Ensayos

Características	Importancia
Granulometría, módulo de fineza, tamaño máximo del agregado	Trabajabilidad del concreto en estado fresco, economía, cálculo para el diseño de mezclas
Forma y textura superficial de las partículas	Trabajabilidad del concreto en estado fresco
Resistencia a la reactividad con álcalis y cambio de volumen	sanidad
Masa volumétrica	Cálculo para el diseño de mezclas
Masa específica relativa	Cálculo para el diseño de mezclas

Fuente: Diseño de mezcla Enrique Pasquel

2.2.6.5 Granulometría del agregado fino

El agregado fino podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes; debiendo estar libre de partículas escamosas, materia orgánica u otras sustancias dañinas. (Ministerio de Vivienda y de la Construcción, 2006)

El agregado fino es denominado a aquel que pasa por la malla 3/8 y el N° 4 y es retenido en la malla N°. 200 y debe de cumplir con los requisitos establecidos en la norma.

Tabla 9. Límites de granulometría para el agregado fino

Malla	% Que pasa
3/8	100
N°4	95%-100%
N°8	80%-100%
N°16	50%-85%
N°30	25%-60%
N°50	10%-30%
N°100	2%-10%

Fuente: ASTM C33.

2.2.6.6 El Módulo de Fineza.

“Se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie estándar hasta el tamiz N°100 y esta cantidad se divide entre 100. El sustento matemático del módulo de fineza reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica” (Ref. Tabla N°006)

El módulo de fineza como valor I

Tabla 10. Tamices estándar ASTM

Denominación del Tamiz	Abertura en pulgadas	Abertura en milímetros
3"	3.0000	75.0000
1 1/2"	1.5000	37.5000
3/4	0.7500	19.0000
3/8	0.3750	9.5000
N°4	0.1870	4.7500
N°8	0.0937	2.3600
N°16	0.0469	1.1800
N°30	0.0234	0.5900
N°50	0.0117	0.2950
N°100	0.0059	0.0059
N°200	0.0029	0.0029

Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto 2da.edc. Enrique Pasquel

2.2.7 Cemento

2.2.7.1 Cemento Portland

Según la NTP 334.009, El cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda. El cemento Portland es un polvo muy fino de color verdoso. Al mezclarlo con agua forma una masa (pasta) muy plástica y moldeable que luego de fraguar y endurecer, adquiere gran resistencia y durabilidad. (Torre,2004)

2.2.7.2 Historia del cemento:

Desde la antigüedad se emplearon pastas y morteros elaborados con arcilla, yeso o cal para unir mampuestos pastas y morteros elaborados con arcilla, yeso o cal para unir mampuestos en las edificaciones morteros en las edificaciones. Fue en la Antigua Grecia cuando empezaron a usarse tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini, los primeros cementos naturales.

En el siglo I a. C. se empezó a utilizar el cemento natural en la Antigua Roma, obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio. La bóveda del Panteón es un ejemplo de ello. En el siglo XVIII John Smeaton construye la cimentación de un faro en el acantilado de Edystone, en la costa Cornwall, empleando un mortero de cal calcinada. El siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el Portland Cement, denominado así por su color gris verdoso oscuro similar a la piedra de Portland. Isaac Johnson, en 1845, obtiene el prototipo del cemento



moderno, con una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura en el siglo XX surge el auge de la industria del cemento, debido a los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular y los métodos de transportar hormigón fresco ideados por Juergen Hinrich Magens que patenta entre 1903 y 1907.

2.2.7.3 Historia del cemento en el Perú

La introducción del cemento en el Perú se inicia en la década de 1860. En efecto, en 1864 se introdujo en el Arancel de Aduanas, la partida correspondiente al denominado "Cemento Romano", nombre inapropiado que designaba un producto con calidades hidráulicas desarrollado a inicios del siglo. En 1869 se efectuaron las obras de canalización de Lima, utilizando este tipo de cemento. En 1902 la importación de cemento fue de 4,500 T.M. Posteriormente, en 1904 el Ingeniero Michel Fort publicó sus estudios sobre los yacimientos calizos de Atocongo, ponderando las proyecciones de su utilización industrial para la fabricación de cemento.

Las construcciones de concreto con cemento Portland se inician en la segunda década del siglo con elementos estructurales de acero, como el caso de las bóvedas y losas reforzadas de la Estación de desamparados y la antigua casa Oechsle.

También, en algunos edificios del Jr. de la Unión y en el actual teatro Municipal a partir de 1920 se generaliza la construcción de edificaciones de concreto armado, entre ellos aún vigentes: Sociedad de Ingenieros, Club Nacional, el Banco de la Reserva y otros. Asimismo, se efectúan obras hidráulicas, la primera de ellas la Bocatoma del Imperial, construida en 1921, empleando 5,000 m³ de concreto. En el período 1921 - 1925 se realizan importantes obras de pavimentación en Lima, dentro de las que debemos incluir la antigua Av. Progreso, aun en servicio con la denominación de Av. Venezuela. La Industria Peruana del Cemento, inicia su actividad productiva en el año 1924 con la puesta en marcha de la Planta Maravillas, propiedad de la Compañía Peruana de Cemento Portland. (Cusi, 2014)

2.2.7.4 Propiedades físicas y mecánicas del cemento

- **Fraguado y endurecido**

El fraguado es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento. La velocidad de fraguado viene limitado por las normas estableciendo un periodo de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual debe producirse el principio y fin del fraguado. Este proceso es controlado por medio del ensayo de la aguja de Vicat (NB 063; ASTM C191), que mide el inicio y fin del fraguado en mediciones de penetraciones cada 15 min, de la siguiente manera:

- **Inicio del Fraguado.** - Cuando la aguja no penetra más de 25 mm en la pasta. Se recomienda que una vez iniciado el fraguado el cemento ya deba estar totalmente colocado y no debe moverse de su lugar, ya que se originaran fisuras.
- **Fin del Fraguado.** - Cuando la aguja no deja marcas e la superficie de la pasta.



Figura 4. Aparato de Vicat
Fuente: Proeti, s.f.

- **Falso Fraguado o endurecimiento prematuro.** - Se manifiesta por un endurecimiento rápido del hormigón poco después del mezclado. Si este es resultado de la deshidratación del yeso durante el proceso de molido, por lo general desaparecerá con un mezclado adicional. Si es resultado de la interacción cemento aditivo, es posible que se requieran agua y mezclado adicionales para mitigar el problema.
- **Fraguado por compactación.** - En ocasiones, en el manejo del cemento a granel, se encuentra que el cemento presenta cierta dificultad para fluir o que fluye mal.

Este "fraguado por compactación", no tiene efecto sobre las propiedades del cemento para producir el hormigón. El problema suele ser la humedad, instalaciones de manejo inadecuadamente diseñadas o haber dejado que el cemento se asentara, por demasiado tiempo sin moverlo. El fraguado por compactación puede presentarse en donde, durante el tránsito, la vibración ha eliminado la mayor parte del aire que rodea las partículas de cemento, como en los vagones de ferrocarril. Se puede tener una situación semejante en los silos de almacenamiento. Por lo general, la aplicación de chorros de aire esponjará bastante el cemento como para permitir que fluya. El uso de sustancias para ayudar a la pulverización del cemento ha reducido de manera significativa los problemas de flujo. Los sistemas modernos de aireación, los vibradores adecuados para los depósitos y los depósitos y silos correctamente diseñados experimentan pocos problemas, en caso de haberlos.

2.2.7.5 Finura

Influye decisivamente en la velocidad de reacciones químicas que tienen lugar durante el fraguado y el principio de este. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento solo se hidratan en una profundidad de 0,01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño, al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte, como se ilustra en la figura.

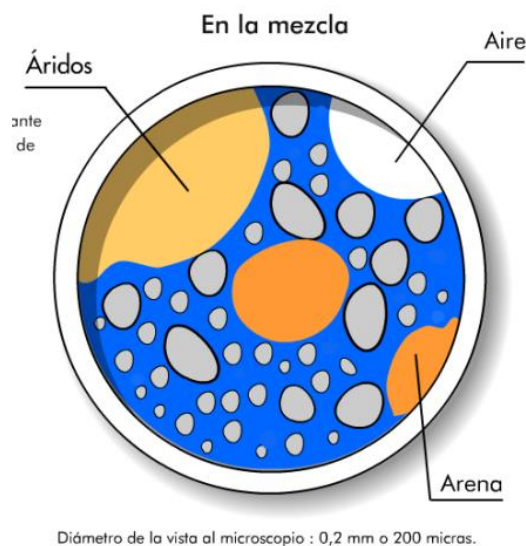


Figura 5. Hidratación de los granos de cemento en función a la finura
Fuente: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/280/course/section/205/Leccion9b.pdf>



Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de hidratación serán muy altos, se vuelve más susceptible a la meteorización y disminuye su resistencia a las aguas agresivas, lo que en general resulta muy perjudicial. La finura influye sobre las propiedades de ganancia de resistencia, en especial hasta un envejecimiento de 7 días. Por esta razón, el cemento del Tipo III se muele más fino que los otros tipos. Aun cuando las especificaciones (NB 011; ASTM C150) señalan una finura mínima la mayor parte de los cementos sobrepasan este mínimo en entre un 20 y un 40%. Una señal práctica de que las partículas son muy pequeñas, es cuando durante el almacenamiento y manejo, una cantidad muy pequeña de humedad pre-hidrata el cemento.

Algunos usuarios especifican un mínimo de finura, en un esfuerzo por minimizar la contracción por secado del hormigón.

2.2.7.6 Resistencia mecánica

La velocidad de endurecimiento del cemento depende de las propiedades químicas y físicas del propio cemento y de las condiciones de curado, como son la temperatura y la humedad. La relación de agua y cemento (A/C) influye sobre el valor de la resistencia última, con base en el efecto del agua sobre la porosidad de la pasta.

Una relación A/C elevada produce una pasta de alta porosidad y baja resistencia.

La resistencia es medida a los 3, 7 y 28 días, teniendo estas que cumplir los valores mínimos.

2.2.7.7 Expansión

El exceso de cal libre o de magnesia en el cemento da por resultado expansión y la desintegración del hormigón hecho con ese cemento.

En el caso de la cal libre, se debe a partículas de esta que no llegan a combinarse con los demás componentes y que van aumentando de volumen hasta explotar.

En el caso de la magnesia se debe a la formación de la periclasa, formada por el óxido de magnesio que se origina cuando el clinker no ha sido enfriado rápidamente al salir del horno. La expansión producida por el magnesio se presenta a largo plazo, produciendo fisuras, por lo cual la norma limita la cantidad de óxido de magnesio al 6.0%.

2.2.7.8 Componentes químicos del cemento

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada para la producción del clinker.

Los componentes básicos para el cemento Portland son: CaO, obtenida de materiales ricos en cal, como la piedra caliza rica en CaCO₃, con impurezas de SiO₂, Al₂O₃ y MgCO₃, de Margas,

que son calizas acompañadas de sílice y productos arcillosos, conchas marinas, arcilla calcárea, greda, etc.

2.2.7.9 Composición del Cemento Portland

Luego del proceso de formación del Clinker y molienda final, se obtiene los siguientes compuestos establecidos por primera vez por Le Chatelier en 1852 y que son los que definen el comportamiento del cemento hidratado y que detallaremos con su fórmula química, abreviatura y nombre corriente.

- SILICATO TRICÁLCICO ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$). - Define la resistencia inicial (en la primera semana) y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.
- SILICATO DI CÁLCICO ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$).- Define la resistencia a largo plazo y tiene menor incidencia en el calor de hidratación.
- ALUMINATO TRICÁLCICO ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$). - Con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador por lo que es necesario añadir yeso en el proceso (3%-6%) para controlarlo.

2.2.7.10 Fabricación del Cemento Portland

Las materia primas, finalmente molidas e íntimamente mezcladas, se calientan hasta el principio de la fusión ($1400\text{-}1900^\circ\text{C}$), usualmente en grandes hornos giratorios, que pueden llegar a medir más de 200 metros de longitud y 5.50 metros de diámetro. Al material parcialmente fundido que sale del horno se le denomina “Clinker” (pequeñas esferas de color gris negruzco, duras y de diferentes tamaños). El Clinker enfriado y molido a polvo muy fino, es lo que constituye el cemento portland comercial. Durante la molienda se agrega una pequeña cantidad de yeso (3% a 4%), para regular la fragua del cemento. (Abanto Castillo,2009)

Tabla 11. Componentes Químicos del Cemento

%	Componente químico	procedencia usual
95%	Oxido de calcio (cao)	rocas calizas
	Oxido de sílice (sio2)	areniscas
	Oxido de aluminio (al2o3)	arcillas
	Oxido de fierro	arcilla, mineral
5%	Oxido de magnesio, sodio	minerales varios
	Potasio, titanio, azufre	
	Fosforo y magnesio	

Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto –Enrique Pasquel

2.2.7.11 Tipos de Cemento y sus Aplicaciones Principales.

Los tipos de cementos y sus aplicaciones principales se da de la siguiente manera

- I De uso general, donde no se requiere de propiedades especiales
- II Moderados calor de hidratación y resistencia a los sulfatos Moderado C3A
- III Alta resistencia con elevado calor de hidratación, uso climas fríos.
- IV Bajo calor de hidratación Alto C2S.
- V Alta resistencia a los sulfatos Bajo.

2.2.7.12 Tipos de cemento Portland

2.2.7.12.1 Portland Tipo IP

Es un cemento normal, se produce por la adición de clinker más yeso de uso general en todas las obras de ingeniería donde no se requiera miembros especiales. De 1 a 28 días realiza 1 al 100% de su resistencia relativa.



Figura 6. Cemento Portland Tipo IP
Fuente: Cemento Andino

2.2.7.12.2 Portland Tipo II

Cemento modificado para usos generales. Resiste moderadamente la acción de los sulfatos, se emplea también cuando se requiere un calor moderado de hidratación. El cemento Tipo II adquiere resistencia más lentamente que el Tipo I, pero al final alcanza la misma resistencia. Las características de este Tipo de cemento se logran al imponer modificaciones en el contenido

de Aluminato Tricálcico (C3A) y el Silicato Tricálcico (C3S) del cemento. Se utiliza en alcantarillados, tubos, zonas industriales. Realiza del 75 al 100% de su resistencia.



Figura 7. Cemento Portland Tipo II
Fuente: Cemento Andino

2.2.7.12.3 Portland Tipo III

Cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. El concreto hecho con el cemento Tipo III desarrolla una resistencia en tres días, igual a la desarrollada en 28 días para concretos hechos con cementos Tipo I y Tipo II ; se debe saber que el cemento Tipo III aumenta la resistencia inicial por encima de lo normal, luego se va normalizando hasta alcanzar la resistencia normal. Esta alta resistencia inicial se logra al aumentar el contenido de C3S y C3A en el cemento, al molerlo más fino; las especificaciones no exigen un mínimo de finura, pero se advierte un límite práctico cuando las partículas son tan pequeñas que una cantidad muy pequeña de humedad prehidratada el cemento durante el almacenamiento manejo. Dado a que tiene un gran desprendimiento de calor el cemento Tipo III no se debe usar en grandes volúmenes. Con 15% de C3A presenta una mala resistencia al sulfato. El contenido de C3A puede limitarse al 8% para obtener una resistencia moderada al sulfato o al 15% cuando se requiera alta resistencia al mismo, su resistencia es del 90 al 100%.

2.2.7.12.4 Portland Tipo IV

Cemento de bajo calor de hidratación se ha perfeccionado para usarse en concretos masivos. El bajo calor de hidratación de Tipo IV se logra limitándolos compuestos que más influye en la formación de calor por hidratación, o sea, C3A y C3S. Dado que estos compuestos también producen la resistencia inicial de la mezcla de cemento, al limitarlos se tiene una mezcla que gana resistencia con lentitud. El calor de hidratación del cemento Tipo IV suele ser de más o menos el 80% del Tipo II, el 65% del Tipo I y 55% del Tipo III durante la primera semana de hidratación. Los porcentajes son un poco mayores después de más o menos un año. Es utilizado en grandes obras, moles de concreto, en presas o túneles. Su resistencia relativa de 1 a 28 días es de 55 a 75%.

2.2.7.12.5 Portland Tipo V

Cemento con alta resistencia a la acción de los sulfatos, se especifica cuando hay exposición intensa a los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar. La resistencia al sulfato del cemento Tipo V se logra minimizando el contenido de C3A, pues este compuesto es el más susceptible al ataque por el sulfato. Realiza su resistencia relativa del 65 al 85 %.



Figura 8. Cemento Portland Tipo IV
Fuente: Cemento Andino

Tabla 12. Resistencia de los cementos tipo I, II, III, IV, V

Tipos de cemento Portland	Resistencia a la compresión (%)			
	3 días	7 días	28 días	3 meses
Usos generales	100	100	100	100
Modificado	85	89	96	100
Alta resistencia inicial	195	120	110	100
Bajo calor	-	36	62	100
Resistente al sulfato	67	79	85	100

2.2.8 Agua

Debido a que el agua ocupa un papel predominante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto, la presente sección pretende dar una visión generalizada acerca de las características que debe tener desde un punto de vista de la tecnología del concreto

2.2.8.1 Definiciones

- Agua de mezclado: Es definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto.
- Agua de hidratación: Es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel, es también conocida como agua no evaporable.
- Agua evaporable: El agua restante que existe en la pasta, es agua que puede evaporarse, pero no se encuentra libre en su totalidad. El gel cemento cuya característica principal es un enorme desarrollo superficial interno, ejerce atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída.
- Agua capilar: Es el agua que ocupa los poros capilares de la pasta, a distancias que suelen estar comprendidas en el intervalo de 30 a 10 A, de manera que parte de ella está sujeta débilmente a la influencia de las fuerzas de superficie del gel.

- Agua libre: Es la que se encuentra fuera de la influencia de las fuerzas de superficie, de tal modo que tiene completa movilidad y puede evaporarse con facilidad.

2.2.9 Agua para curado

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado y por otro lado en las obras es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto.

No obstante, lo mencionado, si revisamos lo ya evaluado con respecto al mecanismo de hidratación del cemento y la estructura de la pasta, podemos concluir, que el agua adicional que puede contribuir a hidratar el concreto proviene del curado representa una fracción solamente del agua total (alrededor de la quinta parte en volumen absoluto), por lo que las limitaciones para el caso del agua de curado pueden ser menos exigentes que en el caso del agua de mezcla, pudiendo aceptarse reducirlas a la mitad en la mayoría de los casos. (Pasquel Carbajal., 1998, págs. 65-67)

El curado es un proceso que consiste en mantener húmedo el concreto por un tiempo determinado con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (Hidratación del cemento), el concreto alcanza el 70% de su resistencia específica a los 7 días de vaciado.

Tabla 13. Tipos de curado.

Tipo de curado	Descripción
Arena y aserrín	La arena limpia y el aserrín mojado se emplean para el curado de la misma forma que la tierra. El aserrín mojado no debe contener cantidades excesivas de ácido tánico.
Aspersión	El rociado de niebla o aspersión mediante boquillas o aspersores proporciona un curado excelente, cuando la temperatura es bastante superior a la congelación. La aspersión o rociado intermitentes son recomendables si permiten que seque la superficie del concreto.

Fuente: Castillo, Tecnología del concreto, 2009

2.2.10 Requisitos de Calidad

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que



básicamente se refieren a sus características físico-químicas ya sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto. La norma que establece los requisitos para mezcla de agua y curado del agua es la norma Nacional Itintec 339.088 y se detalla en la tabla N°006.

Tabla 14. Límites Permisibles para agua de mezcla y curado según la norma itintec 339.088

Descripción	Limite Permissible
Sólido en Suspensión	5000 p.p.m máximo
Materia Orgánica	3 p.p.m máximo
Alcalinidad	1000 p.p.p.m máximo
Sulfatos (Ion SO ₄)	600 p.p.p.m máximo
Cloruros (Ion Cl)	1000 p.p.m máximo
pH	5 a 8 p.p.m.

Fuente: Tópicos de Tecnología del concreto 2da.edc. Enrique Pasquel-pag 61

2.2.11 Ensayos

a) **Muestreo.** - El muestreo será efectuado a pie de obra. Por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación de dimensiones y de alabeo. Cinco de estas unidades se ensayarán a compresión y las otras cinco a absorción.

b) **Resistencia a la Compresión.** - Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 339.604.

La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería (f'_{b}) se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

El restar una desviación estándar al valor promedio, estadísticamente significa que el 84% de los especímenes ensayados tendrán una resistencia superior al valor característico, o que se puede utilizar hasta un 16% de unidades defectuosas, porcentaje que está previsto dentro de los márgenes de seguridad establecidos en esta Norma para el diseño estructural.

c) **Variación Dimensional.** - Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.



d) **Alabeo.** - Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la Norma NTP 399.613.

e) **Absorción.** - Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.1613.

Fuente: (Norma Técnica E.0.70 Albañilería, 2006)

2.2.11.1 Aceptación de la Unidad

a) Si la muestra presentase más de 20% de dispersión en los resultados (coeficiente de variación), para unidades producidas industrialmente, o 40 % para unidades producidas artesanalmente, se ensayará otra muestra y de persistir esa dispersión de resultados, se rechazará el lote.

b) La absorción de las unidades de arcilla y sílico calcáreas no será mayor que 22%. El bloque de concreto clase P, tendrá una absorción no mayor que 12%. La absorción del bloque de concreto NP, no será mayor que 15%.

c) El espesor mínimo de las caras laterales correspondientes a la superficie de asentado será 25 mm para el Bloque clase P y 12 mm para el Bloque clase NP

d) La unidad de albañilería no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea.

e) La unidad de albañilería de arcilla estará bien cocida, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. Al ser golpeada con un martillo, u objeto similar, producirá un sonido metálico.

f) La unidad de albañilería no tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad o resistencia.

g) La unidad de albañilería no tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo.

Fuente: (Norma Técnica E.0.70 Albañilería, 2006)



2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

Las características físico mecánicas de los prototipos de ladrillo de cemento para albañilería no portante incrementan con la sustitución de PET con porcentajes del 20%, 40%, 60%, 80% por agregado fino, con respecto a un ladrillo artesanal según la normativa E070.

2.3.2 Sub hipótesis

Hipótesis 1: La resistencia a la compresión de los prototipos de ladrillo de cemento para albañilería no portante incrementa con la sustitución de PET con porcentajes del 20%, 40%, 60%, 80% por agregado fino, con respecto a un ladrillo artesanal, según la normativa E070.

Hipótesis 2: El peso específico de los prototipos de ladrillo de cemento para albañilería no portante disminuye con la sustitución de PET con porcentajes del 20%, 40%, 60%, 80% por agregado fino, con respecto a un ladrillo artesanal, según la normativa E070.

Hipótesis 3: La variación del alabeo de los prototipos de ladrillo de cemento para albañilería no portante disminuye con la sustitución de PET con porcentajes del 20%, 40%, 60%, 80% por agregado fino, con respecto a un ladrillo artesanal, según la normativa E070.

Hipótesis 4: El porcentaje de variación dimensional de los prototipos de ladrillo de cemento para albañilería no portante se preserva con la sustitución de PET con porcentajes del 20%, 40%, 60%, 80% por agregado fino, con respecto a un ladrillo artesanal, según la normativa E070.

Hipótesis 5: El porcentaje de absorción de los prototipos de ladrillo de cemento para albañilería no portante optimiza con la sustitución de PET con porcentajes del 20%, 40%, 60%, 80% por agregado fino, con respecto a un ladrillo artesanal, según la normativa E070.

2.4 Definición de variables

2.4.1 Variables independientes

- Prototipo de ladrillo de cemento con un porcentaje de PET triturado en sustitución del agregado fino.
- Ladrillo artesanal de tipo King Kong 18 huecos.



Indicadores de Variables Independientes

- % de Volumen del PET triturado.
- Tipo (unidades)

2.4.2 Variables dependientes

- Resistencia a la compresión.
- Peso.
- Alabeo
- Variación dimensional.
- Porcentaje de absorción.

Indicadores de Variables Dependientes

- Variabilidad de resistencia a la compresión. Fuerza / Área (kgcm²)
- Variabilidad del peso específico. Peso seco (kg)
- Variabilidad del alabeo. Concavidad o convexidad (mm)
- Variabilidad de la variación dimensional. Largo, ancho, altura (mm)
- Variabilidad de la absorción. Peso / Agua (%)

2.4.3 Cuadro de Operacionalización de Variables.

Tabla 15. Cuadro de Operacionalización de Variables

TIPO VARIABLE	DE	DEFINICION	INDICADORES	NIVEL	INSTRUMENTOS
VARIABLES DEPENDIENTES					
Resistencia a la compresión.		Es la medida de la capacidad de soportar esfuerzos axiales de compresión.	Porcentaje de sustitución de PET: 20%, 40%, 60%, 80%.	Fuerza /Área	Maquina Compresión universal. Fichas de laboratorio.
Peso		Peso del ladrillo macizo de cemento adicionado con PET triturado.	Porcentaje de sustitución de PET: 20%, 40%, 60%, 80%.	Peso seco.	Balanza electrónica. Fichas de laboratorio.
Alabeo		Concavidad o convexidad más alta de la unidad.	Porcentaje de sustitución de PET: 20%, 40%, 60%, 80%.	Concavidad o convexidad.	Regla metálica. Cuña. Fichas de laboratorio.
Variación Dimensional		Variación de las dimensiones de la unidad con respecto al molde.	Porcentaje de sustitución de PET: 20%, 40%, 60%, 80%.	Largo, ancho y altura del ladrillo.	Regla Metálica, Vernier. Fichas de laboratorio.
Absorción		Cantidad de agua que es capaz de absorber la unidad.	Porcentaje de sustitución de PET: 20%, 40%, 60%, 80%.	Peso / agua.	Balanza electrónica. Recipiente para sumergir. Fichas de laboratorio.
VARIABLES INDEPENDIENTES					
Prototipo de ladrillo de cemento con un porcentaje de PET triturado en sustitución del agregado fino.		Porcentaje de PET triturado para sustituir el agregado fino para su aplicación en albañilería no portante.	20%, 40%, 60%, 80%.	Porcentaje adicionado de PET del peso total del agregado fino.	PET triturado
Ladrillo artesanal.		Pieza de arcilla cocida de forma rectangular que se usa en la albañilería no portante.	Ensayos de laboratorio.	Valores de resistencia a la compresión, peso, alabeo, variación dimensional absorción.	Fichas de laboratorio.



3 Capítulo III: Metodología

3.1 Metodología de la Investigación

3.1.1 Enfoque de la investigación

Es cuantitativa. - “Es del tipo cuantitativo ya que se va a estudiar una realidad única, es secuencial y probatorio. Cada etapa precede al siguiente no pudiendo saltar pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego podremos retroalimentar y modificar en ciertas etapas. Comienza de una idea principal (deductivo) que va detallando y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco teórico. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un diseño; se miden las variables (datos cuantitativos) en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas, y se establecen una serie de conclusiones respecto de las hipótesis.” (Hernández Sampieri, 2014).

3.1.2 Nivel de la investigación

Es descriptiva porque resultados obtenidos serán ordenados, se presentarán las características, los factores, procedimientos las variables y hechos, para poder verificar la hipótesis planteada a un inicio se evalúan y se miden conceptos o variables como la resistencia a la compresión, alabeo, variación dimensional, absorción, succión y peso, luego de haber sustituido el agregado fino de una unidad de albañilería por PET triturado. (Hernández Sampieri, 2014).

3.1.3 Método de investigación

Es hipotético deductivo ya que se cumple con los pasos esenciales del método científico: Observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias a proporciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comportamiento. Además que procederemos inductivamente, es decir, que se va a partir de lo particular que serán los ensayos, a lo general, que serán las conclusiones que se obtendrán de los ensayos. . (Hernández Sampieri, 2014).



3.2 Diseño de la Investigación

3.2.1 Diseño metodológico

3.2.1.1 Experimental

La presente investigación es experimental, porque se realiza sin manipular deliberadamente las variables. Es decir, es la investigación donde hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Se observan fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. (Hernández Sampieri, 2014)

El presente trabajo se realizó con un diseño metodológico experimental, porque se tiene q realizar unidades experimentales reemplazando el agregado fino por PET en diferentes porcentajes comparando las unidades fabricadas con una unidad patrón artesanal de la ciudad de Cusco, para obtener valores de los mismos se manipula las variables independientes y se observa la variabilidad de las propiedades físicas y mecánicas, para esto se desarrollarán las siguientes actividades:

- Recopilación de datos
- Análisis de datos
- Interpretación de datos

3.2.2 Diseño de Ingeniería

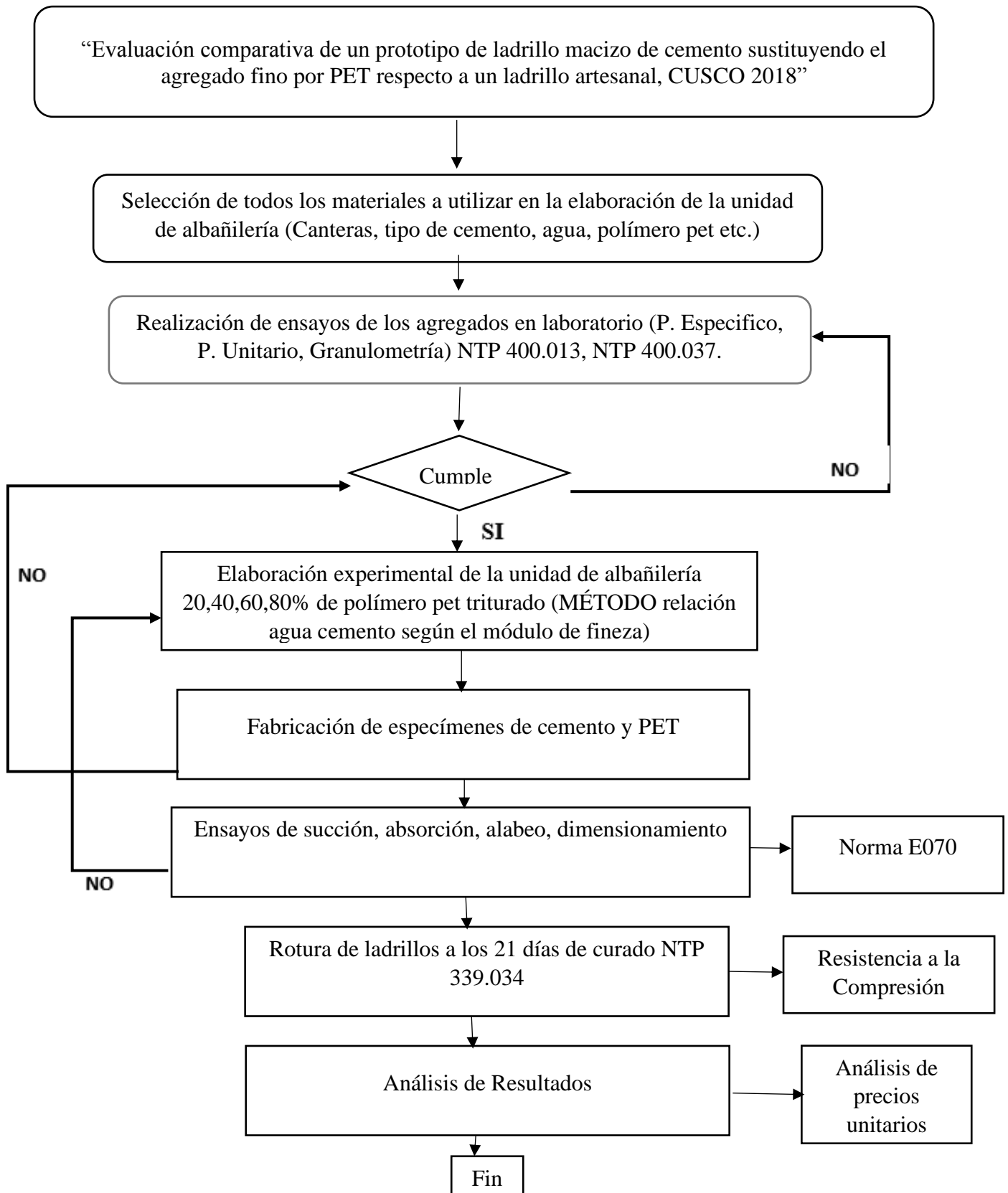


Figura 9. Flujograma



3.3 Población y Muestra

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción de la población

La población se define como conjunto de elementos con características comunes que son objeto de análisis y para los cuales serán válidas las conclusiones de la investigación (Fifias G, 1999, pág. 176)

La población de la presente investigación consta de unidades de ladrillo, prototipos de ladrillos, también de pilas conformadas por las mismas unidades (conjunto de ladrillos unidos con mortero)

3.3.1.2 Cuantificación de la población

La población consta de 14 unidades artesanales y 76 prototipos de ladrillo a base de cemento, agregado fino, PET sustituyente al agregado fino y agua, los cuales serán utilizados en muros no portantes.

- Pilas
- Unidades de ladrillo

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra utilizada para la investigación está compuesta por unidades de cemento, agregado fino, PET, agua, así como las unidades artesanales que se compraron para su análisis comparativo, podemos identificar que la muestra es de tipo censal ya que la muestra estudiada incluye todos los elementos de la población.

Para la dosificación del PET en distintos porcentajes volumétricos, se empleó una dosificación cemento y agregado fino (arena fina) por ladrillo, en volumen de 1:1, donde el primer dígito corresponde a una jarra plástica y media de cemento con un volumen de 1500 cm³, y el segundo dígito corresponde a una jarra plástica y media de agregado fino con un volumen de 1500 cm³, respecto a esta dosificación se sustituyó el agregado fino por PET en volumen del 20%, 40%, 60% y 80% teniendo de esta manera 4 dosificaciones volumétricas.



Respecto a la determinación de la granulometría del PET se adecuó la empleada para el agregado fino, empleando los tamices teniendo como límite superior el tamiz N°4 y como límite inferior el tamiz N°200.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

La cuantificación de la muestra se realizó según a la NTP 399.613, que nos indica el ensayo de 10 unidades representativas de un lote de 1000000 o menos, así como nos indica el uso de 5 especímenes para el ensayo de compresión y los otros 5 para los demás ensayos

- 05 unidades artesanales para la realización de los ensayos de las propiedades físico-mecánicas indicadas en la Norma E.070 (compresión, absorción, alabeo, variación dimensional) y el peso específico.
- 10 unidades de cemento con sustitución de agregado fino por PET al 20%,40%,60%,80%, para la realización de los ensayos de las propiedades físico-mecánicas indicadas en la Norma E.070 (compresión, absorción, alabeo, variación dimensional) y el peso específico.
- 03 pilas de unidades artesanales para ver el comportamiento en conjunto de unidades.
- 03 pilas de cemento con sustitución de agregado fino por PET al 20%,40%,60%,80%, para ver el comportamiento en conjunto de unidades

Tabla 16. muestras a ensayar a compresión

Muestras a Ensayar (Ensayo a compresión)		
Descripción	Edad	Sub-Total
	21 días	
PET al 20%	10	10
PET al 40%	10	10
PET al 60%	10	10
PET al 80%	10	10
Ladrillo artesanal	05	05
Total:		45

Tabla 17. Ensayos de absorción

Muestra a ensayar (Ensayo de absorción)		
Descripción	Edad	Sub-Total
	21 días	
PET al 20%	10	10
PET al 40%	10	10
PET al 60%	10	10
PET al 80%	10	10
Ladrillo artesanal	05	05
Total:		45

Tabla 18. Ensayos de variación dimensional

• Muestras a ensayar (ensayo de variación dimensional)		
Descripción	Edad	Sub-Total
	21 días	
PET al 20%	10	10
PET al 40%	10	10
PET al 60%	10	10
PET al 80%	10	10
Ladrillo artesanal	05	05
Total:		45

Tabla 19. Ensayos de alabeo

• Muestras a ensayar (ensayo de alabeo)		
Descripción	Edad	Sub-Total
	21 días	
PET al 20%	10	10
PET al 40%	10	10
PET al 60%	10	10
PET al 80%	10	10
Ladrillo artesanal	05	05
Total:		45

Tabla 20. Ensayo a Pilas

• Muestras a ensayar (pilas)		
Descripción	Edad	Sub-Total
	21 días	
PET al 20%	3	3
PET al 40%	3	3
PET al 60%	3	3
PET al 80%	3	3
Ladrillo artesanal	3	3
Total:		15

3.3.2.3 Método de muestreo

En las muestras no probabilistas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. (Sampieri, 2014)

El método de muestreo empleado, dado que los elementos de evaluación de la muestra se fabrican por conveniencia, es no probabilístico; también denominado por conveniencia.

3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio UNITEST S.A.C, los investigadores procedieron a verificar los ensayos obtenidos del laboratorio, se realizó un control de los datos obtenidos en el laboratorio.

Para la revisión de las muestras previamente se estudió las normas 399.604 y la norma 399.613 indicadas en la Norma E0.70

Para la fabricación de las unidades con PET utilizamos balanzas calibradas, así como moldes que mandamos hacer en la carpintería verificando los anchos largos y altura de los mismos.

Las dimensiones del ladrillo prototipo y artesanal son de 24cm*12cm*9cm

3.3.3 Criterios de inclusión

- El PET usado pasa la malla N°4 y es retenido en la malla N°200



- Las unidades fueron elaboradas con cemento Portland IP
- El agua usada es potable
- Las unidades se realizaron para muros no portantes

3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos metodológicos de recolección de datos (encuestas, entrevistas, guías de observación)

Se uso guías para registro de datos de forma ordenada y sistemática en la elaboración de las unidades ya que el laboratorio nos entregó los procedimientos que usaron para la recolección de datos que se adjuntara en anexos.

3.4.1.1 Guías de observación de campo

UNITEST - UNIVERSAL TESTING
 LABORATORIO AUTOMATIZADO DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

PRONUNCIADA: "RESERVA DE COMPARETIVA DEL TIPO PROYECTO DE LADRILLO MACIZO DE CEMENTO SUSTITUYENDO EL AGREGADO FINO EN OPCIÓN DESECCIONADO EN LADRILLO ARTESANAL", EJECUCIÓN 2018"

ENSAYO DE PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

NTP 399.613 - 2005

N°	MUESTRA	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g)	PORCENTAJE (%)
1	LADRILLOS			
2	LADRILLOS			
3	LADRILLOS			
4	LADRILLOS			
5	LADRILLOS			

VARIABILIDAD DIMENSIONAL EN PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

Norma NTP 399.613 y 399.604.

ENSAYO: VARIABILIDAD DIMENSIONAL EN PRISMAS DE ALBAÑILERÍA				
Norma NTP 399.613 y 399.604.				
Objetivo: Determinar la variabilidad dimensional en prismas de albañilería				
PROYECTO:				
SOLICITADO:				
FECHA:				
OBSERVACION: Ladrillos proporcionados por el Solicitante.				
Medidas	Mostrador	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
Medida Promedio Dimensional Específica	MP			
Variabilidad Dimensional	DE			
Variabilidad Dimensional	V%			

Cusco: Urb. Tito W.26, Wanchaq - Cusco, Tlf: (084) 242700, Cel. Claro: 984351700 RPM # 959646496, RPC: 987252150
 Quillabamba: General Gamarra N° 450, Quillabamba - Cusco, RPC: 987252150
 Abancay: Av. Tenhuco lote: 5- frente al grifo Petro Gas- Repsol.
www.unitestperu.com, unitestperu@hotmail.com, unitestperu@gmail.com

Figura 10. Formato de Recolección de Datos Absorción y Variabilidad Dimensional
Fuente: UNITEST

UNITEST - UNIVERSAL TESTING
 LABORATORIO AUTOMATIZADO DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

PROYECTO: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE UN PROTOTIPO DE LADRILLO MACIZO DE CEMENTO SUSTITUYENDO EL AGREGADO FINO POR PET RESPECTO A UN LADRILLO ARTESANAL CUSCO-2018"

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

NTP 399.613-2015
LADRILLO DE 24x12x09

ENSAYO: COMPRESION SIMPLE EN PRISMAS DE ALBAÑILERIA								
Objeto: Determinar el porcentaje de resistencia alcanzado por prismas de albañileria								
OBRA :								
SOLICITADO:								
FECHA:								
OBSERVACION: Los ladrillos proporcionados por el Solicitante.								
N°	ESTRUCTURA / ELEMENTO	FECHA		LARGO	ANCHO	ALTURA	DIAL	RESISTENCIA
		MOLDEO	ROTURA	(cm)	(cm)	(cm)	(Mpa)	(kg/cm2)
1	LADRILLOS							
2	LADRILLOS							
3	LADRILLOS							
4	LADRILLOS							
5	LADRILLOS							

ENSAYO DE ALABEO

NTP 399.613.

ENSAYO: ALABEO EN PRISMAS DE ALBAÑILERIA			
Objeto: Determinar el alabeo en prismas de albañileria			
PROYECTO :			
SOLICITADO:			
FECHA:			
OBSERVACION Ladrillos proporcionados por el Solicitante.			
N°	ESTRUCTURA / ELEMENTO	CONCAVIDAD	CONVEXIDAD
1	LADRILLOS		
2	LADRILLOS		
3	LADRILLOS		
4	LADRILLOS		
5	LADRILLOS		
PROMEDIO (mm)			

Cusco: Urb. Ttio W-26, Wanchaq - Cusco, Tlf.: (084) 242700, Cel. Claro: 984351760 RPM # 959646496, RPC: 987252150
 Quillabamba: General Gamarra N° 450, Quillabamba - Cusco, RPC: 987252150
 Abancay: Av. Tamburco lote: 5- frente al grifo Petro Gas- Repsol.
www.Unitestperu.com, unitestperu@hotmail.com, unitestperu2@gmail.com

Figura 11. Formato de Recolección de Datos para Compresión y Alabeo
Fuente: UNITEST.

PROPUESTA RESERVA DE DERECHOS DE AUTOR (Ley N° 27120) 11/2012

UNITEST - UNIVERSAL TESTING
 LABORATORIO GEOTÉCNICO AUTOMATIZADO
 LABORATORIO AUTOMATIZADO DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

Análisis Granulométrico de Agregados (ASTM C 136)

PROYECTO _____

SOLICITANTE _____

CERTIFICADO _____

CANTERA _____

FECHA _____

AGREGADO _____

Datos de ensayo

Peso Total : _____

Peso muestra lavada : _____

Malla	Peso	% Ret	% Ret	% que		PROPIEDADES FÍSICAS	
Tamiz	(gr)	Parcial	Acum.	que			
mm.				Pasa			
3"	76.200					MODULO DE ELASTICIDAD	0.000
2 1/2"	63.500					LÍMITE MÁX. NOM.	--
2"	50.800					PI BULK (BASE SAT.)	-- kg/m ³
1 1/2"	38.100					PESO UNIT. COMPACT.	-- kg/m ³
1"	25.400					PESO UNIT. SUELTO	-- kg/m ³
3/4"	19.050					% ABSORCIÓN	-- %
1/2"	12.700					% HUMEDAD	-- %
3/8"	9.525					% MALLA - # 200	0.00 %
1/4"	6.350					ABRASIÓN LOS ANGELES	-- %
No.4	4.760						
8	2.360						
10	2.000						
16	1.190						
30	0.600						
40	0.420						
50	0.300						
80	0.180						
200	0.074						
< 200							

CURVA GRANULOMÉTRICA

OBSERVACIONES: _____

Cusco: Urb. Ttlo W-26, Wanchaq - Cusco, Tlf.: (084) 242700, Cel. Claro: 984351760 RPM # 959646496, RFC: 987252150
 Quillabamba: General Gamarra N° 450, Quillabamba - Cusco, RFC: 987252150
 Abancay: Av. Tamburco lote: 5- frente al grifo Petro Gas- Hepsol.
www.unitestperu.com, unitestperu@hotmail.com, unitestperu2@gmail.com

Figura 12. Formato de Recolección de datos para Granulometría

Fuente: UNITEST



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO



TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE UN PROTOTIPO DE LADRILLO MACIZO DE CEMENTO SUSTITUYENDO EL AGREGADO FINO POR PET RESPECTO A UN LADRILLO ARTESANAL, CUSCO-2018"

TESISTAS: - Ronald Joseph OCHOA TERAN
- Juan Pablo FLORES FLOREZ

LABORATORIO: LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FECHA:

MUESTRA:

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO

N°	MUESTRA	PESO SECO (gr)
1	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	
2	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	
3	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	
4	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	
5	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	

Figura 13. Hoja de recolección de datos del ensayo de Peso Específico



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO



TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE UN PROTOTIPO DE LADRILLO MACIZO DE CEMENTO SUSTITUYENDO EL AGREGADO FINO POR PET RESPECTO A UN LADRILLO ARTESANAL, CUSCO-2018"

TESISTAS: - Ronald Joseph OCHOA TERAN
- Juan Pablo FLORES FLOREZ

LABORATORIO: LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FECHA:

MUESTRA:

ENSAYO DE PORCENTAJE DE ABSORCION

N°	MUESTRA	PESO SECO (gr)	PESO SATURADO (gr)	POCENTAJE (%)
1	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			
2	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			
3	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			
4	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			
5	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			

Figura 14. Hoja de recolección de datos del ensayo de absorción



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO



TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE UN PROTOTIPO DE LADRILLO MACIZO DE CEMENTO SUSTITUYENDO EL AGREGADO FINO POR PET RESPECTO A UN LADRILLO ARTESANAL, CUSCO-2018"

TESISTAS: - Ronald Joseph OCHOA TERAN
- Juan Pablo FLORES FLOREZ

LABORATORIO: LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FECHA:

MUESTRA:

ENSAYO DE VARIABILIDAD DIMENSIONAL

N°	MUESTRA	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
1	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			
2	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			
3	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			
4	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			
5	Ladrillo de Cemento con PET al 20%			
Medida Promedio	MP			
Dimensión Específica	DE			
Variabilidad Dimensional	V%			

Figura 15. Hoja de recolección de datos del ensayo de variabilidad



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO



TESIS: "EVALUACIÓN COMPARATIVA DE UN PROTOTIPO DE LADRILLO MACIZO DE CEMENTO SUSTITUYENDO EL AGREGADO FINO POR PET RESPECTO A UN LADRILLO ARTESANAL, CUSCO-2018"

TESISTAS: - Ronald Joseph OCHOA TERAN
- Juan Pablo FLORES FLOREZ

LABORATORIO: LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FECHA:

MUESTRA:

ENSAYO DE ALABEO
NTP. 399.613

N°	MUESTRA	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)
1	Ladrillo de Cemento con PET al 20%		
2	Ladrillo de Cemento con PET al 20%		
3	Ladrillo de Cemento con PET al 20%		
4	Ladrillo de Cemento con PET al 20%		
5	Ladrillo de Cemento con PET al 20%		
PROMEDIO (mm)			

Figura 16. Hoja de recolección de datos del ensayo de Alabeo



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO



TESIS: ""EVALUACIÓN COMPARATIVA DE UN PROTOTIPO DE LADRILLO MACIZO DE CEMENTO SUSTITUYENDO EL AGREGADO FINO POR PET RESPECTO A UN LADRILLO ARTESANAL, CUSCO-2018""

TESISTAS: - Ronald Joseph OCHOA TERAN
- Juan Pablo FLORES FLOREZ

LABORATC LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FECHA:

MUESTRA:

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

N°	MUESTRA	Resistencia (kg-cm2)
1	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	
2	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	
3	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	
4	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	
5	Ladrillo de Cemento con PET al 20%	

Figura 17. Hoja de recolección de datos del Ensayo de Compresión Simple

3.4.2 Instrumentos de ingeniería

3.4.2.1 Máquina universal de compresión

La máquina de compresión es similar a una prensa con la cual es posible someter algunos materiales a pruebas o ensayos de compresión. La presión realizada es mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o por un sistema hidráulico, el cual mantiene una velocidad de carga continua y uniforme



Figura 18. Máquina de Compresión

3.4.2.2 Discos rectangulares para el ensayo a compresión

Es un material de acero que se usa para uniformizar la superficie de una unidad la cual será sometida a un ensayo de compresión en este caso para uniformizar la superficie de un ladrillo

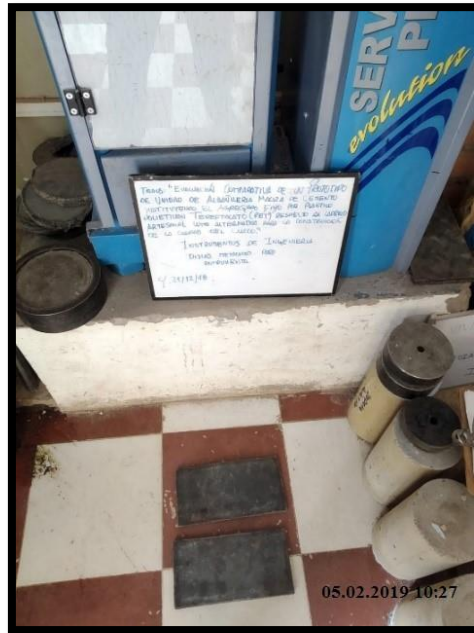


Figura 19. Discos Rectangulares para ensayo a compresión

3.4.2.3 Juego de tamices

Es un grupo de tamices las cuales sirven para el análisis granulométrico, cada tamiz tiene diferentes mallas según el número, para agregados finos se considera los siguientes tamices #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 de acuerdo a la norma E.070 el número de tamiz indica la apertura del tamiz por pulgada lineal



Figura 20. Juego de Tamices

3.4.2.4 Balanza electrónica

La balanza es una herramienta que indica el peso de un elemento la cual cuenta con un error según sea la capacidad de peso de la misma herramienta, en el caso de las balanzas electrónica nos iniciara el valor en una pantalla digita que el mismo lleva.



Figura 21. Balanza Electrónica



Figura 22. Balanza Electrónica

3.4.2.5 Moldes de madera para ladrillo de PET

Son moldes que se mandaron hacer con madera para la elaboración de ladrillos con PET

3.4.2.6 Moldes de metal para ladrillo de PET

Es un molde de acero que cuenta con tubos redondeados soldados a una placa de metal con la cual se puede realizar los espacios vacíos de un ladrillo King Kong

3.4.2.7 Horno

Es una herramienta rectangular que mantiene una temperatura constante, la cual puede ser graduada para la realización de ensayos que necesiten mantener temperaturas constantes



Figura 23. Horno

3.4.2.8 Regla metálica

Es una regla de metal que nos indica una medición



Figura 24. Regla Metálica

3.4.2.9 Bernier

Es una herramienta que nos indica una medición con precisión al milímetro



Figura 25. Bernier

3.5 Procedimiento de recolección de datos

3.5.1 Título de la prueba de laboratorio o procedimiento que se realizó para la recolección de datos

- a) Equipos utilizados en la prueba
- b) Procedimiento
- c) Toma de datos

3.5.2 Muestreo de las Unidades de Albañilería NTP 331.017

3.5.2.1 Objeto:

Este procedimiento establece la forma correcta de como poder elegir de manera adecuada las unidades de albañilería representativas respecto a parámetros que nos permitan corroborar características optimas en el rango completo de colores, texturas y tamaños libres de impurezas, limos y otros materiales no asociados con el proceso de fabricación.

3.5.2.2 Procedimiento:

La selección y adquisición de las unidades de albañilería artesanal se realizó en la ladrillera “LATESAN” ubicada en el distrito de San Jerónimo,



Figura 26. Adquisición de los ladrillos artesanales en la ladrillera "LATESAN"

Para seleccionar el número de especímenes requeridos para los ensayos posteriores se toma en cuenta el criterio de utilizar un mínimo de 10 unidades representativas de un lote de 1'000,000.00., en nuestro caso se utilizó 14 unidades de albañilería artesanal para realizar los ensayos.

Se observó las condiciones respecto a almacenamiento, presencia de impurezas y limos que no están asociadas al proceso de fabricación.



Figura 27. Condiciones de transporte y almacenamiento de los ladrillos artesanales
Posteriormente a observar las muestras y las condiciones de almacenamiento, se hizo la compra de los especímenes requeridos, en un total de 20 unidades.



Figura 28. Selección de los ladrillos artesanales.



3.5.2.3 Proceso de fabricación de prototipos de ladrillo macizo de cemento

Elaboración de las unidades de albañilería de cemento con adición de PET al 20%, 40%, 60% y 80% en sustitución del agregado fino.

3.5.2.4 Equipos:

- Molde para unidades de albañilería
- Cemento
- Agua
- PET
- Jarra Plástica (Dosificador volumétrico)

3.5.2.5 Procedimiento

- **Diseño de dosificaciones del prototipo de ladrillo**

El PET adquirido ya se utilizó lavado y triturado respectivamente, una de las dificultades de trabajar con este material es de poder adquirirlo de esta manera ya que su distribución es muy limitada, se hizo la adquisición en presentaciones de 20 kilogramos, y se procedió a pesar para su posterior dosificación.

Se seleccionó los materiales previamente, para poder calcular los porcentajes de PET con un diseño de mezclas 1:1, la dosificación cemento y agregado fino (arena fina) por ladrillo, en volumen de 1:1, donde el primer dígito corresponde a una jarra plástica y media de cemento con un volumen de 1500 cm³, y el segundo dígito corresponde a una jarra plástica y media de agregado fino con un volumen de 1500 cm³, respecto a esta dosificación se sustituyó el agregado fino por PET en volumen del 20%, 40%, 60% y 80% teniendo de esta manera 4 dosificaciones volumétricas.

Se alistó los materiales para comenzar con el procedimiento de elaboración de las unidades de PET.

Por el método del cuarteo se tomaron las cantidades necesarias para poder realizar las dosificaciones, de acuerdo al diseño de mezcla.

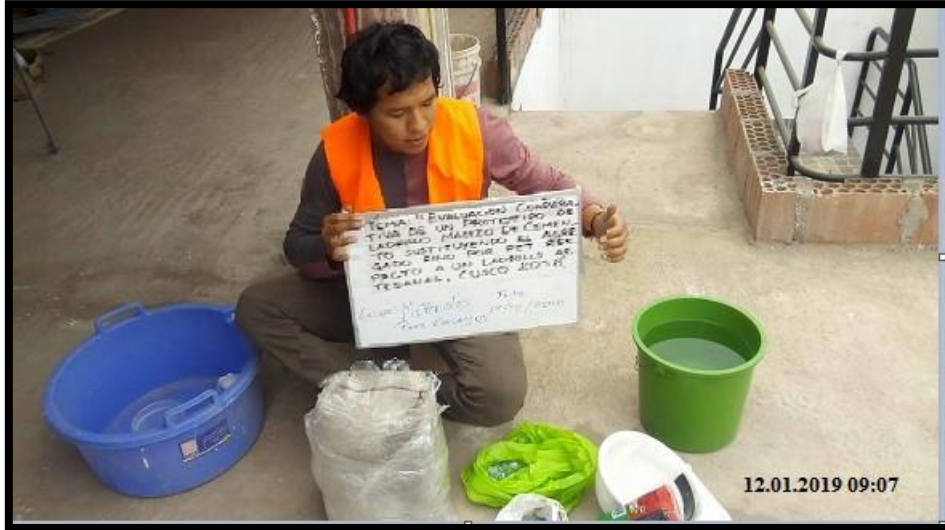


Figura 29. Selección del PET triturado



Figura 30. Pesaje para comenzar la dosificación del PET



Figura 31. Dosificación para los distintos porcentajes de PET.



Figura 32. Mezcla de los materiales para la elaboración de los prototipos de ladrillo.



Figura 33. Separando las proporciones para las distintas dosificaciones empleadas. Posteriormente se hizo la preparación y mezcla del cemento con el agregado fino, así como las dosificaciones de PET.

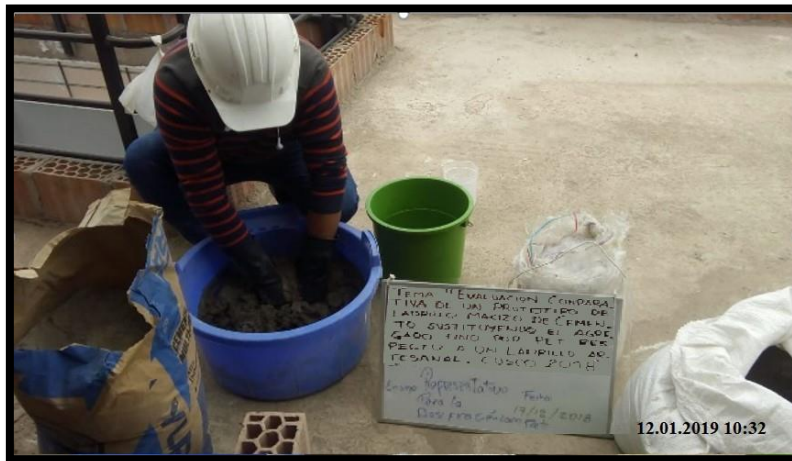


Figura 34. Mezcla de Concreto con las distintas dosificaciones de PET.



Figura 35. Echado la mezcla a los moldes.

3.5.3 Determinación del Peso Específico (NTP 399.613 y NTP 399.604)

3.5.3.1 Objeto

Se determinó el peso de las muestras enteras y secas, en el reporte de resultados se indicó en las hojas de recolección de datos el peso seco de cada muestra, aquí se detalla el procedimiento empleado para los ensayos iniciales y complementarios.

3.5.3.2 Equipos

- Balanza Electrónica.

3.5.3.3 Procedimiento

Se determinó el peso de las muestras en la balanza electrónica que tiene una capacidad no menor de 3000 gr y una aproximación de 0.5 g, cada uno se manera individual.



Figura 36. Balanza Electrónica UNITEST



Figura 37. Balanza Electrónica del laboratorio de la UAC.

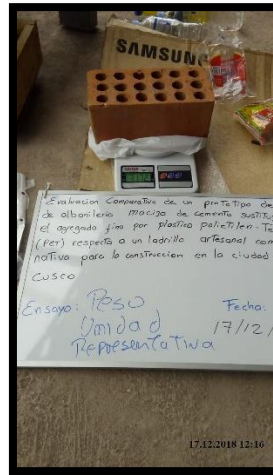


Figura 38. Pesaje del ladrillo artesanal.

3.5.3.4 Toma de datos

Tabla 21. Datos obtenidos del ensayo de Peso específico de la dosificación del 20% de PET.

N ° ladrillo	Muestra	Peso Seco (gr)
1	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3302.00
2	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3315.26
3	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3352.00
4	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3251.00
5	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3189.26
6	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3278.30
7	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3340.70
8	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3289.00
9	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3100.90
10	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 20%	3250.40

Tabla 22. Datos obtenidos del ensayo de Peso Específico de la dosificación del 40% de PET.

N ° ladrillo	Muestra	Peso Seco (gr)
1	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3056.08
2	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3152.36
3	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3251.34



4	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3085.74
5	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3152.34
6	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3004.50
7	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3109.10
8	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3042.60
9	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3082.40
10	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 40%	3094.60

Tabla 23. Datos obtenidos del ensayo de Peso Específico de la dosificación del 60% de PET.

N ° ladrillo	Muestra	Peso Seco (gr)
1	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3001.34
2	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3052.31
3	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3152.37
4	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3059.67
5	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3078.31
6	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3000.00
7	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3025.20
8	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3100.56
9	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3125.20
10	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 60%	3015.00

Tabla 24. Datos obtenidos del ensayo de Peso Específico de la dosificación del 80% de PET.

N ° ladrillo	Muestra	Peso Seco (gr)
1	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	2840.56
2	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	2956.23
3	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	3058.32
4	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	2989.75



5	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	2884.25
6	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	2826.25
7	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	3010.53
8	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	3025.54
9	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	2953.56
10	Prototipo de ladrillo de cemento con PET al 80%	2853.00

Durante el pesaje de las muestras nos percatamos que la unidad no presente humedad, y se tuvo cuidado con su almacenamiento.

3.5.4 CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO DE CUNYAC Y DEL PET

3.5.4.1 Objetivo

Determinar las características del agregado fino, con métodos mecánicos y visuales.

3.5.4.2 Equipo

- Bandeja
- Espátula

3.5.4.3 Granulometría del PET NTP 400.12

Este ensayo permitió adecuar el ensayo de granulometría referenciado por NTP 400.12 para determinar la distribución de partículas de Polietileno Tereftalato (PET).

3.5.4.4 Equipos

- Juego de Tamices de ASTM.
- Bandeja.
- Balanza Electrónica.

3.5.4.5 Procedimiento

Iniciamos el procedimiento seleccionando una muestra de PET por cuarteo, y se procedió a pesar la muestra.



Figura 39. Pesaje del PET seleccionado para la determinación de su granulometría. Luego se realizó el tamizado manualmente utilizando los tamices ASTM.



Figura 40. Tamizado y zarandeo del PET.

Se procedió a retirar los tamices y observar cada tamiz para continuar con el pesaje.



Figura 41. Revisión de los tamices después del zarandeo. Se realizó el pesaje de cada tamiz para que se pueda tener los pesos retenidos, y finalmente se observó la gradación del material de ensayo en este caso el PET, a su vez que se tomó los datos.



Figura 42. Gradación del PET.

Tabla 25. Granulometría del agregado fino

Tamiz	Lim. Inferior	Agr. Fino	Lim. Superior
N°4	100%	100%	100%
N°8	95%	99%	100%
N°16	70%	99%	100%
N°30	40%	63%	75%
N°50	10%	24%	35%
N°100	2%	6%	15%
N°200	0%	1%	2%

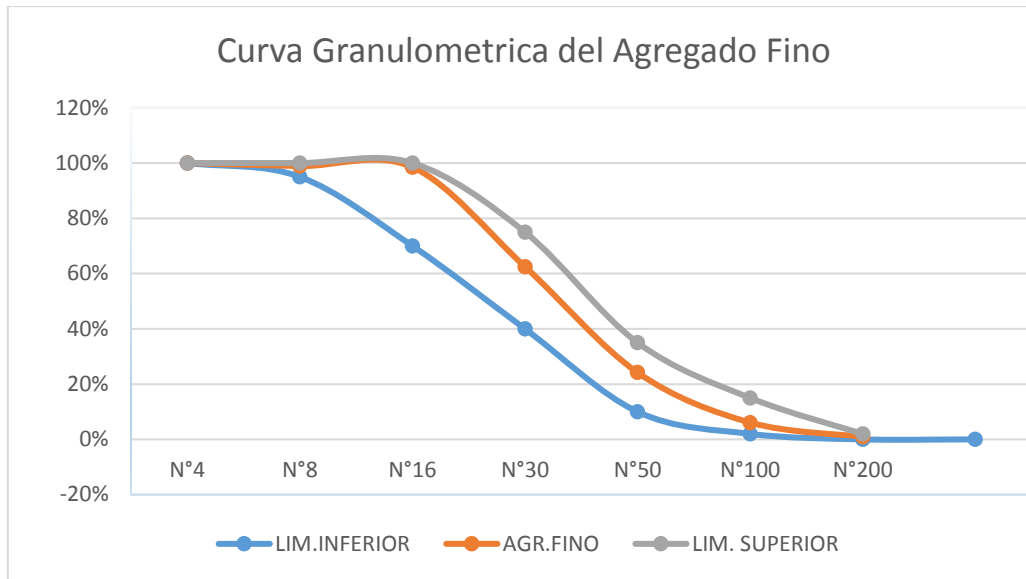


Figura 43. Curva Granulométrica del Agregado Fino

Tabla 26. Granulometría del PET

Tamiz	Lim. Inferior	PET	Lim. Superior
N°4	100%	100%	100%
N°8	95%	96%	100%
N°16	70%	73%	100%
N°30	40%	43%	75%
N°50	10%	10%	35%
N°100	2%	7%	15%
N°200	0%	0%	2%

Fuente: Propia.

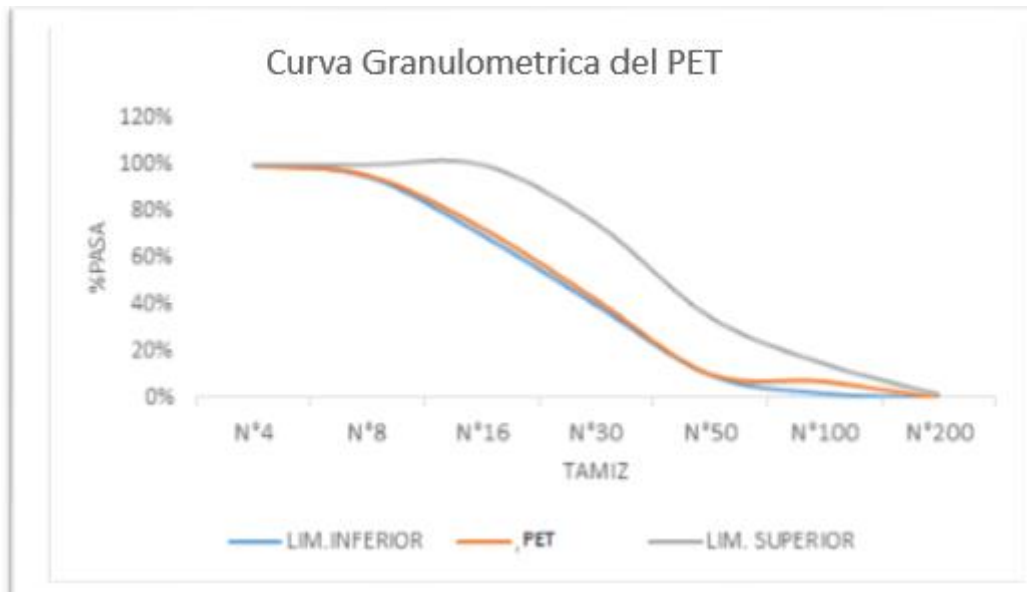


Figura 44. Curva Granulométrica del PET.

3.5.5 Resistencia a la Compresión en pilas NTP 339.613 y 339.604

3.5.5.1 Objeto

Se ensayarán las pilas de ladrillos artesanales secas y las pilas de prototipos de ladrillo con de si la capacidad de resistencia de la prueba del espécimen excede la capacidad de la maquina se podrá, ensayar unidades menores.

3.5.5.2 Equipos

- Máquina de Ensayo
- Bloques de acero y soporte de platos
- Especímenes de prueba

3.5.5.3 Procedimiento

Ensayar los especímenes de prueba sobre su mayor dimensión, y centrar los apoyos con los apoyos metálicos en la parte superior e inferior.



Figura 45. Pila de Ladrillo Artesanal

Se realizó los ensayos hasta que las pilas de ladrillos artesanales y los prototipos de ladrillo con fallen a compresión.



Figura 46. Ensayo de Pilas de ladrillo artesanal

Se realizó el ensayo para 03 pilas de ladrillos artesanales y 03 pilas de prototipos de ladrillo.

3.5.6 Ensayos de compresión en unidades de albañilería artesanal y unidades de albañilería con adición de PET NTP. 339.613 y 339.604

3.5.6.1 Objeto

Determinar la resistencia a la compresión de los ladrillos artesanales y los prototipos de ladrillo de cemento.

3.5.6.2 Instrumentos

- Máquina de Ensayo
- Bloques de acero y soporte de platos
- Especímenes de prueba

3.5.6.3 Procedimiento

Se coloca las unidades de albañilería en la máquina de compresión colocando y ajustando el soporte de acero rectangular para comenzar los ensayos.



Figura 47. Máquina compresión universal con el prototipo de ladrillo

Se procedió a utilizar la máquina del ensayo, y se ejerció las cargas hasta lograr el fallo por compresión de cada unidad.



Figura 48. Prototipo de ladrillo posterior a la rotura

Se realizó el ensayo a compresión para cada unidad de albañilería con adición de PET con los distintos porcentajes.



Figura 49. Prototipos de ladrillo después del ensayo de compresión.



Figura 50. Prototipos de ladrillo en el laboratorio de la UAC.

3.5.6.4 Toma de datos

Tabla 27. Formato de recolección de datos para el ensayo de compresión con PET al 20%

Ladrillo	Carga (kg-f)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg cm ²)
1	40288.64	273.70	147.20
2	39154.76	277.30	141.20
3	42465.16	279.56	151.90
4	40073.85	279.65	143.30
5	38121.17	278.46	136.90
6	41328.00	288.00	143.50
7	41613.11	287.98	144.50
8	40008.60	286.80	139.50
9	42857.96	289.19	148.20
10	40472.14	283.22	142.90

Tabla 28. Formato de recolección de datos para el ensayo de compresión con PET al 40%

Ladrillo	Carga (kg-f)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg cm ²)
1	29028.38	274.89	105.60
2	32100.01	280.84	114.30
3	27951.61	284.35	98.30
4	31276.02	282.02	110.90
5	28692.09	279.65	102.60
6	30024.00	288.00	104.25
7	31850.59	287.98	110.60
8	31146.48	286.80	108.60
9	32331.44	289.19	111.80
10	30463.14	283.22	107.56

Tabla 29. Formato de recolección de datos para el ensayo de compresión con PET al 60%

Ladrillo	Carga (kg-f)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg cm ²)
1	26981.43	289.19	93.30
2	24973.64	279.66	89.30
3	26334.55	279.56	94.20
4	27550.40	280.84	98.10
5	27651.08	278.46	99.30
6	25707.95	284.38	90.40
7	27189.60	284.41	95.60
8	28103.04	285.60	98.40
9	26321.37	287.98	91.40
10	25065.94	282.02	88.88

Tabla 30. Formato de recolección de datos para el ensayo de compresión con PET al 80%

Ladrillo	Carga (kg-f)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg cm ²)
1	20993.74	287.98	72.90
2	22476.99	282.02	79.70
3	21152.25	282.03	75.00
4	21777.14	278.48	78.20
5	18646.65	279.56	66.70
6	20860.40	279.63	74.60
7	20182.80	290.40	69.50
8	20560.69	286.80	71.69
9	22513.80	286.80	78.50
10	19396.76	284.41	68.20

3.5.7 Ensayo de variación dimensional y Alabeo en ladrillos artesanales y prototipos de ladrillo de cemento

3.5.7.1 Objeto

Se realizarán las mediciones con una regla metálica graduada en divisiones de 1.0 mm, los espesores de las paredes laterales y los tabiques se medirán con un calibrador vernier. Graduado en divisiones de 0.4 mm.

3.5.7.2 Instrumentos

- Regla metálica.
- Vernier (Pie de rey)
- Muestras.

3.5.7.3 Procedimiento

Se midieron los ladrillos artesanales y los prototipos de ladrillo enteros, como el ancho, altura y longitud, y los espesores mínimos de las paredes laterales y tabiques.



Figura 51. Toma de datos ancho en los prototipos de ladrillo.



Figura 52. Medición para los valores de concavidad - convexidad en los prototipos de ladrillo.



Figura 53. Toma de datos para variación dimensional en los prototipos de ladrillo en el laboratorio del a UAC.



Figura 54. Toma de datos para los valores de alabeo en el laboratorio de la UAC.

3.5.7.4 Toma de datos

Tabla 31. Toma de datos para los valores de Variación dimensional de los prototipos de ladrillo con 20% de PET.

Prototipo de ladrillo	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
1	238.00	115.00	91.00
2	235.00	118.00	89.00
3	241.00	116.00	85.00
4	235.00	119.00	87.00
5	238.00	117.00	86.00
6	240.00	120.00	90.00
7	242.00	119.00	90.00
8	239.00	120.00	88.00
9	239.00	121.00	87.00
10	238.00	119.00	89.00



Tabla 32. Toma de datos para los valores de Variación dimensional de los prototipos de ladrillo con 40% de PET.

Prototipo de ladrillo	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
1	231.00	119.00	87.00
2	238.00	118.00	88.00
3	235.00	121.00	86.00
4	239.00	118.00	89.00
5	235.00	119.00	91.00
6	240.00	120.00	90.00
7	242.00	119.00	90.00
8	239.00	120.00	88.00
9	239.00	121.00	87.00
10	238.00	119.00	89.00

Tabla 33. Toma de datos para los valores de Variación dimensional de los prototipos de ladrillo con 60% de PET.

Prototipo de ladrillo	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
1	239.00	121.00	87.00
2	237.00	118.00	91.00
3	241.00	116.00	86.00
4	238.00	118.00	89.00
5	238.00	117.00	88.00
6	241.00	118.00	88.00
7	239.00	119.00	89.00
8	238.00	120.00	89.00
9	238.00	121.00	90.00
10	239.00	118.00	88.00



Tabla 34. Toma de datos para los valores de Variación dimensional de los prototipos de ladrillo con 80% de PET.

Prototipo de ladrillo	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
1	238.00	121.00	87.00
2	239.00	118.00	89.00
3	237.00	119.00	86.00
4	236.00	118.00	88.00
5	241.00	116.00	89.00
6	239.00	117.00	87.00
7	240.00	121.00	90.00
8	239.00	120.00	88.00
9	239.00	120.00	88.00
10	239.00	119.00	90.00

Tabla 35. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 20% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Concavidad	Convexidad
1	1.45	2.06
2	2.45	2.15
3	1.52	3.57
4	2.51	4.12
5	1.23	1.87
6	1.35	2.00
7	2.10	2.40
8	1.10	1.60
9	1.40	2.59
10	2.30	2.69

Tabla 36. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 40% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Concavidad	Convexidad
1	2.56	3.51
2	2.74	4.15
3	1.96	3.95
4	2.84	4.05
5	1.63	1.63
6	2.20	1.95
7	1.60	1.78
8	2.10	2.40



9	1.89	1.42
10	1.44	1.02

Tabla 37. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 60% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Concavidad	Convexidad
1	2.84	2.68
2	3.26	3.25
3	1.52	3.26
4	2.45	5.12
5	2.35	2.98
6	2.20	1.50
7	1.60	1.64
8	1.94	1.82
9	1.00	1.94
10	1.26	2.03

Tabla 38. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 80% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Concavidad	Convexidad
1	2.58	2.65
2	2.89	3.35
3	2.74	3.29
4	2.61	3.47
5	2.15	2.89
6	1.06	2.05
7	2.14	1.94
8	1.52	1.65
9	1.63	1.14
10	1.98	1.78

3.5.8 Ensayos de Porcentaje de Absorción para unidades de albañilería con adición de PET NTP 339.613 Y 339.604

3.5.8.1 Objeto

Determinar el porcentaje de absorción para unidades de albañilería con adición de PET al 20%, 40%, 60% y 80%.

3.5.8.2 Instrumentos

- Balanza electrónica.
- Horno.
- Muestras.

3.5.8.3 Procedimiento

Se sumergieron los especímenes de prueba en agua a una temperatura entre 15.6 y 25.7 °C por 24 horas.

Se realizó la saturación sumergiendo las muestras.

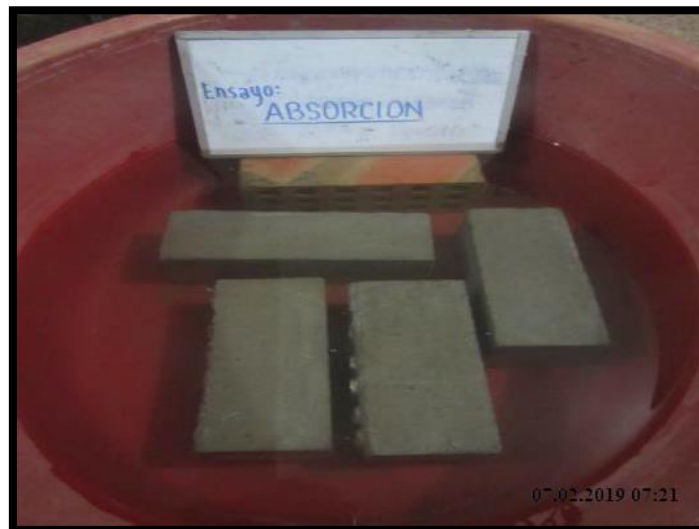


Figura 55. Prototipos de ladrillo sumergidos para el ensayo de absorción.

Una vez que se logró la saturación durante 24 horas de las muestras de prueba se procedió a pesar para calcular el peso, luego de 5 minutos de ser retirados del agua.



Figura 56. Prototipo de ladrillo saturado.



Figura 57. Toma de datos del prototipo saturado en el laboratorio de la UAC.



3.5.8.4 Toma de datos

Tabla 39. Toma de datos para el ensayo de Peso Específico en el prototipo de ladrillo con 20% de PET.

Ladrillo	Peso Saturado	Peso Seco
1	3400.00	3302.00
2	3415.36	3315.26
3	3456.23	3352.00
4	3415.26	3251.00
5	3356.26	3189.26
6	3383.21	3278.30
7	3455.95	3340.70
8	3438.98	3289.00
9	3224.94	3100.90
10	3385.29	3250.40

Tabla 40. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 40% de PET.

Ladrillo	Peso Saturado	Peso Seco
1	3165.00	3056.08
2	3251.25	3152.36
3	3389.74	3251.34
4	3178.23	3085.74
5	3287.56	3152.34
6	3130.69	3004.50
7	3227.87	3109.10
8	3195.03	3042.60
9	3224.19	3082.40
10	3206.01	3094.60

Tabla 41. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 60% de PET.

Ladrillo	Peso Saturado	Peso Seco
1	3077.00	3001.34
2	3154.26	3052.31
3	3256.51	3152.37
4	3152.36	3059.67
5	3170.89	3078.31
6	3099.00	3000.00
7	3108.39	3025.20

8	3224.58	3100.56
9	3225.21	3125.20
10	3121.43	3015.00

Tabla 42. Toma de datos para los valores de alabeo en los prototipos de ladrillo con 80% de PET.

Ladrillo	Peso Saturado	Peso Seco
1	2931.55	2840.56
2	3042.61	2956.23
3	3150.26	3058.32
4	3075.14	2989.75
5	2950.74	2884.25
6	2914.15	2826.25
7	3105.00	3010.53
8	3117.82	3025.54
9	3041.58	2953.56
10	2932.31	2853.00

3.6 Procedimiento de análisis de datos

3.6.1 Variación Dimensional de los Prototipos de Ladrillo y Ladrillos Artesanales

Se obtuvo la variación dimensional de los prototipos de ladrillo con PET en las dosificaciones de 20%, 40%, 60% y 80%, y los ladrillos artesanales con la siguiente fórmula:

$$\text{Variación Dimensional (\%)} = \frac{(\text{Dimensión del Ladrillo Artesanal} - \text{Dimensión Real})}{\text{Dimensión Real}} \times 100 \%$$

- Dimensión del Ladrillo Artesanal = Dimensión Ladrillo Artesanal
- Dimensión Real = Dimensión Real del Prototipo de Ladrillo

Tabla 43. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 20% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Largo (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	239.00	238.00	1.00	0.42	2.27
2	239.00	235.00	4.00	1.67	
3	239.00	241.00	-2.00	-0.84	
4	239.00	235.00	4.00	1.67	
5	239.00	238.00	1.00	0.42	
6	239.00	240.00	-1.00	-0.42	
7	239.00	242.00	-3.00	-1.26	
8	239.00	239.00	0.00	0.00	
9	239.00	239.00	0.00	0.00	
10	239.00	238.00	1.00	0.42	
Promedio		238.50	0.50	0.21	

Tabla 44. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 20% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Ancho (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	118.40	115.00	3.40	2.87	1.90
2	118.40	118.00	0.40	0.34	
3	118.40	116.00	2.40	2.03	
4	118.40	119.00	-0.60	-0.51	
5	118.40	117.00	1.40	1.18	
6	118.40	120.00	-1.60	-1.35	
7	118.40	119.00	-0.60	-0.51	
8	118.40	120.00	-1.60	-1.35	
9	118.40	121.00	-2.60	-2.20	
10	118.40	119.00	-0.60	-0.51	
Promedio		118.40	0.00	0.00	

Tabla 45. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 20% de PET

Prototipo de Ladrillo	Altura (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	87.80	91.00	-3.20	-3.64	1.93
2	87.80	89.00	-1.20	-1.37	
3	87.80	85.00	2.80	3.19	
4	87.80	87.00	0.80	0.91	
5	87.80	86.00	1.80	2.05	
6	87.80	90.00	-2.20	-2.51	
7	87.80	90.00	-2.20	-2.51	
8	87.80	88.00	-0.20	-0.23	
9	87.80	87.00	0.80	0.91	
10	87.80	89.00	-1.20	-1.37	
Promedio		88.20	-0.40	-0.46	

Tabla 46. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 40% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Largo (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	239.00	231.00	8.00	3.35	3.13
2	239.00	238.00	1.00	0.42	
3	239.00	235.00	4.00	1.67	
4	239.00	239.00	0.00	0.00	
5	239.00	235.00	4.00	1.67	
6	239.00	240.00	-1.00	-0.42	
7	239.00	242.00	-3.00	-1.26	
8	239.00	239.00	0.00	0.00	
9	239.00	239.00	0.00	0.00	
10	239.00	238.00	1.00	0.42	
Promedio		237.60	1.40	0.59	

Tabla 47. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 40% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Ancho (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	118.40	119.00	-0.60	-0.51	1.07
2	118.40	118.00	0.40	0.34	
3	118.40	121.00	-2.60	-2.20	
4	118.40	118.00	0.40	0.34	
5	118.40	119.00	-0.60	-0.51	
6	118.40	120.00	-1.60	-1.35	
7	118.40	119.00	-0.60	-0.51	
8	118.40	120.00	-1.60	-1.35	
9	118.40	121.00	-2.60	-2.20	
10	118.40	119.00	-0.60	-0.51	
Promedio		119.40	-1.00	-0.84	

Tabla 48. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 40% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Altura (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	87.80	87.00	0.80	0.91	1.58
2	87.80	88.00	-0.20	-0.23	
3	87.80	86.00	1.80	2.05	
4	87.80	89.00	-1.20	-1.37	
5	87.80	91.00	-3.20	-3.64	
6	87.80	90.00	-2.20	-2.51	
7	87.80	90.00	-2.20	-2.51	
8	87.80	88.00	-0.20	-0.23	
9	87.80	87.00	0.80	0.91	
10	87.80	89.00	-1.20	-1.37	
Promedio		88.50	-0.70	-0.80	



Tabla 49. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 60% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Largo (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	239.00	239.00	0.00	0.00	1.32
2	239.00	237.00	2.00	0.84	
3	239.00	241.00	-2.00	-0.84	
4	239.00	238.00	1.00	0.42	
5	239.00	238.00	1.00	0.42	
6	239.00	241.00	-2.00	-0.84	
7	239.00	239.00	0.00	0.00	
8	239.00	238.00	1.00	0.42	
9	239.00	238.00	1.00	0.42	
10	239.00	239.00	0.00	0.00	
Promedio		238.80	0.20	0.08	

Tabla 50. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 60% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Ancho (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	118.40	121.00	-2.60	-2.20	1.65
2	118.40	118.00	0.40	0.34	
3	118.40	116.00	2.40	2.03	
4	118.40	118.00	0.40	0.34	
5	118.40	117.00	1.40	1.18	
6	118.40	118.00	0.40	0.34	
7	118.40	119.00	-0.60	-0.51	
8	118.40	120.00	-1.60	-1.35	
9	118.40	121.00	-2.60	-2.20	
10	118.40	118.00	0.40	0.34	
Promedio		118.60	-0.20	-0.17	



Tabla 51. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 60% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Altura (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	87.80	87.00	0.80	0.91	1.43
2	87.80	91.00	-3.20	-3.64	
3	87.80	86.00	1.80	2.05	
4	87.80	89.00	-1.20	-1.37	
5	87.80	88.00	-0.20	-0.23	
6	87.80	88.00	-0.20	-0.23	
7	87.80	89.00	-1.20	-1.37	
8	87.80	89.00	-1.20	-1.37	
9	87.80	90.00	-2.20	-2.51	
10	87.80	88.00	-0.20	-0.23	
Promedio		88.50	-0.70	-0.80	

Tabla 52. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 80% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Largo (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	239.00	238.00	1.00	0.42	1.42
2	239.00	239.00	0.00	0.00	
3	239.00	237.00	2.00	0.84	
4	239.00	236.00	3.00	1.26	
5	239.00	241.00	-2.00	-0.84	
6	239.00	239.00	0.00	0.00	
7	239.00	240.00	-1.00	-0.42	
8	239.00	239.00	0.00	0.00	
9	239.00	239.00	0.00	0.00	
10	239.00	239.00	0.00	0.00	
Promedio		238.70	0.30	0.13	

Tabla 53. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 80% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Ancho (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	118.40	121.00	-2.60	-2.20	1.66
2	118.40	118.00	0.40	0.34	
3	118.40	119.00	-0.60	-0.51	
4	118.40	118.00	0.40	0.34	
5	118.40	116.00	2.40	2.03	
6	118.40	117.00	1.40	1.18	
7	118.40	121.00	-2.60	-2.20	
8	118.40	120.00	-1.60	-1.35	
9	118.40	120.00	-1.60	-1.35	
10	118.40	119.00	-0.60	-0.51	
Promedio		118.90	-0.50	-0.42	

Tabla 54. Resultados del ensayo de Variación Dimensional en los prototipos de ladrillo con 80% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Altura (mm)			% de Variación	Desviación Estándar
	Ladrillo Artesanal (Promedio)	Prototipo de Ladrillo	Variación		
1	87.80	87.00	0.80	0.91	1.32
2	87.80	89.00	-1.20	-1.37	
3	87.80	86.00	1.80	2.05	
4	87.80	88.00	-0.20	-0.23	
5	87.80	89.00	-1.20	-1.37	
6	87.80	87.00	0.80	0.91	
7	87.80	90.00	-2.20	-2.51	
8	87.80	88.00	-0.20	-0.23	
9	87.80	88.00	-0.20	-0.23	
10	87.80	90.00	-2.20	-2.51	
Promedio		88.20	-0.40	-0.46	

- **Análisis de Resultados**

Tabla 55. Variación Dimensional promedio en mm.

Variación dimensional promedio (mm)			
Dosificación	Largo	Ancho	Altura
% PET 20%	0.50	0.00	-0.40
% PET 40%	1.40	-1.00	-0.70
% PET 60%	0.20	-0.20	-0.70
% PET 80%	0.30	-0.50	-0.40

Tabla 56. Variación Dimensional promedio en porcentaje.

Variación dimensional promedio (%)			
Dosificación	Largo	Ancho	Altura
% PET 20%	0.21	0.00	-0.46
% PET 40%	0.59	-0.84	-0.80
% PET 60%	0.08	-0.17	-0.80
% PET 80%	0.13	-0.42	-0.46

Se puede apreciar que los prototipos de ladrillo macizo de cemento tienen diferentes tipos de variación dimensional dependiendo de la dosificación de PET, todos los prototipos de ladrillos que cumplen con la máxima variación en porcentaje según la Norma Técnica E 070 que cumplen con la variación de largo (± 2), ancho (± 4) y altura (± 3).

3.6.2 Alabeo de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales

Se obtuvo el alabeo de los prototipos de ladrillo de cemento para todas las dosificaciones y los ladrillos artesanales, con la siguiente fórmula con los datos presentados en los formatos de recolección de datos:

$$\text{Alabeo (mm)} = \text{Promedio} \left[\sum \left(\frac{\text{Dia1r} + \text{Dia2r}}{2} \right) + \sum \left(\frac{\text{Dia1t} + \text{Dia2t}}{2} \right) \right]$$

Donde:

- Dia1r: Diagonal 1 de la cara superior del ladrillo
- Dia2r: Diagonal 2 de la cara superior del ladrillo
- Dia1t: Diagonal 1 de la cara inferior del ladrillo
- Dia2t: Diagonal 2 de la cara inferior del ladrillo

Tabla 57. Resultados de los Valores de alabeo para los prototipos de ladrillo con 20% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Cara Superior		Cara Inferior		Promedio	Desviación Estándar
	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)		
1	1.45	0.00	0.00	2.06	1.76	0.58
2	2.45	0.00	0.00	2.15	2.30	
3	1.52	0.00	0.00	3.57	2.55	
4	2.51	0.00	0.00	4.12	3.32	
5	1.23	0.00	0.00	1.87	1.55	
6	1.35	0.00	0.00	2.00	1.68	
7	2.10	0.00	0.00	2.40	2.25	
8	1.10	0.00	0.00	1.60	1.35	
9	1.40	0.00	0.00	2.59	2.00	
10	2.30	0.00	0.00	2.69	2.50	

Tabla 58. Resultados de los Valores de alabeo para los prototipos de ladrillo con 40% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Cara Superior		Cara Inferior		Promedio	Desviación Estándar
	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)		
1	2.56	0.00	0.00	3.51	3.04	0.82
2	2.74	0.00	0.00	4.15	3.45	
3	1.96	0.00	0.00	3.95	2.96	
4	2.84	0.00	0.00	4.05	3.45	
5	1.63	0.00	0.00	1.63	1.63	
6	2.20	0.00	0.00	1.95	2.08	
7	1.60	0.00	0.00	1.78	1.69	
8	2.10	0.00	0.00	2.40	2.25	
9	1.89	0.00	0.00	1.42	1.66	
10	1.44	0.00	0.00	1.02	1.23	

Tabla 59. Resultados de los Valores de alabeo para los prototipos de ladrillo con 60% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Cara Superior		Cara Inferior		Promedio	Desviación Estándar
	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)		
1	2.84	0.00	0.00	2.68	2.76	0.78
2	3.26	0.00	0.00	3.25	3.26	
3	1.52	0.00	0.00	3.26	2.39	
4	2.45	0.00	0.00	5.12	3.79	
5	2.35	0.00	0.00	2.98	2.67	
6	2.20	0.00	0.00	1.50	1.85	
7	1.60	0.00	0.00	1.64	1.62	
8	1.94	0.00	0.00	1.82	1.88	
9	1.00	0.00	0.00	1.94	1.47	
10	1.26	0.00	0.00	2.03	1.65	

Tabla 60. Resultados de los Valores de alabeo para los prototipos de ladrillo con 80% de PET.

Prototipo de Ladrillo	Cara Superior		Cara Inferior		Promedio	Desviación Estándar
	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)		
1	2.58	0.00	0.00	2.65	2.62	0.67
2	2.89	0.00	0.00	3.35	3.12	
3	2.74	0.00	0.00	3.29	3.02	
4	2.61	0.00	0.00	3.47	3.04	
5	2.15	0.00	0.00	2.89	2.52	
6	1.06	0.00	0.00	2.05	1.56	
7	2.14	0.00	0.00	1.94	2.04	
8	1.52	0.00	0.00	1.65	1.59	
9	1.63	0.00	0.00	1.14	1.39	
10	1.98	0.00	0.00	1.78	1.88	

Tabla 61. Resultados de los Valores de alabeo para los ladrillos artesanales.

Ladrillo Artesanal	Cara Superior		Cara Inferior		Promedio (mm)	Desviación Estándar
	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)	Concavidad (mm)	Convexidad (mm)		
1	1.45	0.00	0.00	2.54	2.00	0.39
2	1.89	0.00	0.00	3.54	2.72	
3	2.65	0.00	0.00	1.56	2.11	
4	2.14	0.00	0.00	2.15	2.15	
5	1.62	0.00	0.00	1.65	1.64	

- **Análisis de Resultados**

Tabla 62. Resultados de Alabeo promedio.

Dosificación	Alabeo Promedio (mm)
PET: 20% Agregado Fino: 20%	2.12
PET: 40% Agregado Fino: 60%	2.34
PET: 60% Agregado Fino: 40%	2.33
PET: 80% Agregado Fino: 20%	2.28
Ladrillo Artesanal	2.12

Se puede observar que el alabeo se reduce a medida que se incrementa la cantidad de PET, siendo el alabeo mayor cuando el PET es 40 % de la dosificación y el menor alabeo cuando el PET es 20% de la dosificación.

Respecto al ladrillo artesanal se observa que tiene un alabeo promedio de 2.12 mm. En todas las dosificaciones se obtuvo un alabeo aceptable que cumple con la Norma Técnica E 070 para un ladrillo IV no mayor a 4mm

3.6.3 Absorción de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales

Se obtuvo la absorción de los prototipos de ladrillos y los ladrillos artesanales con la siguiente fórmula, con los datos que se presentan en las tablas de recolección de datos:

$$\text{Absorción} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

Donde:

- **Peso Saturado:** Peso del ladrillo sumergido por 24 horas y secado superficialmente.

- **Peso Seco:** Peso del ladrillo recién salido del centro de fabricación.

Tabla 63. Resultados de absorción para los prototipos de ladrillo con 20% de PET.

Ladrillo	Peso Saturado (gr)	Peso Seco (gr)	Absorción %	Desviación Estándar
1	3400.00	3302.00	2.97	0.85
2	3415.36	3315.26	3.02	
3	3456.23	3352.00	3.11	
4	3415.26	3251.00	5.05	
5	3356.26	3189.26	5.24	
6	3383.21	3278.30	3.20	
7	3455.95	3340.70	3.45	
8	3438.98	3289.00	4.56	
9	3224.94	3100.90	4.00	
10	3385.29	3250.40	4.15	

Tabla 64. Resultados de absorción para los prototipos de ladrillo con 40% de PET.

Ladrillo	Peso Saturado (gr)	Peso Seco (gr)	Absorción %	Desviación Estándar
1	3165.00	3056.08	3.56	0.64
2	3251.25	3152.36	3.14	
3	3389.74	3251.34	4.26	
4	3178.23	3085.74	3.00	
5	3287.56	3152.34	4.29	
6	3130.69	3004.50	4.20	
7	3227.87	3109.10	3.82	
8	3195.03	3042.60	5.01	
9	3224.19	3082.40	4.60	
10	3206.01	3094.60	3.60	

Tabla 65. Resultados de absorción para los prototipos de ladrillo con 60% de PET.

Ladrillo	Peso Saturado (gr)	Peso Seco (gr)	Absorción %	Desviación Estándar
1	3077.00	3001.34	2.52	0.41
2	3154.26	3052.31	3.34	
3	3256.51	3152.37	3.30	
4	3152.36	3059.67	3.03	
5	3170.89	3078.31	3.01	
6	3099.00	3000.00	3.30	
7	3108.39	3025.20	2.75	
8	3224.58	3100.56	4.00	
9	3225.21	3125.20	3.20	
10	3121.43	3015.00	3.53	

Tabla 66. Resultados de absorción para los prototipos de ladrillo con 80% de PET.

Ladrillo	Peso Saturado (gr)	Peso Seco (gr)	Absorción %	Desviación Estándar
1	2931.55	2840.56	3.20	0.26
2	3042.61	2956.23	2.92	
3	3150.26	3058.32	3.01	
4	3075.14	2989.75	2.86	
5	2950.74	2884.25	2.31	
6	2914.15	2826.25	3.11	
7	3105.00	3010.53	3.14	
8	3117.82	3025.54	3.05	
9	3041.58	2953.56	2.98	
10	2932.31	2853.00	2.78	

Tabla 67. Resultados de absorción para los ladrillos artesanales.

Ladrillo	Peso Saturado (gr)	Peso Seco (gr)	Absorción %	Desviación Estándar
1	3615.20	3199.58	12.99	1.12
2	3587.26	3254.26	10.23	
3	3415.26	3078.26	10.95	
4	3542.61	3152.64	12.37	
5	3465.23	3089.26	12.17	

- **Análisis de resultados**

Tabla 68. Resultados de absorción promedio.

Dosificación	Absorción Promedio %
PET: 20% Agregado Fino: 80%	3.87
PET: 40% Agregado Fino: 60%	3.95
PET: 60% Agregado Fino: 20%	3.20
PET: 80% Agregado Fino: 20%	2.94
Ladrillo Artesanal	11.74

La absorción de los prototipos de ladrillo es relativamente mínima ya que contiene PET, en el prototipo de ladrillo con dosificación de 20% de PET se puede observar que tiene mayor absorción de humedad que las otras dosificaciones, pero es considerada aceptable por la Norma Técnica E070, que indica que para ladrillos de arcilla o sílice es aceptable se es aceptable una absorción menor a 22%, y para bloques de concreto entre 12% y 15%.

3.6.4 Resistencia a la compresión de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales

Se obtuvo la resistencia a la compresión de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales con la siguiente fórmula, con los datos que se presentan en las tablas de recolección de datos:

$$\text{Resistencia a la compresión} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{\text{Carga (kgf)}}{L \times A}$$

Donde:

- L: Largo de los ladrillos (cm²)
- A: Ancho de los ladrillos (cm²)

La Norma Técnica Peruana indica que la resistencia característica a la compresión axial de la unidad de albañilería ($f'b$) se obtendrá restando una desviación estándar al valor medio de la muestra.

Restarle una desviación estándar al valor promedio significa que por lo menos el 84% de las unidades ensayadas tendrá una resistencia mayor al valor característico ($f'b$), o que es aceptable tener hasta un 16% de unidades defectuosas.

$$f'b = fb \text{ prom} - \sigma$$

Donde:



- $f'b$ = Resistencia característica a la compresión axial en kg/cm²
- fb prom = Resistencia unitaria promedio a compresión en kg/cm²
- σ = desviación estándar

Tabla 69. Resultados de compresión para los prototipos de ladrillo con 20% de PET.

Ladrillo	Carga (kg-f)	Area (cm ²)	Esfuerzo (kg cm ²)	Desviación Estándar
1	40288.64	273.70	147.20	4.36
2	39154.76	277.30	141.20	
3	42465.16	279.56	151.90	
4	40073.85	279.65	143.30	
5	38121.17	278.46	136.90	
6	41328.00	288.00	143.50	
7	41613.11	287.98	144.50	
8	40008.60	286.80	139.50	
9	42857.96	289.19	148.20	
10	40472.14	283.22	142.90	
		fb promedio	143.91	
		f'b	139.05	

Tabla 70. Resultados de compresión para los prototipos de ladrillo con 40% de PET.

Ladrillo	Carga (kg-f)	Area (cm ²)	Esfuerzo (kg cm ²)	Desviación Estándar
1	29028.38	274.89	105.60	4.84
2	32100.01	280.84	114.30	
3	27951.61	284.35	98.30	
4	31276.02	282.02	110.90	
5	28664.13	279.65	102.50	
6	30024.00	288.00	104.25	
7	31850.59	287.98	110.60	
8	31146.48	286.80	108.60	
9	32331.44	289.19	111.80	
10	30463.14	283.22	107.56	
		fb promedio	107.44	
		f'b	102.10	



Tabla 71. Resultados de compresión para los prototipos de ladrillo con 60% de PET.

Ladrillo	Carga (kg-f)	Area (cm2)	Esfuerzo (kg cm2)	Desviación Estándar
1	26981.43	289.19	93.30	3.88
2	24973.64	279.66	89.30	
3	26334.55	279.56	94.20	
4	27550.40	280.84	98.10	
5	27651.08	278.46	99.30	
6	25707.95	284.38	90.40	
7	27189.60	284.41	95.60	
8	28103.04	285.60	98.40	
9	26321.37	287.98	91.40	
10	25065.94	282.02	88.88	
	fb promedio		93.89	
	f'b		89.51	

Tabla 72. Resultados de compresión para los prototipos de ladrillo con 80% de PET.

Ladrillo	Carga (kg-f)	Area (cm2)	Esfuerzo (kg cm2)	Desviación Estándar
1	20993.74	287.98	72.90	4.51
2	22476.99	282.02	79.70	
3	21152.25	282.03	75.00	
4	21777.14	278.48	78.20	
5	18646.65	279.56	66.70	
6	20860.40	279.63	74.60	
7	20182.80	290.40	69.50	
8	20560.69	286.80	71.69	
9	22513.80	286.80	78.50	
10	19396.76	284.41	68.20	
	fb promedio		73.50	
	f'b		68.49	

Tabla 73. Resultados de compresión para los ladrillos artesanales.

Ladrillo	Carga (kg-f)	Area (cm ²)	Esfuerzo (kg cm ²)	Desviación Estándar
1	45116.17	282.86	159.50	11.38
2	43525.94	287.87	151.20	
3	39291.98	282.27	139.20	
4	42278.11	285.47	148.10	
5	47119.72	278.65	169.10	
	fb promedio		153.42	
	f'b		142.04	

- **Análisis de Resultados**

Tabla 74. Resultados de Resistencia a Compresión Promedio.

Dosificación	Resistencia f'b
PET 20% - Agregado Fino 80%	139.05
PET 40% - Agregado Fino 60%	102.10
PET 60% - Agregado Fino 40%	89.51
PET 80% - Agregado Fino 20%	68.49
Ladrillo Artesanal	142.04

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión nos muestran que los ladrillos con dosificación de PET 80% y agregado fino al 20% son de menor resistencia a la compresión y los ladrillos con una dosificación de PET 20% y agregado fino 20% son los de mayor resistencia a la compresión teniendo un promedio de 143.91 según la Norma Técnica E070 clasifica como un ladrillo tipo IV. El ladrillo artesanal tiene una resistencia a la compresión con un promedio de 153.42 que según la Norma Técnica E070 clasifica como un ladrillo tipo IV.

3.6.5 Análisis de Confiabilidad

Para encontrar la confiabilidad de los resultados se utilizará el Alfa de Cronbach, mediante la varianza de los resultados hallados.

El Alfa de Cronbach permite cuantificar el nivel de confiabilidad de una escala de medida para la magnitud inobservable construida a partir de las variables observadas.

Se elaborará el análisis para la resistencia a la compresión de los prototipos de ladrillo, teniendo en cuenta que los resultados hallados generaron una dispersión amplia, y se calculará el Alfa de Cronbach a partir de la siguiente formula:

$$\alpha = \left[\frac{k}{k-1} \right] \times \left[1 - \frac{\sum_i V_i}{V_t} \right]$$

Contando que como criterio general se sugiere que para evaluar los coeficientes de Alfa de Cronbach se tome en cuenta:

- Coeficiente alfa >.9 es excelente
- Coeficiente alfa >.8 es bueno
- Coeficiente alfa >.7 es aceptable
- Coeficiente alfa >.6 es cuestionable
- Coeficiente alfa >.5 es pobre
- Coeficiente alfa <.5 es inaceptable

Figura 58. Criterio de Alfa de Cronbach para ver fiabilidad de datos.

Tabla 75. Cálculo de alfa de Cronbach para el ensayo de resistencia a la compresión.

Ladrillos	PET 20% Agregado Fino 80%	PET 40% Agregado Fino 60%	PET 60% Agregado Fino 40%	PET 80% Agregado Fino 20%	Varianza (Vi)
1	147.20	105.60	93.30	72.90	737.06
2	141.20	114.30	89.30	79.70	569.61
3	151.90	98.30	94.20	75.00	815.26
4	143.30	110.90	98.10	78.20	560.00
5	136.90	102.60	99.30	66.70	617.55
6	143.50	104.25	90.40	74.60	651.75
7	144.50	110.60	95.60	69.50	735.05
8	139.50	108.60	98.40	71.69	588.88
9	148.20	111.80	91.40	78.50	693.80
10	142.90	107.56	88.88	68.20	754.56
Σ	1439.10	1074.51	938.88	734.99	



k	10.00
$\sum V_i$	6723.52
Vt	65884.83
α	0.997722742

Al obtener el Alfa de Cronbach se puede inferir que el Alfa es “>0.9”, y nos indica que la confiabilidad de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de los prototipos de ladrillo de cemento es excelente, haciendo que no sea necesario analizar la confiabilidad de los demás resultados calculados en los ensayos de variación dimensional, alabeo y absorción.

4 Capítulo IV: Resultados

4.1 Resultados de la Resistencia a la Compresión de los prototipos de ladrillo con respecto a los ladrillos artesanales

Tabla 76. Resultados de resistencia a compresión en kg/cm².

Dosificación	Resistencia f ['] b
PET 20% - Agregado Fino 80%	139.05
PET 40% - Agregado Fino 60%	102.10
PET 60% - Agregado Fino 40%	89.51
PET 80% - Agregado Fino 20%	68.49
Ladrillo Artesanal	142.04

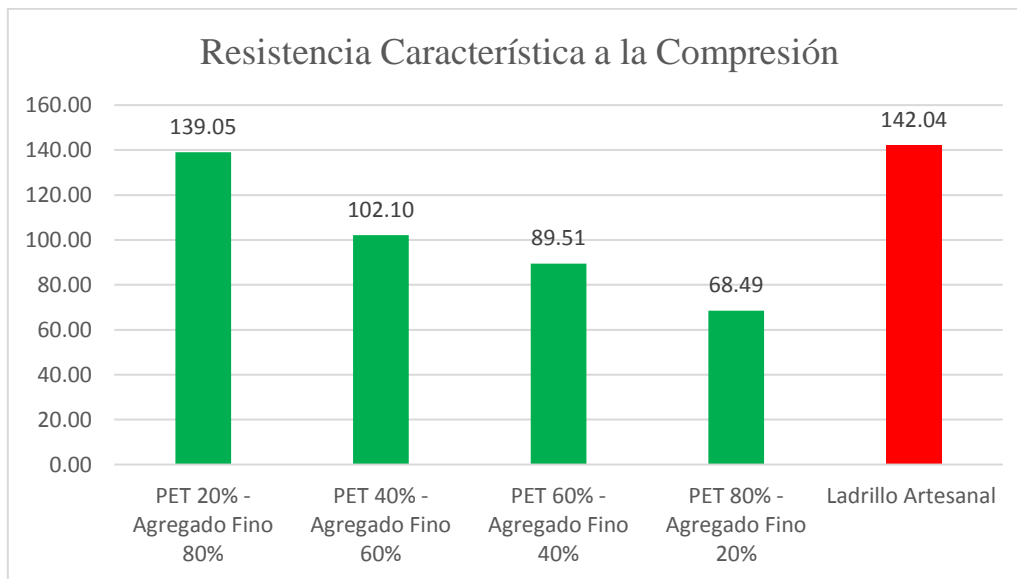


Figura 59. Variación de resistencia a compresión en kg/cm².

En cuanto a la resistencia a la compresión f[']b de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales se puede observar que:

El prototipo de ladrillo con 20% de PET es el más resistente clasificando por RESISTENCIA A LA COMPRESION como un ladrillo TIPO IV.

El prototipo de ladrillo con 80% de PET es el menos resistente clasificando por RESISTENCIA A LA COMPRESION como un ladrillo TIPO II.

El prototipo de ladrillo con 40% de PET por su resistencia promedio clasificando por RESISTENCIA A LA COMPRESION como un ladrillo TIPO III.

El prototipo de ladrillo con 60% de PET por su resistencia promedio clasificando por RESISTENCIA A LA COMPRESION como un ladrillo TIPO II.

El ladrillo artesanal clasificando por RESISTENCIA A LA COMPRESION como un ladrillo TIPO IV.

4.2 Resultados de absorción de los prototipos de ladrillo con respecto a los ladrillos artesanales

Tabla 77. Resultados de absorción promedio en porcentaje

Dosificación	Absorción Promedio %
PET: 20% Agregado Fino: 80%	3.87
PET: 40% Agregado Fino: 60%	3.95
PET: 60% Agregado Fino: 20%	3.20
PET: 80% Agregado Fino: 20%	2.94
Ladrillo Artesanal	11.74

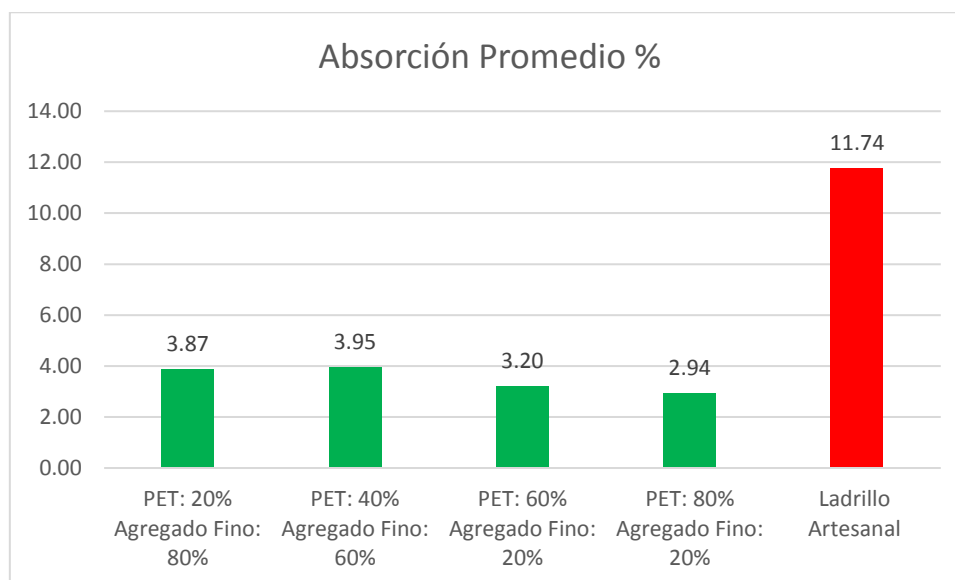


Figura 60. Variación de porcentaje de absorción.

Fuente: Propia.

Para la absorción se observa que el ladrillo artesanal presenta mayor absorción respecto a los prototipos de ladrillo con distintas dosificaciones de PET, pero la absorción no puede ser

comparada ya que en la Norma Técnica E 070 estos rangos son para unidades son para unidades de arcilla y unidades sillico calcáreas o bloques de concreto.

4.3 Resultados de variación dimensional de los prototipos de ladrillo con respecto a los ladrillos artesanales

Tabla 78. Resultados de Variación Dimensional Promedio en milímetros.

Variación dimensional promedio (mm)			
Dosificación	Largo	Ancho	Altura
% PET 20%	0.50	0.00	0.40
% PET 40%	1.40	1.00	0.70
% PET 60%	0.20	0.20	0.70
% PET 80%	0.30	0.50	0.40
Ladrillo Artesanal	1.00	1.60	2.20

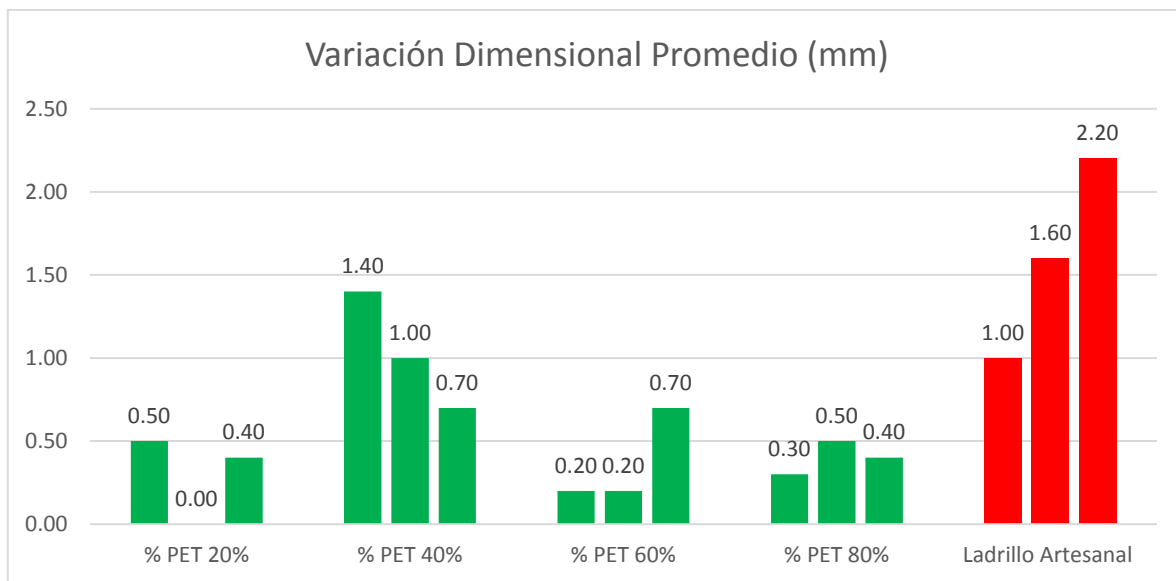


Figura 61. Variación dimensional en milímetros.
Fuente: Propia.

Figura 62. Resultados de Variación Dimensional Promedio en porcentaje.

Variación dimensional promedio (%)			
Dosificación	Largo	Ancho	Altura
% PET 20%	0.21	0.00	0.46
% PET 40%	0.59	0.84	0.80
% PET 60%	0.08	0.17	0.80
% PET 80%	0.13	0.42	0.46
Ladrillo Artesanal	0.42	1.33	2.44

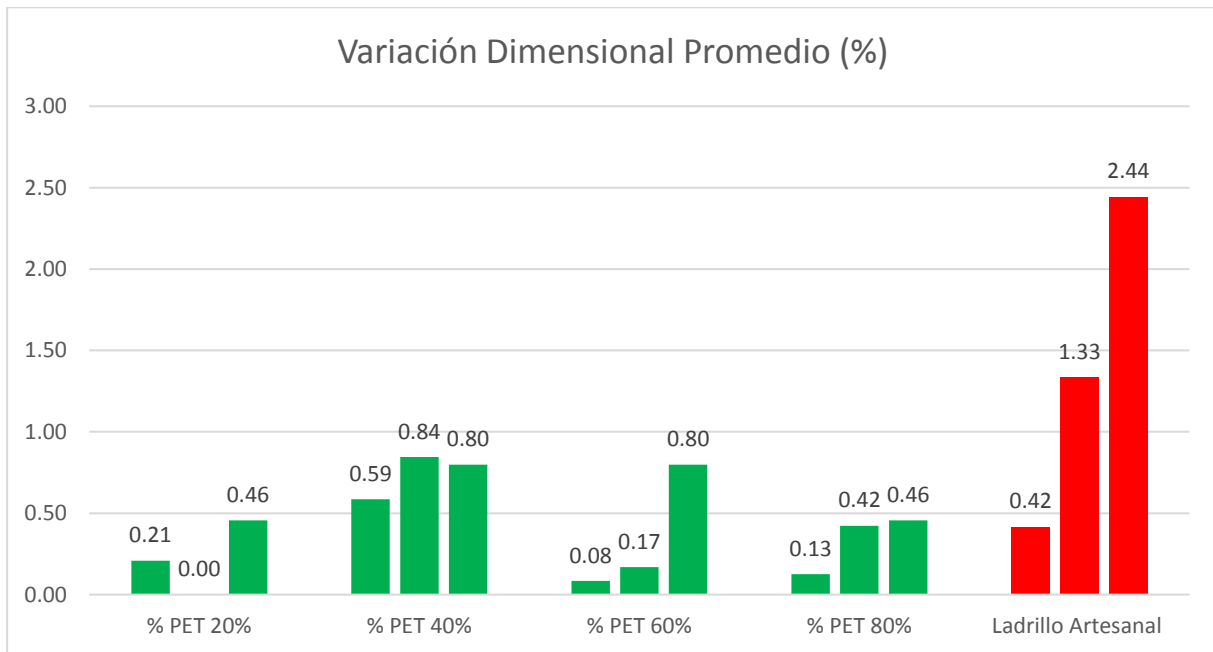


Figura 63. Variación dimensional promedio en porcentaje.

El Prototipo de ladrillo con una dosificación del 20%, 40%, 60% y 80% de PET, muestra una variación dimensional a lo LARGO ± 4 , en el ANCHO cumple con una variación menor de ± 3 y en el ALTO cumple con una variación menor de ± 2 , clasificando por VARIACIÓN DE DIMENSIÓN como un ladrillo TIPO IV.

Respecto a el ladrillo artesanal, muestra una variación dimensional a lo LARGO ± 4 , en el ANCHO cumple con una variación menor de ± 3 y en el ALTO cumple con una variación menor de ± 2 , clasificando por VARIACIÓN DE DIMENSIÓN como un ladrillo TIPO IV.

4.4 Resultados de Alabeo los prototipos de ladrillo respecto a los ladrillos artesanales

Tabla 79. Resultados de alabeo en milímetros.

Dosificación	Alabeo Promedio (mm)
PET: 20% Agregado Fino: 20%	2.12
PET: 40% Agregado Fino: 60%	2.34
PET: 60% Agregado Fino: 40%	2.33
PET: 80% Agregado Fino: 20%	2.28
Ladrillo Artesanal	2.12

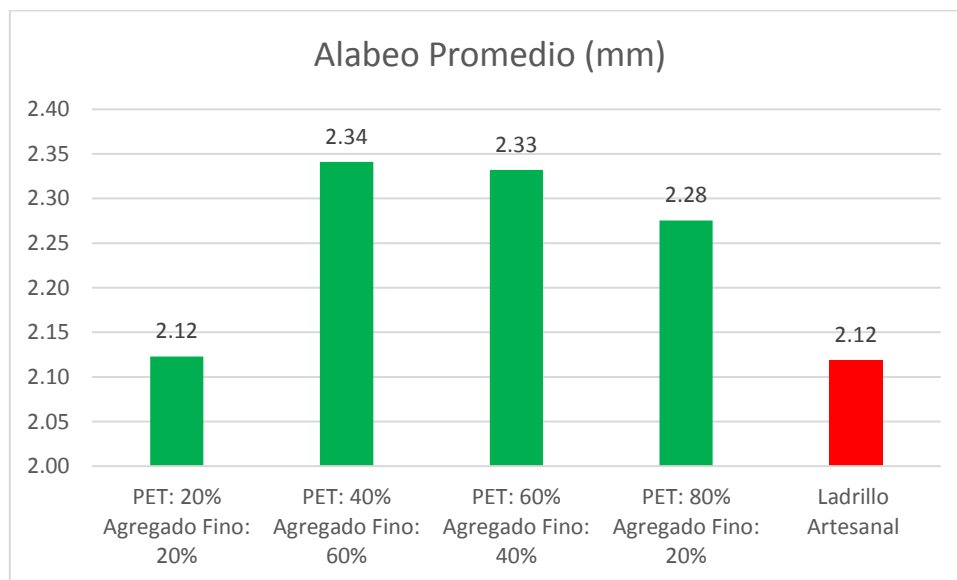


Figura 64. Valores de alabeo promedio en milímetros.

El alabeo en los prototipos de ladrillo con una dosificación de PET al 20%, 40%, 60% y 80% es menor al descrito en la Norma Técnica E 070 de 4 milímetros como máximo, y de esta forma clasificando a todos los prototipos de ladrillo por ALABEO como ladrillo TIPO IV.

El ladrillo artesanal presenta un alabeo menor a 4 mm y de esta forma clasificando por ALABEO como ladrillo TIPO IV.

4.5 Resultados del Peso de los prototipos de ladrillo y los ladrillos artesanales

Tabla 80. Resultados de peso promedio en gramos.

Dosificación	Peso Promedio (gr)
PET 20%	3266.88
PET 40%	3115.31
PET 60%	3061.00
PET 80%	2939.80
Ladrillo Artesanal	3154.80

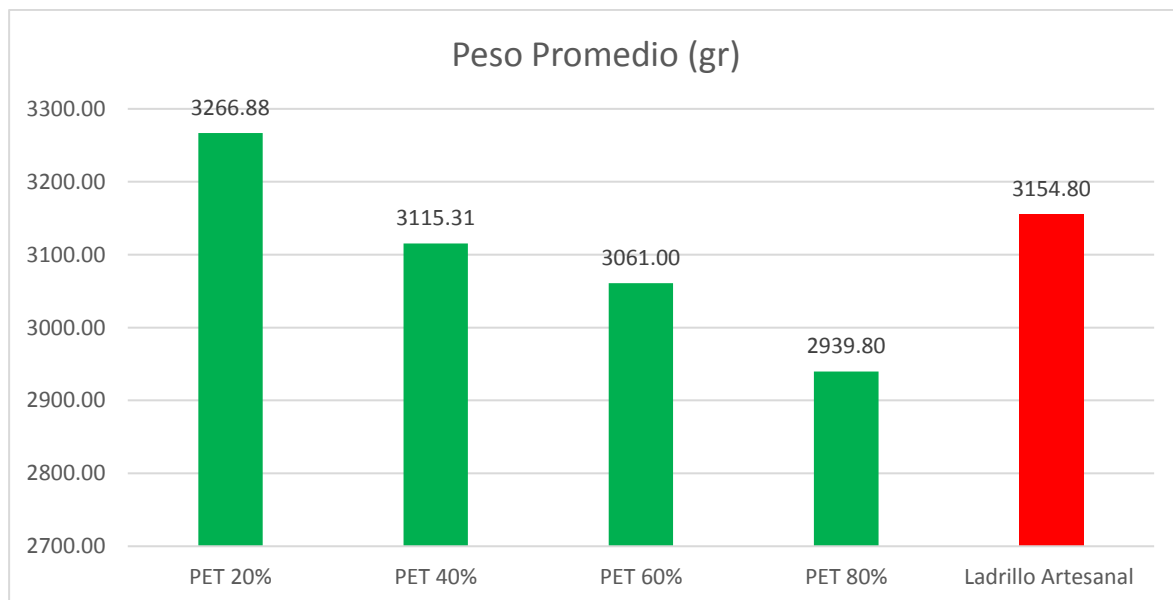


Figura 65. Valores de peso promedio en gramos.

El peso de los prototipos de ladrillo con una dosificación del 20% es el más pesado.

El peso de los prototipos de ladrillo con una dosificación del 80% es el más ligero.

Mientras que el peso de los prototipos de ladrillo con una dosificación del 40%, 60% tienen valores por debajo del peso del ladrillo artesanal por lo que se permanece dentro de los parámetros de la Norma Técnica E 070.

4.6 Resultados de Granulometría del agregado fino y del PET

Tabla 81. Resultados de Agregado Fino

Tamiz	Lim. Inferior	Agr. Fino	Lim. Superior	% retenido acumulado
N°4	100%	100%	100%	0%
N°8	95%	99%	100%	1%
N°16	70%	99%	100%	1%
N°30	40%	63%	75%	37%
N°50	10%	24%	35%	76%
N°100	2%	6%	15%	94%
N°200	0%	1%	2%	99%

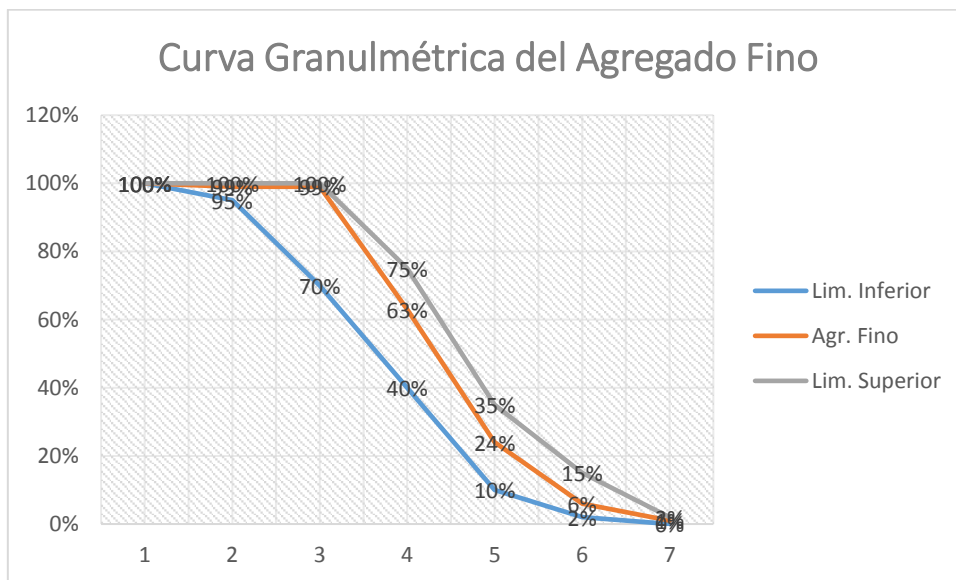


Figura 66. Curva Granulométrica del Agregado Fino

El agregado empleado proveniente de la cantera de Cunyac se encuentra dentro de los parámetros de la NTP 400.12, se calculó el Módulo de Fineza establecido por la expresión.

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado desde el tamiz N° 4 al tamiz N° 100}}{100}$$

Tabla 82. Parámetros del Módulo Finura Permisibles

Módulo de Finura	
Ideal	2.8 - 3.4
Tolerable	2,7 - 3,5

El agregado fino por el módulo de finura tiene un valor de:

Tabla 83. Resultados del Módulo de Finura para el Agregado Fino

Módulo de Finura	2.8
------------------	-----

El valor obtenido para el módulo de finura del agregado fino es ideal por lo cual se puede emplear el agregado fino adquirido proveniente de la cantera de Cunyac.

Tabla 84. Resultados de la granulometría del PET

Tamiz	Lim. Inferior	PET % que pasa	Lim. Superior	% retenido acumulado
N°4	100%	100%	100%	0%
N°8	95%	96%	100%	4%
N°16	70%	73%	100%	27%
N°30	40%	43%	75%	57%
N°50	10%	10%	35%	90%
N°100	2%	7%	15%	93%
N°200	0%	0%	2%	100%

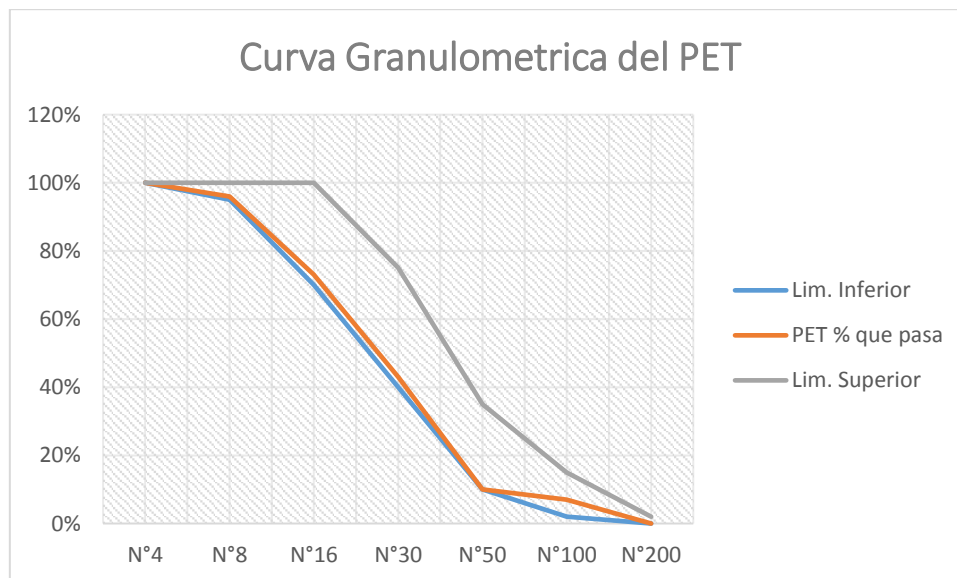


Figura 67. Curva Granulométrica del PET

El PET triturado empleado adquirido en la ciudad de Cusco, se encuentra dentro de los parámetros de la NTP 400.12, se calculó el Módulo de Fineza establecido por la expresión.

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado desde el tamiz N}^\circ 4 \text{ al tamiz N}^\circ 100}{100}$$

Tabla 85. Resultados del Módulo de Fineza para el PET

Módulo de Finura	2.7
------------------	-----

El valor obtenido para el módulo de finura del PET es tolerable por lo cual se puede emplear el PET como material para la elaboración de los prototipos de ladrillo.

5 Capítulo V: Discusión

1. ¿Por qué se empleó las dosificaciones en porcentajes de 20%,40%,60%,80%, medidos en función del volumen del agregado fino?

Se utilizó los porcentajes de 20%,40%,60%,80%, debido a que en los antecedentes estudiados (CEVE-Centro Experimental de Vivienda Económica Pag.10) utilizaron las proporciones en función del volumen (objeto medible), en este centro se utilizó hasta el 50% de PET para la fabricación de cada una de los prototipos de ladrillo. Para nuestro proyecto de investigación se utilizó como objeto medible una jarra plástica, para lo cual se fijó como dosificación 1500 cm³ y a partir del dosificador se hicieron las dosificaciones volumétricas.

2. ¿Existen proveedores de PET triturado en la ciudad de Cusco, mientras se realizó la investigación?

No existen muchos proveedores, en la ciudad de Cusco de PET triturado, buscando proveedores se encontraron algunos en el distrito de San Sebastián, pero ellos indicaron que no era muy comercial la venta de PET triturado, debido a la baja demanda y el proceso que requiere para su venta final, optaron por dedicarse a otros trabajos, al reciclar las botellas de plástico se reduce la contaminación del medio ambiente y se da un valor agregado al reutilizar este residuo sólido, de esta manera el PET se vuelve materia prima para la fabricación de los prototipos de ladrillo. (Pág. 1, 5)

3. ¿Por qué se empleó el PET como sustituto del agregado fino y no como adición al concreto?

Se utilizó como sustituto ya que el peso del PET es menor al del agregado fino y de esta forma se estaría aligerando el peso final del prototipo de ladrillo elaborado. (Pág. 9)



4. ¿El polímero PET pudo interactuar de manera óptima con el concreto?

Si, porque se obtuvo valores que cumplen con lo planteado según la norma E.070 para el ensayo de pilas y otros (compresión, succión, alabeo, variación dimensional).

5. ¿La utilización del PET reduce la contaminación causada por el mismo en la ciudad de Cusco?

Si, ya que optimiza la reutilización de botellas de plástico, los cuáles mediante un proceso mecánico obtendríamos el PET triturado, que se utilizaría en la elaboración de los prototipos de ladrillo los mismos que serían empleados para la construcción. (pág. 12)

6. ¿Cuál es el porcentaje PET que obtuvo mejores resultados a compresión?

El PET al 20%, a menor cantidad de PET mayor resistencia a la compresión. (pág. 77, 78)

7. ¿Con que porcentaje de PET se obtuvo mejores resultados para muros no portantes según la norma E.070?

El PET al 80% ya que se disminuye el peso de la unidad y cumple con las normas E.070.

Glosario

Absorción

Es el incremento de la masa debido al agua que se introduce en los poros del material, sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca

Agregado

Material granular de composición mineralógica como arena, grava y otros usado para ser mezclado en diferentes tamaños

Agregado fino

Es aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de rocas que pasa el tamiz N°4 y retenido en la #200

Albañilería

es un material estructural compuesto por unidades de albañilería asentada con mortero o por unidades de albañilería apiladas

Cantera

Deposito natural de material

Cemento



El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinada y posteriormente molida

Cemento Portland

Producto elaborado a partir de Clinker con adición eventual de yeso natural

Clinker

El Clinker se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura de 1350 y 1450°C

Compresión

Es el esfuerzo de compresión resultante de las tensiones o presiones dentro de un sólido

Granulometría

Es la medida y gradación que se lleva a cabo de un material sedimentario, así como de suelos u otros materiales, para fines de análisis como de sus propiedades mecánicas, así como para la verificación de la clasificación según la granulometría

Material

Se denomina material a un elemento que puede transformarse, agruparse en un conjunto.

Mezcla

Una mezcla viene a ser una combinación física de uno o más materiales.

Mortero

Es una mezcla de uno o más conglomerantes inorgánicos(cemento/cal), arena, agua, y a veces aditivo, usado para adherir unidades de albañilería

Muestra

Es una parte representativa de un todo

Polietileno

Es una capa delgada de un plástico común, sella los líquidos y protege el contenido de la humedad

Polímero PET

Es un polímero termoplástico fabricado a partir con derivados del petróleo, gas y aire. El Polietileno Tereftalato es un material fuerte de peso ligero usado comúnmente para la fabricación de envases

Resistencia

Es la cualidad que permite aplazar o soportar la fatiga, permitiendo prolongar un trabajo

Es la capacidad de realizar esfuerzo de muy larga duración.

Tamiz

Aparato utilizado para separar tamaños de material.



Trabajabilidad

Es la facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco.

Conclusiones

Primera conclusión (General)

Se demostró que se cumple con la Hipótesis general que indica: **“Las características físico mecánicas mejoran en los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070 para albañilería no portante.”**, de acuerdo al capítulo IV Resultados se demuestra parcialmente la Hipótesis general ya que en Resistencia a la Compresión se pudo observar que los prototipos de ladrillo están dentro de los estándares para la Norma Técnica E 070 para albañilería No Portante pero los valores obtenidos son inferiores a los ladrillos artesanales.

En cuanto al Peso Específico se observó que mejora disminuyendo el peso de los prototipos de ladrillo, con respecto al ladrillo artesanal.

Para los resultados de alabeo se mantuvieron los efectos de la variación volumétrica haciendo que el prototipo de ladrillo con una dosificación de 40% de PET sea el de mayor alabeo que los otros prototipos, la influencia de variación volumétrica no afecta de manera significativa y no afecta de manera significativa y mantiene en un estándar al ladrillo artesanal y a los prototipos de ladrillo de ladrillo tipo IV.

En variación dimensional los prototipos de ladrillo cumplen con los rangos de aceptación, siendo los valores mínimos respecto al ladrillo artesanal que sí tiene una diferencia representativa, pero se encuentra dentro de los parámetros de la Norma Técnica E 070.

En cuanto a la absorción los prototipos de ladrillo por no ser un elemento con materias primas especificadas en la Norma Técnica E 070, no se aplican los límites de absorción máximos, el prototipo de ladrillo que presento mayor absorción fue el que tiene una dosificación de PET del 20%, pero respecto al ladrillo artesanal se pudo observar que mostró valores dentro de los límites permisibles en la Norma Técnica E 070 pero que fueron muy superiores respecto a los prototipos de ladrillo.

Segunda conclusión (Específica)

Sub hipótesis 1: Se demostró parcialmente la Sub hipótesis 1: **“La resistencia a la compresión f'_b a la que llegarán los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en**



porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal cumplirá de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070 para albañilería no portante.”, el ladrillo con mayor resistencia a la compresión (f'_{b}) es el prototipo de ladrillo con 20% de PET que según los rangos de la Norma Técnica E 070 el prototipo de ladrillo cumple con un ladrillo tipo IV, además el ladrillo con 80% de PET fue un ladrillo tipo II lo cuál no fue lo esperado, pero que se encuentra del rango de parámetros permisibles para albañilería no Portante según la Norma Técnica E 070.

Tercera conclusión (Específica)

Sub hipótesis 2: Se demostró parcialmente la Sub hipótesis 2: “El peso específico obtenido de los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80% será más liviano con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070 para albañilería no portante.”, el peso específico de los prototipos de ladrillo con una dosificación de 80% de PET, es más liviano que un ladrillo artesanal, pero el prototipo de ladrillo con una dosificación de 20% de PET resultó más pesado que un ladrillo artesanal lo cual no fue esperado pero que estos parámetros no descartan su empleo para albañilería no portante.

Cuarta conclusión (Específica)

Sub Hipótesis 3: Se demostró que se cumple con la Sub Hipótesis 3: “La variación del alabeo de los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070 para un ladrillo tipo IV.”, tanto para los prototipos de ladrillo y para el ladrillo artesanal el alabeo es admisible según los rangos de la Norma Técnica Peruana E 070 que clasifican a todos como ladrillo tipo IV.

Quinta conclusión (Específica)

Sub Hipótesis 4: Se demostró que se cumple con la Sub Hipótesis 4: “El porcentaje de variación dimensional de los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070 para un ladrillo tipo IV”, el ladrillo artesanal fue el que presento mayor variación dimensional, en cuanto a los prototipos de ladrillo el que presento mayor variación dimensional fue el que tiene una dosificación de 40% de PET, esta variación puede ser causada debido al uso constante de los moldes de madera, y el que presente menor variación dimensional fue el prototipo de ladrillo con una dosificación del 20% de PET, pero



tanto el prototipo de ladrillo y el ladrillo artesanal presentan una variación dimensional admisible en los rangos de la Norma Técnica Peruana E 070 para un ladrillo tipo IV para albañilería no portante.

Sexta conclusión (Específica)

Sub Hipótesis 5: Se demostró que se cumple con la Sub hipótesis 5: **“La absorción obtenida de los prototipos de ladrillo sustituyendo el agregado fino por PET en porcentajes de 20%, 40%, 60% y 80%, con respecto a un ladrillo artesanal de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E 070 para un ladrillo tipo IV.”**, La absorción de los prototipos de ladrillo fue mínima porque el PET es un material impermeable que solo por sus poros y sus fisuras internas puede absorber humedad como paso con el prototipo de ladrillo con una dosificación del 80% de PET, el cual obtuvo el mayor porcentaje de absorción con respecto al ladrillo artesanal que presentó valores superiores.

Octava conclusión

Se concluye los prototipos de ladrillo cumplen con los valores permisibles normas establecidos en la Norma Técnica Peruana E 0.70 y a mayor porcentaje de PET el prototipo de ladrillo es menor, la cual podría interpretarse para cálculos estructurales, en considerar un menor peso a los elementos estructurales no portantes.

Novena conclusión

Según al análisis de precios unitarios presentado en anexos (pag-107) a mayor porcentaje de PET el prototipo de ladrillo cuesta más, un ladrillo artesanal cuesta aproximadamente la unidad S/1.20 un nuevo sol con 20 céntimos y el ladrillo prototipo al 80% de PET S/1.41 un sol con 41 céntimos, concluyendo que cuesta un 21% más caro.



Recomendaciones

Primera recomendación

Se recomienda a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la universidad Andina del Cusco continuar con estudios y análisis relacionados a fabricación de unidades de albañilería con PET para determinar su comportamiento ante diferentes sollicitaciones como para el caso de uso de muros portantes

Segunda recomendación

Se recomienda continuar el trabajo con el uso de otras dosificaciones ya sea el caso de muros no portantes disminuir la cantidad de cemento para obtener muestras con un peso aún menor y que el mismo cumpla con las características mencionadas en la Norma E.070.

Tercera recomendación

Se recomienda realizar un estudio de conductividad térmica para ladrillos con PET.

Cuarta recomendación

Se recomienda la fabricación de los ladrillos con PET con diferentes tipos de Cemento.

Quinta recomendación

Se recomienda el uso de los ladrillos con PET para muros no portantes, ya que el estudio realizado fue para este fin y se demostró que cumple con las Normas correspondientes para este uso (Norma E.070).

Sexta recomendación

Se recomienda usar un aditivo para desamoldar los ladrillos de las cajas de madera, así como del molde de acero que se usó en esta investigación.

Séptima recomendación

Se recomienda realizar estudios de ensayos acústicos a las unidades de cemento con PET.

Octava recomendación

Se recomienda realizar un ensayo granulométrico al PET, ya que a mayor tamaño menor superficie de contacto de partículas con el cemento.

Novena recomendación



Se recomienda clasificar el PET para el reciclaje según su procedencia para un mejor control de calidad

Decima recomendación

Se recomienda la apertura de una planta procesadora de botellas plásticas PET, que generaría un menor costo en la producción de triturado de polímero PET.

Onceava recomendación

Se recomienda evaluar el comportamiento del ladrillo con PET a edades mayores a 28 días de curado

Doceava recomendación

Se recomienda realizar estudios en una sustitución al 100% de agregado fino por PET.

Treceava recomendación

Se realizó ensayos de pilas para ver la adherencia entre las unidades prototipo con el mortero así también para observar el comportamiento de la adherencia de la arcilla, los valores obtenidos son óptimos según el informe de laboratorio con respecto a la Norma E.070.

**Referencias**

- 399.604, N. (2002). *UNIDADES DE ALBAÑILERIA* . Lima, Peru.
- Aracellys, B., & Lang, M. (2006). *Contaminacion Atmosferica por la fabricacion de ladrillos y sus posibles efectos sobre la salud de los niños de zonas aledañas*.
- Averardo, M. (2009). *Tegnologia y Produccion* . Monterrey Mexico: Universidad Mexicana del Noreste Monterrey.
- Bravo, J. (2016). *Analisis de las propiedades de un prototipo de unidad de albañileria fabricada a partir de suelo-cemento y fibras de polipropileno en la ciduad del Cusco (tesis pregrado)*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Caballero, B., & Florez, O. (2017). *Elaboracion de bloques en cemento utilizando plastico polietilen-tereflafto (pet) como alternativa sostenible para la construccion*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- CEVE, S. (2015). *Ladrillos de plastico reciclado segunda edicion*. Argentina: CEVE.
- Cusi, D. C. (2014). *monografia del cemento*. chullunquiani: dspace.
- Garayar, C. (2003). *Atlas departamental del Perú*. Lima: La Republica.
- Guillermo, J., & Arteaga, Z. (s.f.). *Tesis Doctroal Diseño y Desarrollo experimental de materiales de construccion utilizando plastico reciclado*. Navarra-España.
- Gutierrez, C. (2018). *Metodologia*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Itca, & Fepade. (2015). *Diseño y desarrollo experimental de materiales de construccion utilizando plástico reciclado*.
- Norma Tecnica E.0.70 Albañileria*. (2006).
- NTP. (2005). *NORMAS DE UNIDADES NTP 399.613*. Lima, Peru.
- Paz, E. E. (2014). *Analisis de la determinacion de las propiedades fisico y mecanicas de ladrillos elaborados con plastico reciclado*. Arequipa-PERU: Universidad Nacional de San Agustin.
- Peru, P. U. (2012). *Estudio de Ciclo de vida Comparativo entre ladrillos Artesanalas y Ladrillos Mecanizados* . Cusco San Jeronimo.
- Proeti. (s.f.). *Proeti*. Obtenido de <http://proetisa.com/proetisa-productos.php?ID=50>
- San Bartolome, A. (1994). *Construcciones de Albañileria*. fonfo editorial 1994.