

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**LADRILLOS DE CONCRETO CON PLÁSTICO PET
RECICLADO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:
EVELYN ROSARIO ECHEVERRÍA GARRO**

**ASESOR:
Dra. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN**

Cajamarca, Perú

-2017-

DEDICATORIA

A Teresa Garro Lozano, mi madre.

AGRADECIMIENTO

Agradezco sobremanera a la Universidad Nacional de Cajamarca y a sus docentes, cuyos conocimientos y orientaciones lograron en mí una íntegra formación profesional.

De manera especial a la Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón, asesora de esta tesis, por su valiosa orientación.

Al Jurado de esta tesis; M. en I. Héctor Albarino Pérez Loayza, Ing. Marcos Mendoza Linares, Ing. Lucio Marcial Sifuentes Inostroza por las observaciones, sugerencias y aportes realizados.

A mi madre, Teresa Garro, mi abuelita, Mavila Lozano, mi tío Vidal Garro y a Edgar, mi hermano, por su amor y apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos y compañeros, futuros colegas, por la amistad brindada y momentos compartidos durante nuestra vida universitaria, principalmente a los que de una u otra forma me ayudaron con el desarrollo de este proyecto.

A todos ustedes, mi infinita gratitud.

Evelyn.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. HIPÓTESIS	2
1.4. VARIABLES	2
1.5. OBJETIVOS	2
1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.7. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.8. LIMITACIONES	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
2.2. BASES TEÓRICAS	8
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	38
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	39
3.2. METODOLOGÍA	39
3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS	40
3.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PET RECICLADO	46

3.5. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLA DEL LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO CON PLÁSTICO PET RECICLADO.	46
3.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO CON PLÁSTICO PET RECICLADO	49
3.7. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO	52
3.8. PROPIEDADES DE LOS PRISMAS DE ALBAÑILERÍA	53
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
4.1. RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	56
4.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN A DIFERENTES DOSIFICACIONES	57
4.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO - PET .	59
4.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO	66
4.5. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA	67
4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1. CONCLUSIONES	72
5.2. RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos técnicos del Polietileno Tereftalato	9
Tabla 2. Clase de Unidad de Albañilería para Fines Estructurales	24
Tabla 3. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería.....	25
Tabla 4. Proporción para morteros según Norma E-070	27
Tabla 5. Métodos para determinar $f'm$ y $v'm$	28
Tabla 6. Incremento de $f'm$ y $v'm$ por edad	29
Tabla 7. Factores de corrección $f'm$ por esbeltez.....	29
Tabla 8. Efecto del tipo de mortero en la resistencia del prisma.....	31
Tabla 9. Efecto del espesor de la junta de mortero en la resistencia del prisma.	32
Tabla 10. Influencias en la resistencia de la albañilería	36
Tabla 11. Tipificación de la investigación.....	40
Tabla 12. Proporción de PET en la mezcla de concreto.....	47
Tabla 13. Resumen de las características del agregado fino	56
Tabla 14. Resumen de las características del agregado grueso	57
Tabla 15. Resumen de las características del PET	57
Tabla 16. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos patrón.....	58
Tabla 17. Clase de Unidad de Albañilería para Fines Estructurales	59
Tabla 18. Variación dimensional por cada tipo de ladrillo de concreto PET.....	59
Tabla 19. Contenido de humedad por cada tipo de ladrillo de concreto PET.....	60
Tabla 20. Peso unitario volumétrico por cada tipo de ladrillo de concreto PET.....	60
Tabla 21. Peso por cada tipo de ladrillo de concreto PET.....	61
Tabla 22. Porcentaje por cada tipo de ladrillo de concreto PET.	62
Tabla 23. Alabeo por cada tipo de ladrillo de concreto PET.....	62
Tabla 24. Succión por cada tipo de ladrillo de concreto PET.	63
Tabla 25. Absorción por cada tipo de ladrillo de concreto PET.	63
Tabla 26. Resistencia a compresión por cada tipo de ladrillo de concreto PET.....	64
Tabla 27. Clasificación de los ladrillos PET de acuerdo a las principales propiedades.....	66
Tabla 28. Resultado del ensayo de compresión del mortero	66
Tabla 29. Comparación de resistencia a la compresión axial de pilas de ladrillos PET	67
Tabla 30. Comparación de módulos de elasticidad de pilas de ladrillos PET.....	68
Tabla 31. Comparación de resistencia al corte de muretes de ladrillos PET.....	69

Tabla 32. Granulometría del agregado fino – ensayo N°1	79
Tabla 33. Granulometría del agregado fino – ensayo N°2	80
Tabla 34. Granulometría del agregado fino – ensayo N°3	81
Tabla 35. Contenido de humedad del agregado fino	82
Tabla 36. Peso específico y absorción del agregado fino	82
Tabla 37. Determinación del peso específico del agua.	82
Tabla 38. Cálculo del factor f	83
Tabla 39. Peso unitario suelto seco del agregado fino	83
Tabla 40. Peso unitario seco compactado del agregado fino.....	83
Tabla 41. Granulometría del agregado grueso – ensayo N°1	84
Tabla 42. Granulometría del agregado grueso – ensayo N°2	85
Tabla 43. Granulometría del agregado grueso – ensayo N°3	86
Tabla 44. Contenido de humedad del agregado grueso.....	87
Tabla 45. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	87
Tabla 46. Determinación del peso específico del agua	87
Tabla 47. Cálculo del factor f	88
Tabla 48. Peso unitario suelto seco del agregado grueso	88
Tabla 49. Peso unitario seco compactado del agregado grueso	88
Tabla 50. Resistencia a la abrasión.....	88
Tabla 51. Granulometría del PET – ensayo N°1.	89
Tabla 52. Granulometría del PET – ensayo N°2	89
Tabla 53. Granulometría del PET – ensayo N°3	90
Tabla 54. Peso específico y absorción del PET.....	90
Tabla 55. Determinación del peso específico del agua	90
Tabla 56. Cálculo del factor f	91
Tabla 57. Peso unitario suelto seco del PET	91
Tabla 58. Peso unitario seco compactado del PET.....	91
Tabla 59. Diseño de mezcla del ladrillo patrón por resistencia.....	92
Tabla 60. Diseño de mezcla del ladrillo patrón por durabilidad.	93
Tabla 61. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 4: 2)	94
Tabla 62. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 4: 3)	95
Tabla 63. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 5: 2)	96

Tabla 64. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 5: 3).....	97
Tabla 65. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 5.5: 2.5).....	98
Tabla 66. Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con PET (PET al 0%).....	99
Tabla 67. Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con PET (PET al 3%).....	100
Tabla 68. Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con PET (PET al 6%).....	101
Tabla 69. Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con PET (PET al 9%).....	102
Tabla 70. Diseño de mezcla del mortero	103
Tabla 71. Resultado del ensayo de variación dimensional de los ladrillos PET 0%.....	104
Tabla 72. Resultado del ensayo de variación dimensional de los ladrillos PET 3%.....	105
Tabla 73. Resultado del ensayo de variación dimensional de los ladrillos PET 6%.....	106
Tabla 74. Resultado del ensayo de variación dimensional de los ladrillos PET 9%.....	107
Tabla 75. Resultado del ensayo de contenido de humedad de los ladrillos PET 0%	108
Tabla 76. Resultado del ensayo de contenido de humedad de los ladrillos PET 3%	108
Tabla 77. Resultado del ensayo de contenido de humedad de los ladrillos PET 6%	109
Tabla 78. Resultado del ensayo de contenido de humedad de los ladrillos PET 9%	109
Tabla 79. Resultado del ensayo del peso unitario volumétrico de los ladrillos PET 0% ..	110
Tabla 80. Resultado del ensayo del peso unitario volumétrico de los ladrillos PET 3% ..	110
Tabla 81. Resultado del ensayo del peso unitario volumétrico de los ladrillos PET 6% ..	111
Tabla 82. Resultado del ensayo del peso unitario volumétrico de los ladrillos PET 9% ..	111
Tabla 83. Resultado del ensayo del porcentaje de vacíos de los ladrillos PET 0%.....	112
Tabla 84. Resultado del ensayo del porcentaje de vacíos de los ladrillos PET 3%.....	112
Tabla 85. Resultado del ensayo del porcentaje de vacíos de los ladrillos PET 6%.....	113
Tabla 86. Resultado del ensayo del porcentaje de vacíos de los ladrillos PET 9%.....	114
Tabla 87. Resultado del ensayo de alabeo de los ladrillos PET 0%.....	115
Tabla 88. Resultado del ensayo de alabeo de los ladrillos PET 3%.....	115
Tabla 89. Resultado del ensayo de alabeo de los ladrillos PET 6%.....	116
Tabla 90 . Resultado del ensayo de alabeo de los ladrillos PET 9%.....	116
Tabla 91. Resultado del ensayo de succión de los ladrillos PET 0%	117
Tabla 92. Resultado del ensayo de succión de los ladrillos PET 3%	117
Tabla 93. Resultado del ensayo de succión de los ladrillos PET 6%	118
Tabla 94. Resultado del ensayo de succión de los ladrillos PET 9%	118
Tabla 95. Resultado del ensayo de absorción de los ladrillos PET 0%.....	119

Tabla 96. Resultado del ensayo de absorción de los ladrillos PET 3%.....	119
Tabla 97. Resultado del ensayo de absorción de los ladrillos PET 6%.....	120
Tabla 98. Resultado del ensayo de absorción de los ladrillos PET 9%.....	120
Tabla 99. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos PET 0%.....	121
Tabla 100. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos PET 3%.....	121
Tabla 101. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos PET 6%.....	122
Tabla 102. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos PET 9%.....	122
Tabla 103. Ensayo de compresión axial de pilas de albañilería de los ladrillos de concreto con PET (0%, 3%, 6%, 9%)	123
Tabla 104. Cálculo del Módulo de Elasticidad de pilas de albañilería de los ladrillos de concreto con PET (0%, 3%, 6%, 9%).....	124
Tabla 105. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-01.....	125
Tabla 106. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-02.....	126
Tabla 107. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-03.....	127
Tabla 108. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-04.....	128
Tabla 109. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-05.....	129
Tabla 110. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-06.....	130
Tabla 111. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-07.....	131
Tabla 112. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-08.....	132
Tabla 113. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-09.....	133
Tabla 114. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-10.....	134
Tabla 115. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-11.....	135
Tabla 116. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-12.....	136
Tabla 117. Ensayo de corte en muretes de albañilería de los ladrillos de concreto con PET (0%, 3%, 6%, 9%)	139
Tabla 118. Resultado del ensayo a corte del murete M-01	140
Tabla 119. Resultado del ensayo a corte del murete M-02	140
Tabla 120. Resultado del ensayo a corte del murete M-03	141
Tabla 121. Resultado del ensayo a corte del murete M-04	142
Tabla 122. Resultado del ensayo a corte del murete M-05	142
Tabla 123. Resultado del ensayo a corte del murete M-06	143
Tabla 124. Resultado del ensayo a corte del murete M-07	144
Tabla 125. Resultado del ensayo a corte del murete M-08	144

Tabla 126. Resultado del ensayo a corte del murete M-09	145
Tabla 127. Resultado del ensayo a corte del murete M-10	146
Tabla 128. Resultado del ensayo a corte del murete M-11	146
Tabla 129. Resultado del ensayo a corte del murete M-12	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama DSC del PET.	12
Figura 2. Movimiento sinusoidal vibracional.	18
Figura 3. Pérdida de resistencia por compactación deficiente.	19
Figura 4. Disminución del rozamiento interno en presencia de la vibración.	19
Figura 5. Proceso de compactación por vibrador.	20
Figura 6. Flujograma de producción	23
Figura 7. Aspecto de prismas ensayados a rotura por compresión.	30
Figura 8. Resistencia de prismas de albañilería (f^m) vs. Edad del espécimen.	32
Figura 9. Relación de la resistencia del prisma (f^m) y del ladrillo (f^b) para los ladrillos sólidos y perforados vs. Relación de espesor de juntas (t^m) y altura del ladrillo (t_b).	33
Figura 10. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de compresión de prismas de albañilería.	34
Figura 11. Formas de falla.	35
Figura 12. Muros de albañilería simple después del ensayo de corte.	35
Figura 13. Fotografía Satelital, ubicación de la cantera "Roca Fuerte"	41
Figura 14. Detalle de la geometría de los ladrillos de concreto con PET reciclado.	46
Figura 15. Medición de alabeo	50
Figura 16. Ensayo de compresión axial.	53
Figura 17. Ensayo de corte. Esquema de deformación.	54
Figura 18. Diagrama % de PET en mezcla vs. Peso unitario volumétrico del ladrillo	61
Figura 19. Diagrama % de PET en mezcla vs. Peso del ladrillo	61
Figura 20. Diagrama % de PET en mezcla vs. Resistencia a compresión del ladrillo	64
Figura 21. Diagrama Resistencia a compresión vs. Peso unitario volumétrico del ladrillo	65
Figura 22. Diagrama Resistencia a compresión vs. Succión del ladrillo	65
Figura 23. Diagrama Resistencia a compresión vs. Absorción del ladrillo.	65

Figura 24. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de las pilas de ladrillos	67
Figura 25. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de los muretes de ladrillos.....	70
Figura 26. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°1	79
Figura 27. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°2	80
Figura 28. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°3	81
Figura 29. Curva granulométrica del agregado grueso ensayo N°1	84
Figura 30. Curva granulométrica del agregado grueso ensayo N°2.....	85
Figura 31. Curva granulométrica del agregado grueso ensayo N°3.....	86
Figura 32. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-01	125
Figura 33. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-02	126
Figura 34. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-03	127
Figura 35. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-04	128
Figura 36. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-05	129
Figura 37. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-06	130
Figura 38. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-07	131
Figura 39. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-08	132
Figura 40. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-09	133
Figura 41. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-10	134
Figura 42. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-11	135
Figura 43. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-12	136
Figura 44. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de pilas - PET 0%	137
Figura 45. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de pilas - PET 3%	137
Figura 46. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de pilas - PET 6%	138
Figura 47. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de pilas PET - 9%	138
Figura 48. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de muretes - PET 0%.	141
Figura 49. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de muretes - PET 3%	143
Figura 50. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de muretes - PET 6%	145
Figura 51. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de muretes - PET 9%	147
Figura 52. Preparación de los agregados.....	149
Figura 53. Tamices y balanza utilizados en el ensayo granulométrico	149
Figura 54. Agregado fino saturado superficialmente seco, frasco lleno con muestra y agua hasta la marca de 500cm ³	149

Figura 55. Confitillo en estado s. s. s. más canastilla sumergidos en agua.	150
Figura 56. Recipiente metálico: vacío, con agua, con agregado (confitillo).	150
Figura 57. Ensayo de abrasión en la máquina Los Ángeles.	150
Figura 58. Recipiente vacío, con hojuelas de PET y con hojuelas de PET más agua.	151
Figura 59. Recipiente metálico: vacío, con hojuelas de PET suelto y PET compactado. .	151
Figura 60. Determinación de pesos de los agregados de las mezclas prueba.	151
Figura 61. Fabricación de ladrillos con las mezclas de prueba.	152
Figura 62. Reposo y curado de los ladrillos de prueba.	152
Figura 63. Ensayo de compresión de los ladrillos de prueba.	152
Figura 64. Adición de las hojuelas de PET a la mezcla de ladrillos de concreto vibrado.	153
Figura 65. Mezclado de los agregados de ladrillo de concreto.	153
Figura 66. Consistencia de la mezcla de ladrillos de concreto, seca y húmeda.	153
Figura 67. Modelado de la mezcla de concreto en la mesa vibradora.	154
Figura 68. Desmolde y curado de los ladrillos de concreto vibrado con PET.	154
Figura 69. Medición de las dimensiones de cada ladrillo de concreto.	154
Figura 70. Registro del peso de cada ladrillo de concreto.	155
Figura 71. Arena normalizada colocada en las perforaciones del ladrillo de concreto.	155
Figura 72. Ladrillo de concreto sobre bandeja metálica con agua.	155
Figura 73. Ladrillos de concreto secados en la estufa y saturados.	156
Figura 74. Ensayo de resistencia a compresión de los ladrillos de concreto.	156
Figura 75. Construcción de pilas y muretes de albañilería simple.	156
Figura 76. Aplicación del capping en las pilas de albañilería.	157
Figura 77. Aplicación del capping en los muretes de albañilería simple.	157
Figura 78. Ensayo a compresión del mortero.	157
Figura 79. Ensayo de compresión axial de pilas de ladrillos de concreto.	158
Figura 80. Ensayo de corte en muretes de albañilería.	158
Figura 81. Ensayo de corte en murete de ladrillos con PET 0%. Falla típica.	158
Figura 82. Ensayo de corte en murete de ladrillos con PET 3%. Falla típica.	159
Figura 83. Ensayo de corte en murete de ladrillos con PET 6%. Falla típica.	159
Figura 84. Ensayo de corte en murete de ladrillos con PET 9%. Falla típica.	159

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar las propiedades físico mecánicas, de ladrillo de concreto con plástico PET reciclado, definidas en la norma técnica E.070. Para lo cual se determinaron las proporciones óptimas de los agregados en la mezcla de concreto para elaborar una unidad de albañilería clase IV. Posteriormente se procedió a agregar a la mezcla de ladrillo de concreto vibrado hojuelas de plástico PET reciclado en porcentajes crecientes de 0%, 3%, 6% y 9%, obteniéndose cuatro tipos de ladrillo, a éstos se les realizó diferentes ensayos a los 28 días de edad para determinar sus propiedades físico mecánicas; siendo la propiedad principal en la clasificación de las unidades de albañilería la resistencia a compresión, los valores característicos determinados son $f^b = 161.96 \text{ kg/cm}^2$, $f^b = 127.08 \text{ kg/cm}^2$, $f^b = 118.80$ y $f^b = 110.46 \text{ kg/cm}^2$ con coeficientes de variación de 2.95%, 6.86%, 4.54% y 6.41% para porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% de PET respectivamente. Se determinó la resistencia a compresión axial característica en pilas, cuyos valores son $f^m = 128.55 \text{ kg/cm}^2$, $f^m = 100.83 \text{ kg/cm}^2$, $f^m = 79.79 \text{ kg/cm}^2$ y $f^m = 76.75 \text{ kg/cm}^2$ con coeficientes de variación de 9.24%, 11.49%, 11.68% y 8.63% para porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% de PET respectivamente. La resistencia a corte característica en muretes es $V^m = 16.47 \text{ kg/cm}^2$, $V^m = 12.83 \text{ kg/cm}^2$, $V^m = 13.17 \text{ kg/cm}^2$ y $V^m = 9.96 \text{ kg/cm}^2$ con coeficientes de variación de 15.42%, 9.27%, 10.33% y 10.36% para porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% de PET respectivamente

Se concluyó que las propiedades mecánicas de los ladrillos de concreto vibrado al adicionar hojuelas de plástico PET reciclado no mejoran, habiendo una disminución máxima de la resistencia a compresión del ladrillo de 51.5 kg/cm^2 o 31.8%, respecto de la mezcla patrón; sin embargo, las propiedades físico mecánicas de los tres tipos de ladrillo de concreto con plástico PET reciclado cumplen con los requerimientos definidos por la norma E.070:2006.

Palabras Clave: PET, albañilería, prismas, resistencia a compresión, resistencia a corte.

ABSTRACT

This research had as main objective to determine the physical and mechanical properties of concrete brick with recycled plastic PET, that the E.070:2006 Technical Standard requests. For this, were determined the optimum proportions of aggregates in the mix for the vibrated concrete to constitute a IV class masonry unit. Subsequently we proceeded to add to the mixture of vibrated concrete brick, recycled plastic PET flakes in increasing percentages of 0%, 3%, 6% and 9%, obtaining four types of brick, those were subjected to different tests to 28 days of age in order to determine their physical and mechanical properties; the main property in the classification of masonry units was the compressive strength of the concrete units, the determined characteristic values are $f^b = 161.96 \text{ kg/cm}^2$, $f^b = 127.08 \text{ kg/cm}^2$, $f^b = 118.80$ and $f^b = 110.46 \text{ kg/cm}^2$ with coefficients of variation of 2.95%, 6.86%, 4.54% and 6.41% for percentages of 0%, 3%, 6% and 9% of PET respectively. The characteristic axial compressive strength in piles was determined, whose values are $f^m = 128.55 \text{ kg/cm}^2$, $f^m = 100.83 \text{ kg/cm}^2$, $f^m = 79.79 \text{ kg/cm}^2$ and $f^m = 76.75 \text{ kg/cm}^2$ with coefficients of variation of 9.24%, 11.49%, 11.68% and 8.63% for percentages of 0%, 3%, 6% and 9% of PET respectively. The characteristic shear strength in walls is $V^m = 16.47 \text{ kg/cm}^2$, $V^m = 12.83 \text{ kg/cm}^2$, $V^m = 13.17 \text{ kg/cm}^2$ y $V^m = 9.96 \text{ kg/cm}^2$ with coefficients of variation of 15.42%, 9.27%, 10.33% and 10.36% for percentages of 0%, 3%, 6% and 9% of PET respectively

It was concluded that the mechanical properties of vibrated concrete bricks do not improve when it is added flakes of recycled plastic PET, there being a maximum decrease of the compressive strength of the brick of 51.5 kg/cm^2 or 31.8%, with respect to the standard mixture; however, the physical and mechanical properties of the three concrete brick types with recycled plastic PET satisfy the E.070:2006 Technical Standard requirements.

Keywords: PET, masonry, prisms, compressive strength, shear strength.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los residuos sólidos producidos diariamente están compuestos, en gran cantidad por envases de bebidas de consumo masivo, que no se degradan fácilmente y pueden permanecer durante décadas afectando al medioambiente. Con el fin de contribuir a la gestión de los residuos, se promueve cada vez más el reciclaje. Reciclar recipientes plásticos PET (tereftalato de polietileno) permite que éstas sean utilizadas como materia prima en diversas industrias. Se plantea el diseño y elaboración de nuevos elementos y tecnologías constructivas como una alternativa ecológica en la industria de la construcción.

Una tecnología constructiva se considerará apropiada si no requiere grandes gastos de energía, no causa desechos ni contaminación, es climáticamente aceptable, segura frente a inclemencias de tiempo y peligros naturales, emplea fuerza laboral local tanto para la producción como para el mantenimiento y reparación, usa materiales locales (abundantes, renovables, disponibles, de poco peso y fácil manipulación, durables y de calidad), es socialmente aceptable, evita herramientas o equipos de alto costo, requiere baja especialización, fácil aprendizaje, ... y tiene escasa incidencia sobre el medio, (SULTZ Ronald, 2004)

El PET tiene alta resistencia frente a esfuerzos permanentes, desgaste, además alta rigidez y dureza, por lo que se esta investigación realizó el análisis de su inclusión, como materia prima, en la producción de un ladrillo cuyas propiedades físico mecánicas cumplan los requisitos de la norma técnica E.070 – Albañilería.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se puede resumir mediante la siguiente interrogante:

¿Cuáles son los valores de las propiedades físico mecánicas del ladrillo de concreto vibrado con plástico PET reciclado?

1.3. HIPÓTESIS

Las propiedades físico mecánicas del ladrillo de concreto se mejoran al incrementar el porcentaje de reemplazo de agregados por hojuelas de plástico PET reciclado, además cumplen los requisitos de la norma técnica E.070 – Albañilería.

1.4. VARIABLES

- Independiente. Porcentaje de reemplazo de PET en las unidades de albañilería.
- Dependiente. Propiedades físicas y mecánicas de los elementos que componen la albañilería.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades físico mecánicas de ladrillo de concreto con plástico PET reciclado que considera la norma técnica E.070 – Albañilería.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físico mecánicas de los agregados.
- Determinar la resistencia a compresión de los ladrillos de concreto con plástico PET reciclado.
- Determinar la resistencia a corte en muretes.
- Determinar la resistencia a compresión en pilas.
- Determinar la resistencia del mortero.

1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se justifica por el limitado conocimiento sobre el uso del plástico PET reciclado en elementos constructivos en Perú, por lo que se desconocen las características y beneficios de este material, el déficit de conocimiento trae consigo el desperdicio de material, pues la industria del reciclaje en nuestro país se limita a lavar y triturar el material reciclado, para luego exportarlo en forma de hojuelas de PET, sin mayor valor agregado.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca como centro de generación y difusión de conocimientos, se interesa en investigaciones innovadoras y que propongan alternativas de solución ante problemas ingenieriles, desarrollar materiales

alternativos que bajen los costos de construcción y que permita por medio de ello dar una solución al problema medio ambiental. Con esta investigación se pretende proporcionar una alternativa de solución para minimizar el impacto al medio ambiente, basándonos en la implementación de un concepto de reciclaje; que permita la creación y diseño innovador de unidades de albañilería con hojuelas de plástico PET reciclado como materia prima.

El ladrillo de concreto – PET, objeto de la presente investigación se puede replicar en una escala industrial; como evidenciaron Cisneros y Sánchez (2014) existe la disponibilidad, en el mercado nacional, de diversas máquinas de la línea de lavado, triturado y secado del PET, con una capacidad de producción de 250kg/h. Para la etapa de mezclado, vibrado y moldeado de los ladrillos de concreto – PET el mercado nacional ofrece diversos equipos de compactación, como mesas vibradoras para producción artesanal; para la producción a mediana escala se usa máquinas estacionarias o ponedoras (móviles) de diferentes capacidades, ya sean hidráulicas o manuales; y para la producción a gran escala se emplea plantas estacionarias automáticas, estas máquinas cuentan con sistemas automatizados de mezclado y prensado, y su productividad oscila de 1500 a 2500 unidades por hora.

1.7. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se estudiaron las propiedades mecánicas de los ladrillos de concreto vibrado producidos con agregados del río Chonta, de la cantera Roca Fuerte y el reemplazo porcentual de agregados por hojuelas de plástico PET reciclado con el fin de determinar la idoneidad de esta alternativa para la industria de la construcción.

1.8. LIMITACIONES

No se presentaron.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

El tereftalato de polietileno (PET) que es la materia prima utilizada para la elaboración de botellas; nace en el año 1941, y desde entonces año con año se consumen millones de toneladas; lo que representa un problema para el medio ambiente. Los plásticos utilizados en la industria y la vida cotidiana son productos con una limitada capacidad de autodestrucción, quedando como residuos por muchos años; donde el plástico y sus derivados tardan hasta 500 años en degradarse.

En nuestro país los desechos sólidos se han incrementado en la medida que la población aumenta, por lo que ante la problemática; se han planteado algunas soluciones; una de las más adoptadas es el reciclaje de materiales.

2.1.1. INTERNACIONALES

Molina et al. 2007. Estudio de las Características Físico - Mecánicas de Ladrillos Elaborados con Plástico Reciclado en el Municipio de Acacias (Meta).

Se analizó el ladrillo con una combinación de 70% de PET y 30% de PEAD lo que lo hace liviano, por el peso específico de la materia prima, y por su alto contenido de PET, siguiendo las Normas Técnicas Colombianas se realizaron diferentes ensayos, ante el ensayo de alabeo presentó caras uniformes lo que lo hace de fácil instalación y acoplamiento, y al exponerse a la intemperie no presenta alteraciones dimensionales ni daños aparentes al ser sometido a los rayos ultravioleta y a la humedad del medio ambiente, tiene muy bajo porcentaje de absorción de agua (0,29%), al ser sometido a fuerzas de flexión el ladrillo se rompe a un ángulo de 45° aproximadamente soportando una presión promedio de 0.83MPa, lo que lo hace un ladrillo altamente resistente a la rotura, además tiene un alto grado de resistencia a la compresión horizontal de 212,6 Kg/cm² y verticalmente 239 Kg/cm² y se clasifica como un material frágil según su análisis de esfuerzo – deformación.

Gaggino, R. 2008. Componentes Constructivos Elaborados con una Mezcla Cementicia y Agregados de Plásticos Reciclados.

En esta investigación se estudió una alternativa que ayude a bajar los costos de construcción y adquisición de viviendas, esta alternativa es reciclar residuos plásticos para la fabricación de componentes constructivos. Los materiales utilizados fueron: tereftalato de polietileno y films de plásticos varios: polietileno, polipropileno biorientado y policloruro de vinilo. Estos residuos se trituraron e incorporaron a una mezcla de cemento Portland, agua y un aditivo químico. Con esta mezcla se fabricaron ladrillos, bloques de pared y placas de ladrillos; para ser usados en cerramientos no estructurales de viviendas.

Y se concluye que esta tecnología con plásticos reciclados es una alternativa posible para la construcción de viviendas y que los elementos constructivos desarrollados son más ecológicos, más livianos, y ofrecen una mayor aislación térmica que los tradicionales; con una resistencia mecánica suficiente para su aplicación en la construcción de cerramientos no portantes.

Rivera Martinez, L. 2013. Materiales Alternativos para la Elaboración de Tabiques Ecológicos.

Se sustituyó parcialmente al jal del tabique en 50% y 30 % de PET, para así obtener un material que se comportara de manera similar a éste sin sacrificar sus características de resistencia.

En el caso de los tabiques de jal al 30% se pudo apreciar que la resistencia es baja debido a la poca adherencia que se tienen entre el plástico y el cemento; y en el caso del PET al 50 % no cumplen lo requerido, pues el contenido de plástico es mayor y su adherencia es menor.

Este tipo de materiales pudieran llegar a utilizarse como piezas divisorias, más nunca estructurales, ya que no soporta las cargas.

Zavala Arteaga, G. 2015. Diseño y Desarrollo Experimental de Materiales de Construcción Utilizando Plástico Reciclado.

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 para crear los elementos de cemento – PET.

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, sin embargo, 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 estructural.

2.1.2. NACIONALES

Pastor et al. 2015. Diseño de Planta Productora de Adoquines a base de Cemento y Plástico Reciclado.

Se buscó que los adoquines utilizados en tránsito peatonal y vehicular tengan en su composición materiales reciclados, por lo que se usó una proporción de 1 de cemento por 1.5 de arena y 0.5 de PET. El proceso de elaboración se realizó en una máquina productora de adoquines (compactadora).

Según las pruebas de laboratorio se pudo determinar que los adoquines con plástico cumplen con los requerimientos exigidos por la norma peruana en cuanto a resistencia y absorción se refiere, para que sean apropiados para su uso en la construcción de vías públicas, además poseen una densidad menor al de los elaborados solo con cemento, esto debido a que el plástico tiene un menor peso. Por ello, es que la resistencia disminuye un poco.

Reyna Pari, C. 2016. Reutilización de Plástico PET, Papel y Bagazo de Caña de Azúcar, como Materia Prima en la Elaboración de Concreto Ecológico para la Construcción de Viviendas de Bajo Costo.

Se planteó reutilizar los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo. Se utilizó como materia prima, el cemento Portland Extra Forte, gravilla de 1/2", arena gruesa y los residuos antes mencionados, éstos sustituyeron a la arena gruesa en los porcentajes en peso de 5%, 10% y 20%.

Se pudo determinar que el concreto que contenía 5% de plástico PET presentó la mejor resistencia a compresión y que conforme se aumenta el contenido de los residuos en el concreto su resistencia a la compresión disminuye. También se determinó que hay un ahorro en el costo unitario del concreto incorporando plástico PET.

2.1.3. LOCALES

Chavez Fuentes, M. 2014. Características Físico-Mecánicas del Ladrillo de Cemento y Tereftalato de Polietileno.

Se investigó la utilización del tereftalato de polietileno (PET) reciclado y cemento en la fabricación de ladrillos. Tuvo por objetivo determinar las principales características de una unidad de albañilería: variabilidad dimensional, alabeo, absorción y compresión. Se utilizaron tres relaciones PET/cemento: 1.00, 1.50 y 2.00. Los especímenes fueron sometidos a los ensayos principales de acuerdo a la norma E.070 por no existir un reglamento para ladrillos hechos de PET. Los resultados obtenidos indican que los ladrillos PET con proporción PET/cemento de 1.00 y 1.50 pueden ser utilizados ya que presentan buenas características de compresión (56.74 kg/cm² y 20.51 kg/cm² respectivamente) y absorción (3.9% y 7.8% respectivamente). Al aumentar la proporción de PET, los ladrillos van perdiendo su resistencia a la compresión y aumentan su absorción.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. EL PLÁSTICO PET

Es una sustancia sintética de estructura macromolecular por su gran cantidad de moléculas de hidrocarburos, alcoholes y otros compuestos orgánicos. Fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J.T. Dicknson en 1941 y comenzó a ser utilizado a partir de 1955 para la producción de envases de líquidos y es totalmente reciclable, lo que le da un valor agregado. (Ambientum, 2000)

El PET es producido a partir del petróleo crudo, gas y aire. Está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. Y se caracteriza por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, es una barrera contra los gases, reciclable 100% y con posibilidad de producir envases reutilizables, lo cual ha llevado a desplazar a otros materiales. (Luis et al, 2008)

El PET es el material plástico con el cual se elaboran los envases de bebidas gaseosas y aguas minerales, entre otras. Las botellas son desechables, por lo que su destino suele ser la bolsa de basura y, por extensión, los rellenos sanitarios. (Luis et al, 2008)

2.2.1.1. PROPIEDADES DEL PLÁSTICO PET

En general los plásticos se caracterizan por alta resistencia respecto de su densidad, aislamiento térmico, aislamiento eléctrico, resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes, entre otros. Específicamente el Tereftalato de Polietileno (PET) presenta las siguientes características relevantes:

- Buen comportamiento ante esfuerzos permanentes
- Alta resistencia al desgaste
- Buen coeficiente de deslizamiento
- Buena resistencia química
- Buenas propiedades térmicas

Con estos datos se puede asumir que el PET posee propiedades adecuadas para utilizarlo como material alternativo en la mezcla del concreto. (Angumba, 2016)

Tabla 1. Datos técnicos del Polietileno Tereftalato

DATOS TÉCNICOS DEL POLIETILENO - TEREFTALATO (PET)		
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Peso específico	134	g/cm ³
Resistencia a la tracción	825	kg/cm ²
Resistencia a la flexión	1450	kg/cm ²
Alargamiento a la rotura	15	%
Módulo de elasticidad (tracción)	28550	kg/cm ²
Resistencia al desgaste por roce	MUY BUENA	
Absorción de humedad	0.25	%
PROPIEDADES TÉRMICAS		
Temperatura de fusión	255	°C
Conductividad térmica	Baja	
Temperatura de deformabilidad por calor	170	°C
Temperatura de ablandamiento de Vicat	175	°C
Coefficiente de dilatación lineal de 23 a 100 °C	0.00008	mm por °C
PROPIEDADES QUÍMICAS		
Resistencia a álcalis débiles a Temperatura Ambiente	Buena	
Resistencia a ácidos débiles a Temperatura Ambiente	Buena	
Comportamiento a la combustión	Arde con mediana dificultad	
Propagación de llama	Mantienen la llama	
Comportamiento al quemado	Gotea	

Fuente: Adaptado de Plásticos Mecanizables, 2017

2.2.1.2. TÉCNICAS DE MOLDEO DEL PLÁSTICO

Moldeo a alta presión. Esta técnica usa máquinas hidráulicas que ejercen la presión suficiente para el moldeo de las piezas.

- **Compresión.** Plástico en polvo es calentado y comprimido entre dos partes de un molde mediante fuerza de una prensa hidráulica.
- **Inyección.** El plástico granulado se calienta y un tornillo sinfín lo inyecta a alta presión en el interior de un molde de acero para darle forma. El molde y el plástico inyectado se enfrían mediante unos canales interiores por los que circula agua.
- **Extrusión.** El material plástico es empujado por un tornillo sinfín a través de un cilindro que acaba en una boquilla, con lo que se produce una tira de longitud indefinida. (Molina et al, 2007)

Moldeo a baja presión. Se emplea para dar forma a láminas de plástico mediante la aplicación de calor u presión

- **Colada.** Consiste en el vertido de material plástico en estado líquido dentro de un molde, donde fragua y se solidifica.
- **Espumado.** Consiste en introducir aire u otro gas en el interior de la masa de plástico de manera que se formen burbujas permanentes.
- **Calandrado.** Consiste en hacer pasar el material plástico a través de unos rodillos que producen mediante presión láminas de plástico de diferente espesor. (Molina et al, 2007)

2.2.1.3. RECICLAJE DE PLÁSTICO

Las posibles vías de reutilización de los plásticos son de diferente naturaleza, abarcando desde su reciclado directo, incineración con o sin recuperación energética, hasta su transformación en productos más nobles y de mayor valor agregado mediante el reciclaje químico. La selección del procedimiento para el reciclado depende de su composición, legislación medioambiental, precio de las materias vírgenes y estrategias de reciclaje. (Ramirez D. 2011)

TIPOS DE RECICLAJE

- **Reciclado Químico.** Se define como la ruptura de los residuos plásticos en fracciones utilizables para su posterior transformación en monómeros u otros productos químicos.
- **Reciclado Mecánico.** Este proceso es menos costoso que el reciclado químico, está dirigido a la recolección y separación de envases, trituración, lavado y extrusión del material polimérico. Con este proceso se obtienen hojuelas que mediante la acción del calor se utiliza para obtener nuevas piezas. Así mismo, estas hojuelas se emplean como agregado fino en concretos para disminuir costos en obra.
- **Recuperación Energética.** Aquellos productos y materiales que no pueden ser reciclados de una forma económica y medio ambientalmente viable son generalmente incinerados bajo condiciones controladas para la obtención de energía. (Ramirez D. 2011)

2.2.1.4. PROCESO DE RECICLADO MECÁNICO DE PLÁSTICO PET

El proceso de reciclaje mecánico es fundamentalmente el mismo para los distintos plásticos. Argueta (2006), definió el proceso en los siguientes pasos:

- **Acopio.** Las botellas de PET para reciclado proviene de programas de recolección y de acopiadores ambulantes, éstos contribuyen, a limpiar las calles y a reducir las cantidades de residuos que llegan al relleno sanitario. Idealmente, la separación de desechos se debe hacer por los consumidores, antes del recojo de desechos y una vez separados llevarlos a centros de acopio, a falta de una recolección diferenciada, el papel de los recolectores es fundamental.
- **Compactado.** El material se compacta para reducir su volumen y así facilitar su transporte y almacenamiento. Generalmente las dimensiones de estos bloques o pacas de PET es de 153 x 130 x 85 cm., donde cada una podría alcanzar un peso de 200 a 600 kg, según el grado de compactación o la eficiencia del prensado. Cuando se realiza el compactado, las pacas deben ser posteriormente abiertas y picadas tal como llegan a la planta, es decir con tapas y etiquetas. Sin embargo, cuando a la planta llegan botellas sueltas, el volumen es mayor, pero la posibilidad de realizar el desetiquetado y destapado permiten obtener un producto más fácil de tratar.
- **Molido.** Se realiza el molido (o picado) para facilitar la separación de los diferentes tipos de polímeros del material (si es que éste ha sido compactado) y la limpieza del material picado. En la reducción de tamaño del PET puede llegarse a obtener hojuelas de media, un cuarto de pulgada o finalmente polvo, según el diseño y el tipo de molino del que se disponga.
- **Separación.** La separación libera al PET de diferentes tipos de materiales, como otros tipos de polímeros, metales, vidrio o papel. Si existiesen familias de polímeros inmiscibles juntas, las unas crearán fases dentro de las otras y durante el procesado puede existir degradación o quemado, éstos perjudicarían el proceso de reciclaje; y si existiesen partículas metálicas afectarían la calidad del producto. La macro separación se hace destapando y desetiquetando la materia prima completa (botellas desechadas) manualmente. La micro separación se hace por una propiedad física específica como el tamaño, peso o densidad. La separación molecular, involucra procesar el plástico por disolución y luego separar los plásticos basados en temperatura. Otra alternativa es tener sistemas de flotación o burbujeo, en las tinajas de flotación vibratorias con bandas transportadoras el PET con una densidad mayor cae al fondo y es recogido por un tornillo sinfín que lo transporta a la siguiente etapa.
- **Limpieza.** Las hojuelas o flakes de PET están generalmente contaminados con comida, papel, piedras, polvo, aceite, solventes y en algunos casos pegamento. De ahí que tienen que ser limpiados en un baño que garantice la eliminación de contaminantes. El uso de

hidrociclones cuando el desecho plástico está muy contaminado es una alternativa, el plástico contaminado es removido al ser ligero ya que flota en la superficie donde es expulsado. Los contaminantes caen al fondo y se descargan. Después del proceso de limpieza, se obtiene hojuelas limpias.

- **Secado.** Este proceso elimina el remanente de humedad del material. Pueden usarse secadores centrifugados o secadores de aire, ya sea caliente o frío, que circula entre el material molido, eliminando la humedad.

El granulado limpio y seco puede ser usado en diferentes industrias.

2.2.1.5. ESTABILIDAD Y CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL PET

Las propiedades físicas de los materiales plásticos dependen de la temperatura; el aumento de la movilidad molecular, por temperatura, conduce a cambios en propiedades como: capacidad de calor, densidad, conductividad térmica, propiedades eléctricas y ópticas, etc.

Generalmente a los poliésteres cuando se les aplica temperaturas mayores a los 70 grados centígrados van perdiendo sus propiedades, debido a que el calor provoca cambios químicos en la masa plástica, se va produciendo: reacciones de eliminación, despolimerización, descomposición, fragmentación y reacciones en los grupos funcionales.

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) del Tereftalato de Polietileno

Esta técnica permite la caracterización térmica de los materiales; los cambios de calor pueden ser debido a transiciones de fase o a transformaciones físico-químicas, se registran como picos: un pico en dirección positiva de flujo de calor aparecerá en procesos endotérmicos y un pico en dirección opuesta indica procesos exotérmicos.

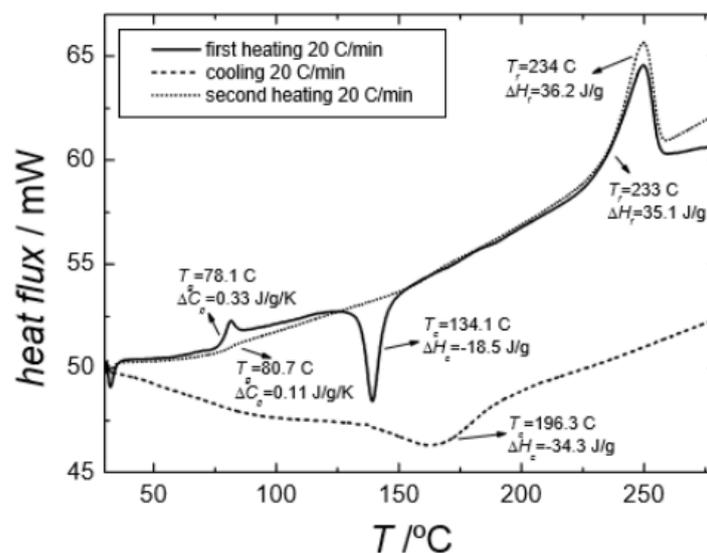


Figura 1. Diagrama DSC del PET.

El primer pico endotérmico corresponde a la temperatura de transición vítrea (80°C), el segundo pico exotérmico, corresponde a la temperatura de cristalización en frío por procesos de enfriamiento (134.1°C) y el último pico endotérmico corresponde a la temperatura de fusión, características de zonas cristalinas (234°C). (Mano, 2003)

Degradación Térmica del Tereftalato de Polietileno

La degradación del PET en la naturaleza ocurre principalmente mediante fotodegradación, la acción de los rayos Ultravioleta rompe los enlaces del polímero y con el tiempo una pieza de plástico se transforma en multitud de piezas más pequeñas. Este proceso es tan lento que una botella de plástico tarda en descomponerse una media de 450 años (Elias y Jurado, 2012)

- Pirolisis

La pirolisis consiste en la descomposición físico-química de la materia bajo la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante. En el sentido más estricto del proceso de pirolisis debe realizarse en ausencia de oxígeno. Sin embargo, actualmente se utiliza el término en un sentido más amplio, para describir los cambios químicos provocados por la acción del calor, incluso con aire u otros aditivos.

Dzieciol y Trzeczynski (1998), y Dzieciol y Baran (2001) empleando un reactor horizontal de laboratorio estudiaron la degradación térmica del PET, en atmósfera de nitrógeno y aire, variando la temperatura entre 200 y 700 °C. Identificaron alrededor de 30 compuestos distintos, a la temperatura máxima los principales productos obtenidos fueron: dióxido y monóxido de carbono, ácido tereftálico, ácido benzoico, acetaldehído, hidrocarburos alifáticos de 1 a 4 carbonos y benceno.

Dzieciol y Trzeczynski (2000) realizaron la pirolisis de PET, empleando un horno horizontal de laboratorio y variando la temperatura entre 300 y 700 °C, obtuvieron un rendimiento máximo para los óxidos de carbono, hidrocarburos aromáticos y alifáticos a la temperatura de 600 °C.

Williams y Williams (1999) llevaron a cabo la pirolisis de PET en un reactor a 700°C, el gas obtenido estaba formado principalmente por CO y CO₂, debido al elevado contenido de oxígeno en el material de partida.

Gases Liberados en la Combustión de los Plásticos

Gann y Bryner (2008) describen algunos gases que en mayor o menor grado se puede producir cuando se quema materiales de plástico:

- Dióxido de Carbono (CO₂). En fuegos bien ventilados casi todo el carbono perdido por lo materiales combustibles se convierte en CO₂. En caso de inhalación puede causar asfixia, hiperventilación.
- Monóxido de Carbono (CO). Formado por la combustión incompleta de los materiales. Al ingresar al organismo reacciona con la hemoglobina de la sangre para formar carboxihemoglobina la cual impide que el oxígeno llegue a los tejidos, por lo tanto, la persona sufre dolor de cabeza, náuseas, o muerte por falta de oxígeno.
- Cianuro de Hidrógeno (HCN). Es altamente peligroso, su toxicidad se debe a que inhibe la respiración celular, su capacidad de envenenamiento en un incendio es superior al Monóxido de Carbono.
- Metano (CH₄). Liberado en la combustión de Polipropileno. Es asfixiante y puede desplazar el oxígeno en un ambiente cerrado por lo que produce asfixia por falta de oxígeno.
- Benceno (C₆H₆). Liberado en la combustión del Poliestireno. Respirar niveles de benceno muy altos puede causar la muerte, mientras que niveles bajos pueden causar somnolencia, mareo y aceleración del latido del corazón o taquicardia.
- Estireno. Liberado en la combustión del Poliestireno. Los efectos más comunes de inhalar estireno son alteraciones de la visión de color, cansancio, sensación de embriaguez, reacciones lentas, problemas de concentración y del equilibrio.

En muchos casos los efectos no son percibidos en exposiciones cortas, sin embargo, algunas sustancias tienen efectos acumulativos en el organismo que poco a poco va dañando a la persona, sobre todo si la población tiene la costumbre de quemar la basura, actividad que también va generar los gases las sustancias descritas y otras más.

Gran cantidad de sustancias emitidas en la combustión de los plásticos son, aunque molestas, inofensivas para el hombre, sino alcanzan una alta concentración ambiental. Otras pueden generar un efecto negativo sobre el organismo y dependerá de la sustancia, la concentración y el tiempo de exposición.

2.2.2. LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO CON PLÁSTICO PET RECICLADO

Los ladrillos PET definidos, por Chávez (2014), como unidades de albañilería hechas con envases de PET y otros desechos plásticos. Estos ladrillos pueden contener cemento, agregados pétreos o arena. O simplemente ser de plástico. Por lo general están hechos de material reciclado. Los ladrillos PET se caracterizan por tener un peso específico bajo con relación a ladrillos tradicionales.

Las unidades de estudio de esta investigación son ladrillos de concreto vibrado con reemplazo porcentual de agregados por hojuelas de plástico PET reciclados y fueron sometidos a los ensayos principales que se realizan a las unidades de albañilería de acuerdo a la norma E 070, por no existir un reglamento específico para ladrillos de concreto con contenido de PET.

2.2.2.1. LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO

A inicios del siglo XIX en Inglaterra se origina uno de los grandes avances en el campo de la construcción, la fabricación del ladrillo de concreto. Estos ladrillos eran sólidos sumamente pesados en los que se utilizaba la cal como material cementante. La introducción del cemento Portland y su uso intensivo, abrió nuevos horizontes a este sector de la industria. A principios del siglo XX aparecieron los primeros ladrillos huecos para muros; la ligereza de estos nuevos ladrillos significa, por sus múltiples ventajas, un gran adelanto para el área de la construcción en relación a etapas anteriores. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

Las primeras máquinas que se utilizan en la entonces incipiente industria se limita a simples moldes metálicos, en los cuales se compacta la mezcla manualmente; este método de producción se siguió utilizando hasta los años veinte, época en que aparecieron máquinas con martillos accionados mecánicamente; más tarde se descubrió la conveniencia de la compactación lograda basándose en vibración y compresión; actualmente, las más modernas y eficientes máquinas para la elaboración de ladrillos de concreto utilizan el sistema de vibro compactación. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

En el Perú la primera planta de ladrillos de concreto inició su producción en 1928 y sus productos se utilizaron en la construcción del primer barrio obrero del Callao. Posteriormente se instalaron en Lima dos fábricas más, una de ellas de ubicó en la antigua chancadora del Puente del Ejército y la otra, en el Jr. Tingo María, Breña. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

Actualmente en la fabricación de ladrillos de concreto se viene utilizando grandes máquinas vibradoras, sin embargo, la disponibilidad de este tipo de equipos en muchas zonas rurales es prácticamente nulas, obligando a recurrir a la vibración manual; por tal motivo, la propuesta de utilizar mesas vibradoras pequeñas resulta una alternativa constructiva que hace viable la albañilería con ladrillos de concreto. (Arrieta y Peñaherrera, 2001)

La calidad de los ladrillos depende de cada etapa del proceso de fabricación, fundamentalmente de la cuidadosa selección de los agregados, la correcta determinación de la dosificación, una perfecta elaboración en lo referente al mezclado, moldeo y compactación, y de un adecuado curado. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

2.2.2.1.1.UTILIZACIÓN DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO

Para la confección del ladrillo de concreto sólo se requiere materiales usuales, como son: piedra partida, arena, cemento y agua; un equipo de vibrado y moldes metálicos correspondientes; siendo posible su elaboración en obra, evitando así el problema de transporte de unidades fabricadas, lo cual representa aspectos favorables para la autoconstrucción. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

Los ladrillos de concreto, que son elementos modulares y pre moldeados, están dentro de la categoría de mampuestos que en obra se manipulan a mano, y son especialmente diseñados para la albañilería confinada y armada. Los ladrillos de concreto se emplean en la construcción de muros para viviendas (exteriores e interiores), parapetos, muros de contención, sobrecimientos, etc. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

La albañilería confinada con ladrillos de concreto, de manera similar que cuando se utiliza ladrillo cerámico, requiere de vigas y columnas de confinamiento. En el caso de la albañilería armada con ladrillos de concreto, se requiere de acero de refuerzo vertical regularmente distribuido, a lo largo del muro, en los alvéolos de las unidades; por su parte, el acero de refuerzo horizontal, cuando es necesario, se aloja en las juntas pudiendo, los ladrillos, presentar o no detalles para su colocación. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

La transmisión de calor a través de los muros es un problema que se presenta en las zonas cálidas y en las frías, siendo así más conveniente el empleo de cavidades con aire en el interior de los muros permitiendo que se formen ambientes más agradables. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

2.2.2.1.2.TECNOLOGÍA DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO

Arrieta y Peñaherrera (2001), indican que los materiales utilizados para la fabricación de los ladrillos de concreto estarán constituidos por cemento Portland tipo I, por agregados que cumplan con los requisitos para concretos convencionales; se deberá considerar relación a/c mínima a fin de proporcionarles características de durabilidad e impermeabilidad; el equipo necesario para fabricar los ladrillos lo conforman una pequeña mesa vibradora con su respectivo molde metálico.

2.2.2.1.2.1. TEORÍA DE LA VIBRACIÓN

La vibración es el método de asentamiento práctico más eficaz conseguido hasta ahora, dando un concreto de características bien definidas como son la resistencia mecánica, compacidad y un buen acabado. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

La vibración consiste en someter al concreto a una serie de sacudidas y con una frecuencia elevada. Bajo este efecto, la masa de concreto que se halla en un estado más o menos suelto según su consistencia, entra a un proceso de acomodo y se va asentando uniforme y gradualmente, reduciendo notablemente el aire atrapado. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

La duración de la vibración influye determinantemente en la compacidad del elemento. Un inconveniente que se encuentra a menudo en el campo de la vibración, es el efecto de pared, fenómeno que tiene lugar en aquellas piezas de paredes altas y espesor reducido. Aunque se haya calculado un vibrador que responda a la masa total a vibrar, el asentamiento no será completo si tiene lugar tal fenómeno. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

Los concretos de consistencia seca (asentamientos entre 0" a 1") son los que dan mayor resistencia, pero su aplicación en obras resulta muy difícil por su poca trabajabilidad, la vibración permite el empleo de estas mezclas (Arrieta y Peñaherrera 2001)

2.2.2.1.3.PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA VIBRACIÓN

La vibración queda determinada por su frecuencia e intensidad. Frecuencia es el número de impulsiones o pequeños golpes a que se somete el concreto en un minuto. Amplitud es el máximo desplazamiento de la superficie vibrante entre dos impulsiones. La vibración puede ser de baja frecuencia, con valores usuales de 3000 vibraciones/minuto, o de alta frecuencia, con valores iguales o superiores 6000 vibraciones/minuto. Con este último se logra una mejor compactación: vibración de baja frecuencia obliga el empleo de mezclas con una mayor relación a/c. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

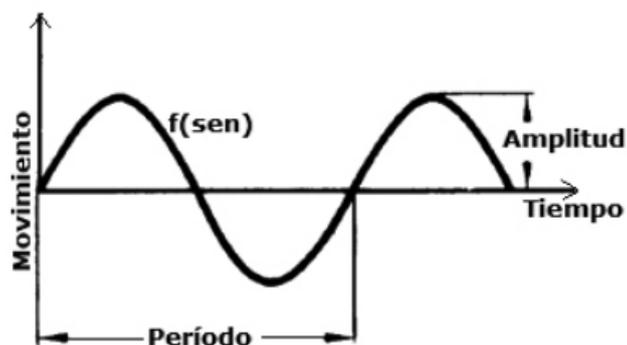


Figura 2. Movimiento sinusoidal vibracional.

La mayoría de los vibradores de concreto operan con una amplitud oscilante entre 0.5 mm y 2.0 mm. La Frecuencia (f) se describe generalmente por el número de vibraciones por unidad de tiempo. 1 Hertz (Hz) = 1 vibración por segundo = 60 vibraciones por minuto. (Vidau y Vidau, 2015)

El ACI 309R-96 (1998) recomienda como método de compactación para productos prefabricados una vibración de baja frecuencia y gran amplitud, más presión.

SENCICO (2007), por su parte, recomienda frecuencias de compactación comprendidas entre 1500 y 5000 vibraciones por minuto.

Un factor de considerable importancia es el tiempo que dura el proceso de vibración. Este tiempo depende, entre los factores más importantes, de la frecuencia de vibración, de la calidad del agregado, de la riqueza en cemento de la mezcla; al aumentar la frecuencia disminuye el tiempo de vibrado, sin embargo, la vibración muy enérgica y prolongada puede producir efectos desfavorables, la vibración se da por completa cuando la lechada de cemento empieza a fluir a la superficie. (Arrieta y Peñaherrera 2001)

2.2.2.1.4. PROCESO DE LA VIBRACIÓN

El propósito fundamental de la vibración del concreto es reducir al mínimo las perjudiciales oquedades ocupados por aire, en la mezcla fresca, por lo que, al vibrar el material se somete a las partículas sólidas a un movimiento que permite la ascensión del aire hasta su eliminación por la superficie superior del elemento, sin que se produzca segregación.

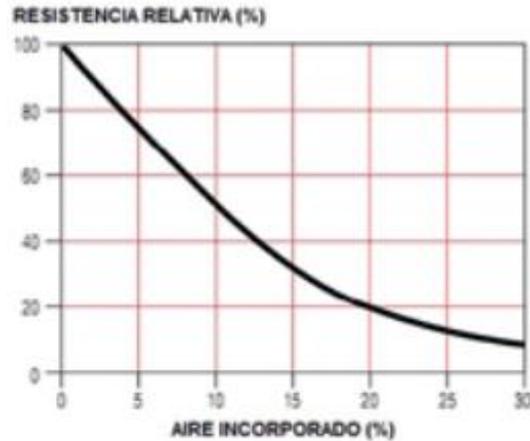


Figura 3. Pérdida de resistencia por compactación deficiente

El principal agente que se opone a la compactación es la fricción; fenómeno que se presenta entre las partículas que componen el concreto, y entre el concreto y el molde o encofrado.

La vibración consiste en someter a la mezcla fresca de concreto a impulsos vibratorios rápidos de 90 Hz de frecuencia o mayores, los que inciden en la mezcla reduciendo bruscamente la fricción interna entre las múltiples superficies de contacto de las partículas de agregados. Bajo la acción de estos impulsos, el concreto fresco fluye como un líquido espeso y se extiende dentro de los moldes, mientras el exceso de aire escapa rápidamente a la superficie en forma de burbujas. Una vez que cesa la vibración se restablece la fricción interna entre las partículas de la mezcla. (Vidau y Vidau, 2015)

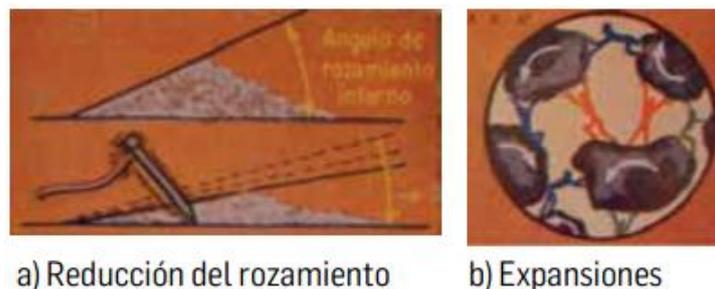


Figura 4. Disminución del rozamiento interno en presencia de la vibración.

Las partículas vibran y se presionan unas a otras, cuya resultante es una presión que se traduce en expansiones actuando en todas direcciones (Figura 4); oponiéndose a la presión exterior, peso propio y cohesión para mantener los granos separados por cortos intervalos de tiempo en que suelen girar, desplazarse y apretarse. En otras palabras, el vibrador crea una presión capaz de separar las partículas de agregados; reduciendo la fricción entre ellas. (Vidau y Vidau, 2015)

El efecto del vibrado se presenta en dos etapas fundamentales, que se dan simultáneamente; produciéndose la segunda etapa en la zona cercana del vibrador, antes de que la primera etapa se haya completado en las zonas más alejadas de éste. En la primera etapa se eliminan las oquedades y se llenan de mortero los grandes vacíos entre los agregados gruesos; sin embargo, la mezcla aún contiene muchas burbujas de aire atrapado, con diámetro que puede llegar hasta los 15 mm y en cantidad de hasta 5% del volumen total de concreto. En la segunda etapa comienza a producirse el ascenso de estas burbujas a la superficie del concreto. Como el concreto “se licua”, de inmediato comienza la pérdida de aire; en la que la mayor parte del aire atrapado se libera. (Vidau y Vidau, 2015)

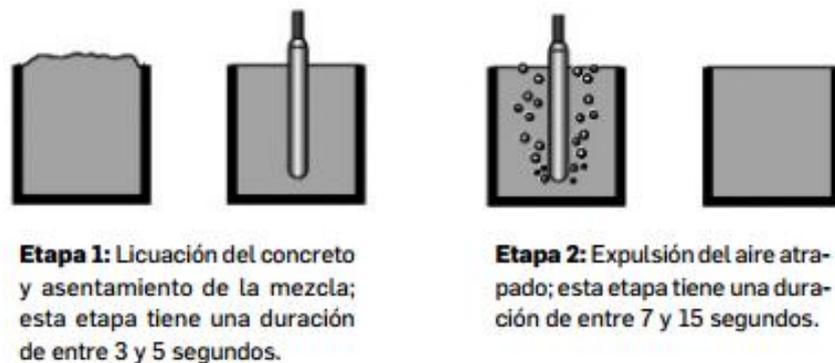


Figura 5. Proceso de compactación por vibrador.

Diversas fuentes afirman que, para que el vibrado propicie las mayores ventajas, la consistencia del concreto debe ser seca o ligeramente plástica. Si la plasticidad es excesiva, el vibrado no produce efectos apreciables de consolidación y, en vez de mejorar la calidad del material, puede producir segregación. Otro aspecto clave tiene que ver con la duración e intensidad del vibrado. Para cada tipo de mezcla, existe un período óptimo de vibración, el que proporciona la máxima resistencia del concreto. Superar este período no produciría grandes cambios; pues no se aumentará la resistencia y en cambio sí podría presentarse la segregación de la mezcla. Cuanto menor es el contenido de agua, o cuanto más baja es la relación a/c, con igual contenido de cemento, mayor es el trabajo y el tiempo que requiere su consolidación. (Vidau y Vidau, 2015)

La duración e intensidad del vibrado serán suficientes para producir la completa consolidación de la mezcla, sin llegar a segregarse. El vibrado podrá ser concluido cuando cese la reducción del volumen de concreto y el desprendimiento de burbujas. En este momento, no debe verse en la superficie más que un pequeño exceso de mortero que recubre ligeramente el agregado grueso, señal indicativa de que las oquedades han sido llenadas. (Vidau y Vidau, 2015)

2.2.2.1.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO VIBRADO

Arrieta y Peñaherrera (2001). Detallan en su investigación que el concreto vibrado cuenta con las siguientes propiedades:

Compacidad. Al amasar un concreto se emplea una cantidad de agua superior a la que el cemento necesita para su perfecta hidratación y que es muy inferior al volumen de agua empleado normalmente en el amasado. Absorbida el agua de combinación por el cemento, la cantidad restante, y que se añade exclusivamente para dar trabajabilidad al concreto, tiende a evaporarse, dejando de ese modo una gran cantidad de poros, resultando un concreto con una compacidad más o menos acusada, según sea la cantidad de agua evaporada. Esta situación trae como exigencia la necesidad de reducir en lo posible la cantidad de agua de amasado con el fin de conseguir un concreto de gran compacidad.

Impermeabilidad. Ésta propiedad está en función de su compacidad. La granulometría juega un papel muy importante en la impermeabilidad. Con una granulometría continua y un elevado dosaje de cemento, completados por una enérgica vibración, se obtiene un concreto altamente impermeable. La absorción de humedad del concreto vibrado es aproximadamente la mitad de la correspondiente al concreto ordinario.

Resistencia mecánica. Es el factor más importante dentro de las propiedades del concreto. La resistencia del concreto aumenta considerablemente si se aplica una vibración intensa.

Resistencia a la abrasión y congelamiento. La resistencia del concreto vibrado a las acciones extremas se deriva de su propia compacidad; la resistencia al desgaste es mayor. Otra ventaja es su resistencia a las heladas por tener menos agua de amasado y ser más compacto.

Desmolde rápido. En la fabricación de elementos prefabricados de concreto vibrado puede conseguir un desmolde inmediato si el concreto es de granulometría adecuada y se ha amasado con poca agua. Si al efectuar esta operación la pieza se rompe, se puede afirmar que la causa se encuentra en un exceso de agua o de material fino. La rotura puede sobrevenir también al no estar suficientemente consolidado el concreto, es decir, la vibración ha sido de poca duración.

2.2.2.2. DISEÑO DE MEZCLAS DE LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO

Lo peculiar de la fabricación de unidades de concreto es que las mezclas pueden ser dosificadas para producir unidades de resistencia variables dentro del mismo tipo de unidad. Las unidades de concreto se hacen casi exclusivamente de cemento portland, agregados graduados y agua. Dependiendo de los requisitos específicos, las mezclas pueden contener también otros ingredientes, tales como pigmentos y agregados especiales. Se fabrican de peso normal y de peso liviano, que derivan de la densidad de los agregados utilizados en el proceso de manufactura, Gallegos y Casabonne (2005).

Actualmente no existe un método específico de dosificación para ladrillos de concreto vibrado, los métodos que se utilizan para el diseño de concretos convencionales no son apropiados. Sin embargo, SENCICO (2007), considera que la dosificación depende esencialmente de dos condiciones: la resistencia final requerida y las propiedades particulares de los agregados y su comportamiento en la mezcla. además, sugiere una dosificación óptima para los agregados de Lima 1:5:2 (cemento: arena: confitillo), por cada unidad de volumen de cemento añadir 4/8 de volumen de agua; dosificación a la que se ha llegado producto de sucesivas comprobaciones mediante ensayos de laboratorio. El tamaño máximo del agregado grueso tendrá dimensiones inferiores al tercio del espesor de las paredes de la unidad de albañilería. Se debe tener presente que la dosificación señalada es de carácter práctico y debe ser corroborada o modificada por personal especializado.

Asimismo, Arrieta y Peñaherrera (2001), a partir de bibliografía y experiencias pasadas, se plantearon el estudio de tres dosificaciones el volumen:

- 1 de cemento: 4 de arena gruesa: 2 de confitillo
- 1 de cemento: 5 de arena gruesa: 2 de confitillo
- 1 de cemento: 5 de arena gruesa: 3 de confitillo

Para la dosificación del agua se partió de una relación en volumen 1:1, para luego ir agregando más agua hasta obtener una superficie húmeda para facilitar el proceso de desmolde; no siempre con la misma cantidad de agua se obtiene la misma textura.

Los resultados obtenidos, usando cemento Portland tipo I y agregados de tres canteras distintas ubicadas en Lima, muestran que el diseño óptimo es 1:7.

2.2.2.3. FLUJOGRAMA DE PRODUCCIÓN DE LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO

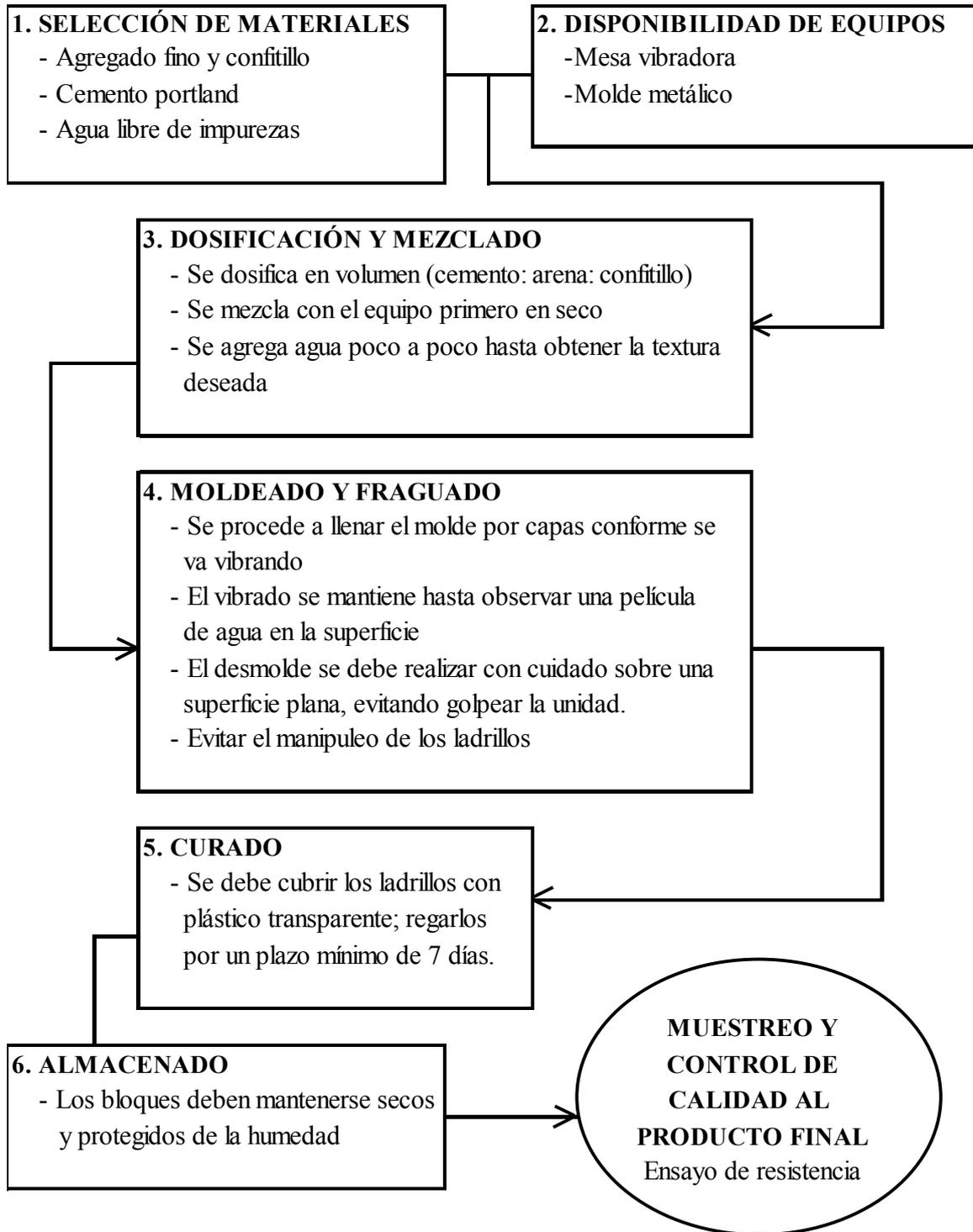


Figura 6. Flujoograma de producción

Fuente: Adaptado de Arrieta y Peñaherrera, 2001.

2.2.2.4. UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

Se denomina ladrillo a la 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. (E.070, 2006)

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. (E.070, 2006)

Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial. (E.070, 2006)

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. (E.070, 2006)

A. CLASIFICACIÓN PARA FINES ESTRUCTURALES

Para efectos de diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Clase de Unidad de Albañilería para Fines Estructurales

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f _b mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)
Bloque P (1)	± 4	± 3	± 2	4	4.9 (50)
Bloque NP (2)	± 7	± 6	± 4	8	2.0 (50)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Fuente: Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070:2006.

Las cinco clases de ladrillos de la tabla anterior son descritas por San Bartolomé (1994), de la siguiente manera:

Tipo I. Estos ladrillos tienen una resistencia y durabilidad muy baja; son aptos para ser empleados bajo condiciones de exigencias mínimas (viviendas de 1 o 2 pisos), evitando el contacto directo con la lluvia o el suelo.

Tipo II. En esta categoría clasifican los ladrillos de baja resistencia y durabilidad; son aptos para usarse bajo condiciones de servicio moderadas (no deben estar en contacto directo con la lluvia, suelo o agua).

Tipo III. Son ladrillos de mediana resistencia y durabilidad, aptos para emplearse en construcciones expuestas bajo condiciones de intemperismo.

Tipo IV. Estos ladrillos son de alta resistencia y durabilidad; aptos para ser utilizados bajo condiciones de servicio rigurosas. Pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo moderado, en contacto con lluvias intensas, suelo y agua.

Tipo V. Tienen una resistencia y durabilidad elevada; son aptos para emplearse en condiciones de servicio muy rigurosas, pueden estar sujetos a condiciones de intemperismo similares al Tipo IV.

B. LIMITACIONES EN SU APLICACIÓN

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 3. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería.

LIMITACIONES EN EL USO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES			
TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a mas	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal*	No	Si, hasta 2 pisos	Si
Sólido Industrial	Si	Si	Si
Alveolar	Si	Si	Si
	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta dos pisos

*Las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

Fuente: Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070:2006.

C. PRUEBAS

De acuerdo a lo especificado en la norma de albañilería E.070: 2006, los ladrillos serán sometidos a las siguientes pruebas:

- **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.** Se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en la Norma NTP 399.604:2002. La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra y debe ser mayor al límite inferior especificado por dicha Norma.
- **Variación Dimensional.** Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.604: 2002.
- **Alabeo.** Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la Norma NTP 399.604: 2002. El mayor alabeo del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta, disminución de la adherencia con el mortero y puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad.
- **Absorción.** Los ensayos de absorción se hacen de acuerdo a lo indicado en la Norma NTP 399.604: 2002. Se aconseja que la absorción no sobrepase de 22% y una succión comprendida entre 10 y 20 gr/200 cm²-min, antes de asentarlas.

D. ACEPTACIÓN DE LA UNIDAD

De acuerdo a lo estipulado en la norma de albañilería E.070: 2006, para la aceptación de la unidad se tendrá en cuenta lo siguiente:

- 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.

- La absorción de las unidades de arcilla y sílice calcáreas no será mayor que 22%. El bloque de concreto clase P, tendrá una absorción no mayor que 12% de absorción. La absorción del bloque de concreto NP, no será mayor que 15%.
- 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.
- La unidad de albañilería no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea.
- 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.
- La unidad de albañilería no tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras, grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad o resistencia.
- La unidad de albañilería no tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo.

2.2.2.5. MORTERO

La norma E 070 refiere que 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.

La Norma E-070 especifica las proporciones volumétricas de la mezcla, clasificándola con las siglas P para su empleo en muros portantes y NP para los muros no portantes.

Tabla 4. Proporción para morteros según Norma E-070

TIPOS DE MORTERO				
COMPONENTES				USOS
TIPO	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros Portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros no Portantes

Fuente: Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070:2006.

2.2.2.6. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

La norma E 070 establece que la resistencia de la albañilería a compresión axial (f'_m) y a corte (v'_m) se determinará de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos de prismas, de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre, según se indica en la siguiente tabla:

Tabla 5. Métodos para determinar f'_m y v'_m .

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA	EDIFICIOS DE 1 A 2 PISOS			EDIFICIOS DE 3 A 5 PISOS			EDIFICIOS DE MAS DE 5 PISOS		
	Zona Sísmica			Zona Sísmica			Zona Sísmica		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1
f'_m	A	A	A	B	B	A	B	B	B
v'_m	A	A	A	B	A	A	B	B	A

A:Obtenida de manera empírica conociendo la calidad del ladrillo y del mortero.
B:Determinadas de los ensayos de compresión axial de pilas y de compresión diagonal de muretes mediante ensayos de laboratorio de acuerdo a lo indicado en las NTP 399.605 y 399.621.

Fuente: Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070:2006.

Cuando se construyan conjuntos de edificios, la resistencia de la albañilería (f'_m) y (v'_m) deberá comprobarse mediante ensayos de laboratorio previos a la obra y durante la obra. Los ensayos previos a la obra se harán sobre cinco especímenes. Durante la construcción la resistencia será comprobada mediante ensayos con los criterios siguientes:

- Cuando se construyan conjuntos de hasta dos pisos en las zonas sísmicas 3 y 2, f'_m será verificado con ensayos de tres pilas por cada 500 m² de área techada y v'_m con tres muretes por cada 1000 m² de área techada.
- Cuando se construyan conjuntos de tres o más pisos en las zonas sísmicas 3 y 2, f'_m será verificado con ensayos de tres pilas por cada 500 m² de área techada y v'_m con tres muretes por cada 500 m² de área techada.

Los prismas serán elaborados en obra, utilizando el mismo contenido de humedad de las unidades de albañilería, la misma consistencia del mortero, el mismo espesor de juntas y la misma calidad de la mano de obra que se empleará en la construcción definitiva. (E.070, 2006)

Cuando se trate de albañilería con unidades alveolares que irán llenas con concreto líquido, los alvéolos de las unidades de los prismas y muretes se llenarán con concreto líquido.

Cuando se trate de albañilería con unidades alveolares sin relleno, los alvéolos de las unidades de los prismas y muretes quedarán vacíos. (E.070, 2006)

Los prismas tendrán un refrendado de cemento-yeso con un espesor que permita corregir la irregularidad superficial de la albañilería. (E.070, 2006)

Los prismas serán almacenados a una temperatura no menor de 10°C durante 28 días. Los prismas podrán ensayarse a menor edad que la nominal de 28 días, pero no menor de 14 días; en este caso, la resistencia característica se obtendrá incrementándola por los factores mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 6. Incremento de f'_m y v'_m por edad

Edad		14 días	21 días
Muretes	Ladrillos de arcilla	1.15	1.05
	Bloques de concreto	1.25	1.05
Pilas	Ladrillos de arcilla y Bloques de concreto	1.10	1.00

Fuente: Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070:2006.

A. COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS DE ALBAÑILERÍA.

Según la norma NTP 399.605:2013, el espécimen para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería está estandarizado, y consiste en un prisma de unidades asentadas una sobre otra. La esbeltez y la altura mínima de los prismas de ladrillos la relación alto – ancho del prisma estará entre 2 y 5, y el alto no será menor de 30cm.

El valor f'_m se obtiene contemplando los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma que aparece en la Tabla 7.

Tabla 7. Factores de corrección f'_m por esbeltez

Factores de corrección f'_m por esbeltez							
Esbeltez	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5
Factor	0.75	0.86	1	1.04	1.07	1.15	1.22

Fuente: Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070:2006.

Mecanismos de falla en compresión axial.

Gallegos y Casabonne (2005), observaron varias características en los ensayos de prismas de ladrillos en compresión:

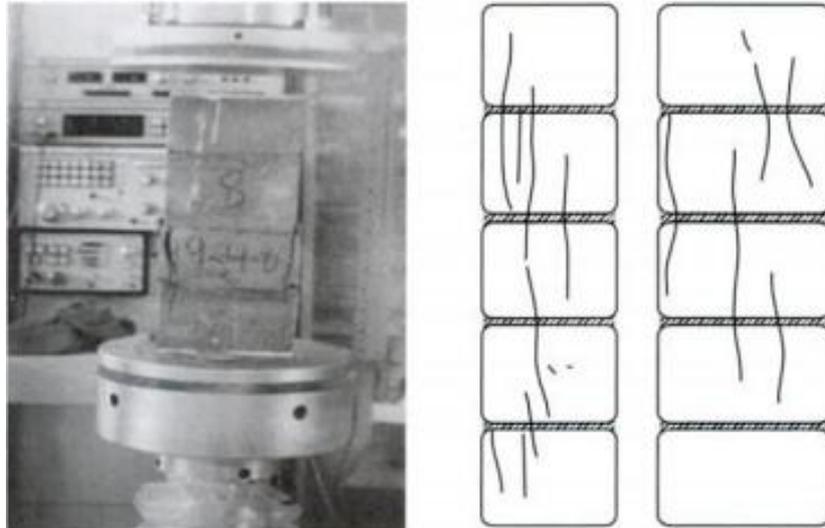


Figura 7. Aspecto de prismas ensayados a rotura por compresión. Izq. De ladrillos de concreto. Der. Esquema de agrietamiento típico.

Fuente: Tomado de Gallegos y Casabonne, 2005.

- a. A partir de aprox. 70% de la carga última comienzan a aparecer grietas verticales en los ladrillos. Las primeras se ubican alejadas de los efectos restrictivos del cabezal de carga y hacia el centro del prisma, y van acompañadas de ruidos crujientes.
- b. La carga máxima, última, ocurre cuando el avance y multiplicación de estas grietas verticales son sustantivos.
- c. El esfuerzo y la deformación unitaria en rotura del prisma corresponden a valores intermedios de los que corresponden al ladrillo y al mortero que conforman el prisma.

Estos hechos llevan a deducir que el agrietamiento vertical de los ladrillos está relacionado con la deformación lateral del mortero. En la albañilería que analizamos, es usual que los ladrillos sean más resistentes y rígidos que el mortero. (Gallegos y Casabonne, 2005)

Influencias en la resistencia a compresión axial.

- Resistencia del ladrillo

La resistencia del prisma aumenta con la resistencia del ladrillo. Sin embargo, la relación no es directa; depende, de la forma de la envolvente de falla del ladrillo. La mejor relación parece ser con la raíz cuadrada de la resistencia del ladrillo en compresión, de modo tal que la duplicación de este valor solo conduce a un aumento del 40% en la resistencia del prisma. El punto de partida para una estimación general de la resistencia del prisma en el siguiente: para ladrillos de arcilla de resistencia (f'_b) 10 a 20 MPa, la resistencia del prisma – con mortero tipo B – es del orden de 60% de ese valor; para ladrillos de sílice-cal 70%, y para ladrillos de concreto 80%. (Gallegos y Casabonne, 2005)

- Altura del ladrillo

La resistencia del prisma aumenta con el incremento de la altura del ladrillo, al haber más sección transversal de este para confinar la misma cantidad de mortero. Sin embargo, dado que los ladrillos del mismo material dan menos resistencia a la compresión, como consecuencia de la menor restricción del cabezal conforme aumenta su altura, el efecto tampoco es directo. Algunos ensayos han mostrado que, duplicando la altura del ladrillo, para la misma materia prima, se reduce la resistencia de este en alrededor de 35% y se aumenta la resistencia del prisma en alrededor de 20%. (Gallegos y Casabonne, 2005)

- Tipo de ladrillo

La falla del ladrillo ocurre por tracción transversal. Por lo tanto, aquellos que tienen huecos o perforaciones importantes sufren severas concentraciones de esfuerzos transversales, que reducen la resistencia y conducen a fallas frágiles. (Gallegos y Casabonne, 2005)

- Tipo de mortero

Los morteros de más resistencia a la compresión producen prismas de más resistencia con los mismos ladrillos. En la siguiente tabla se muestra el efecto de los diferentes tipos de mortero en la resistencia del prisma. (Gallegos y Casabonne, 2005)

Tabla 8. Efecto del tipo de mortero en la resistencia del prisma

Mortero Tipo	Proporciones	Relación de resistencia del:	
		Mortero	Prisma
A	1:1/4:3	2,00	1,06
B	1:1/2:4 ½	1,00	1,00
C	01:01:06	0,50	0,85
D	01:02:09	0,25	0,62

Fuente: Tomado de Gallegos y Casabonne, 2005.

- Edad del prisma al momento del ensayo

La única modificación de naturaleza resistente que sufre el prisma con el transcurso del tiempo es el aumento de la resistencia del mortero como consecuencia del proceso de hidratación del cemento. El efecto en la resistencia del prisma es equivalente al aumento de resistencia del mortero. (Gallegos y Casabonne, 2005)

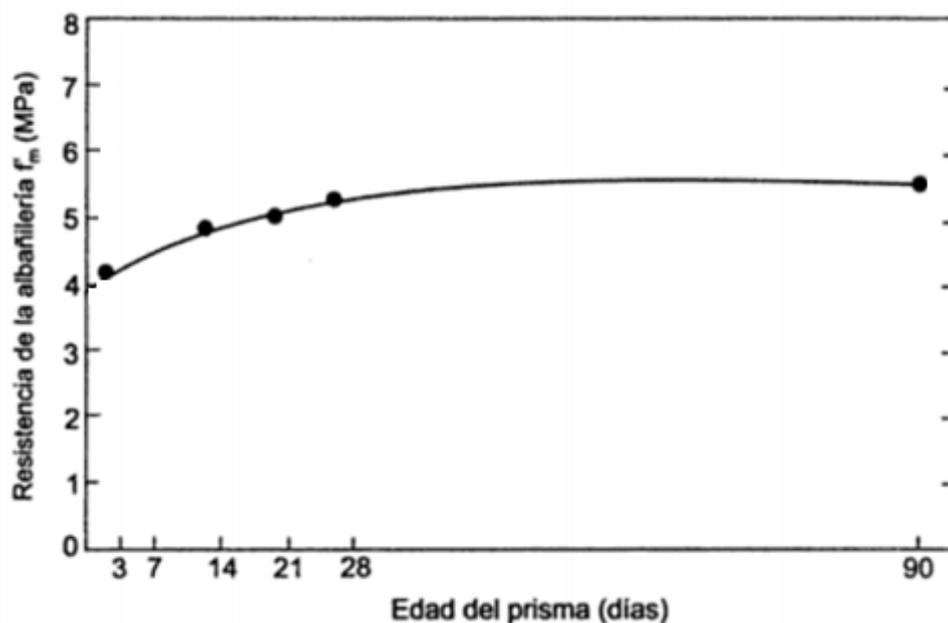


Figura 8. Resistencia de prismas de albañilería (f'_m) vs. Edad del espécimen

Fuente: Tomado de Gallegos y Casabonne, 2005.

- Espesor de la junta del mortero

El esfuerzo de confinamiento en el ladrillo aumenta con la cantidad de mortero que este debe confinar. Consecuentemente, el aumento del espesor de la junta de mortero produce reducciones en la resistencia del prisma. En la tabla 9 se indican las relaciones de resistencia del prisma para diferentes espesores de junta, y en la figura 9 se muestra el efecto de la relación entre la altura del ladrillo y el espesor de la junta en la resistencia del prisma con relación a la resistencia de la unidad. (Gallegos y Casabonne, 2005)

Tabla 9. Efecto del espesor de la junta de mortero en la resistencia del prisma.

Espesor de la junta (mm)	Relación de resistencia del prisma
6	1,15
9	1,00
12	0,84
15	0,70
18	0,50

Fuente: Tomado de Gallegos y Casabonne, 2005.

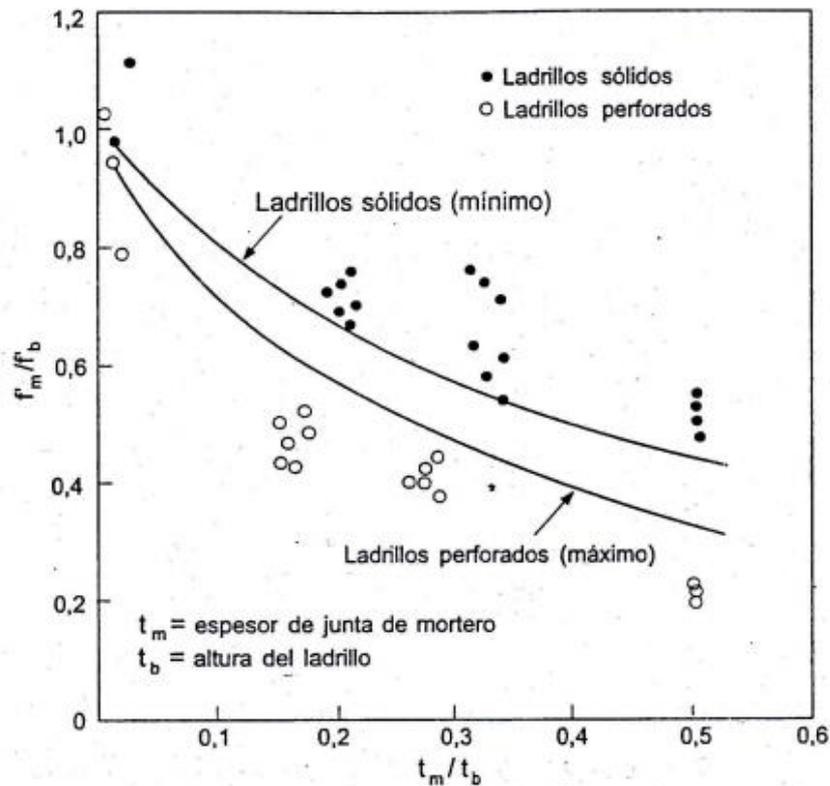


Figura 9. Relación de la resistencia del prisma (f'_m) y del ladrillo (f'_b) para los ladrillos sólidos y perforados vs. Relación de espesor de juntas (t'_m) y altura del ladrillo (t_b).

Fuente: Tomado de Gallegos y Casabonne, 2005.

MÓDULO DE ELASTICIDAD

Según Gallegos H. y Casabonne C. (2005), el conocimiento del gráfico esfuerzo-deformación unitaria en compresión posibilita el módulo de elasticidad. Diferentes experimentos realizados por Turnsek y Cacovic y por Powell y Hodkinson, en pilas ensayadas con aplicación de deformación controlada, han permitido el gráfico normalizado de deformación para albañilería (figura 10).

Donde σ' y ε' son, respectivamente, el esfuerzo y la deformación unitaria en el punto máximo de la curva. El módulo tangente en el inicio (E_{mt}) está dado por la ecuación:

$$E_{mt} = 2 \frac{\sigma'}{\varepsilon'} \quad (01)$$

La determinación del módulo de elasticidad de la albañilería se hace, normalmente, al 50% del valor de la resistencia última, para tener en cuenta el comportamiento no lineal de la materia. En este caso el valor E_m está representado por:

$$E_{mt} = 1.25 \frac{\sigma'}{\varepsilon'} \quad (02)$$

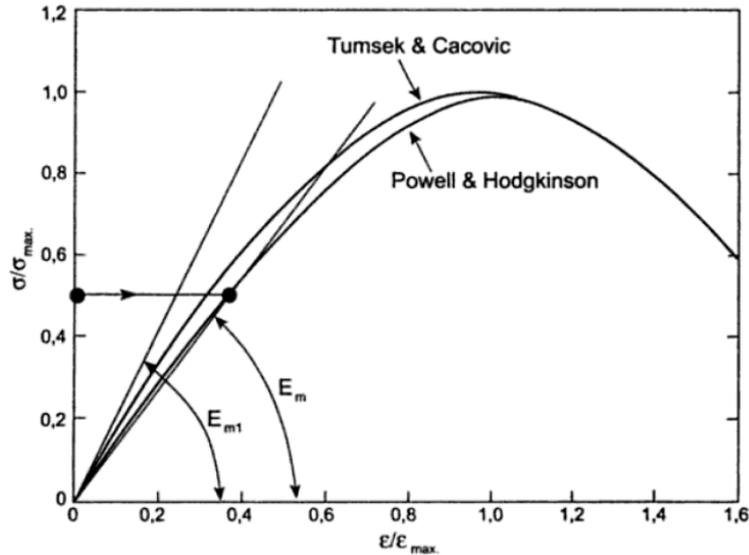


Figura 10. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de compresión de prismas de albañilería.

Fuente: Tomado de Gallegos y Casabonne, 2005.

B. TRACCIÓN DIAGONAL O CORTE DE MURETES DE ALBAÑILERÍA.

Este ensayo sirve para determinar la resistencia característica a corte puro v'_m , y se procede según la norma NTP 399.621: 2004. El testigo estándar es un murete cuadrado cuyo lado nominal mide como mínimo 0.60m.

Según la norma E.070, el valor de v'_m para diseño no será mayor de $0.319\sqrt{f'_m} MPa$ ($\sqrt{f'_m} Kg/cm^2$). La resistencia v'_m en muretes se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar.

Modos de falla en tracción diagonal.

El modo de falla del testigo es generalmente por corte o por tracción diagonal. Esto ocurre de manera frágil al producirse la primera grieta. Cuando las unidades son huecas o perforadas, o de muy reducida resistencia, el testigo puede fallar por aplastamiento causado por la compresión diagonal; esta falla puede ser de características explosivas. (Gallegos y Casabonne, 2005)

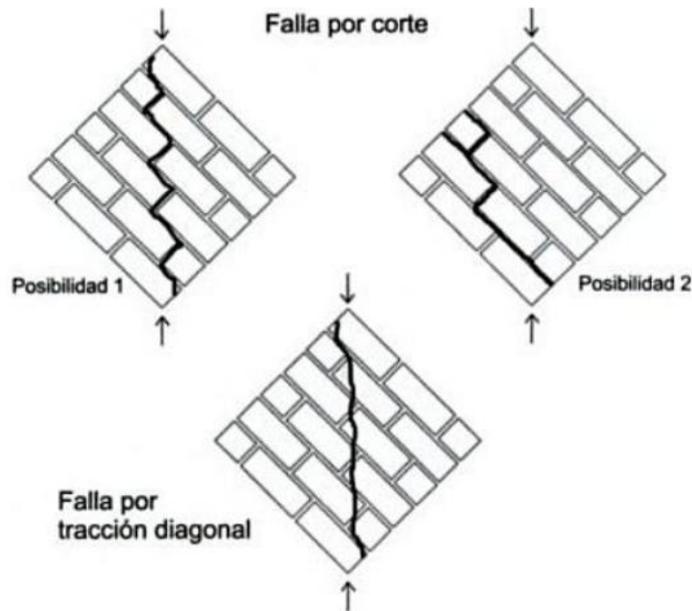


Figura 11. Formas de falla

Fuente: Tomado de Gallegos y Casabonne, 2005.

En general cuando no hay precompresiones o éstas son muy reducidas, la falla tiende a ocurrir siguiendo las juntas horizontales y verticales a un ángulo aproximado de 45° con la hilada. Cuando se aplican precompresiones las grietas pueden atravesar unidades, y el ángulo de falla se hace dependiente de su magnitud. Estos hechos han conducido a establecer que la falla, en este ensayo, ocurre cuando la tracción principal alcanza su valor crítico. (Gallegos y Casabonne, 2005)

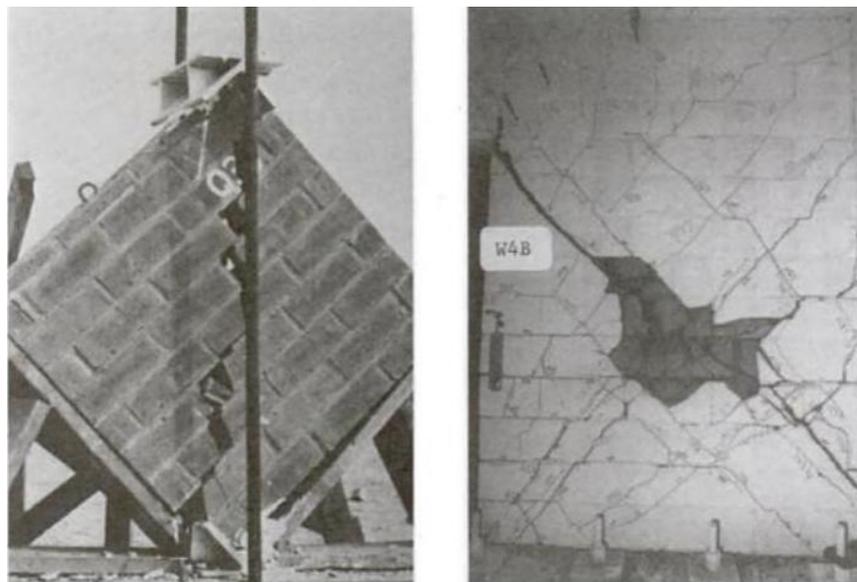


Figura 12. Muros de albañilería simple después del ensayo de corte

Izq. Unidades sólidas: falla en tracción diagonal.

Der. Unidades huecas: falla por compresión diagonal.

Fuente: Tomado de Gallegos y Casabonne, 2005.

Influencias en la resistencia a corte.

- Resistencia a la compresión de la albañilería

Se ha tratado de relacionar el valor de la resistencia al corte ($V'm$) con el valor de la resistencia a la compresión de la albañilería ($f'm$). Incluso algunos reglamentos fijan relaciones entre estas resistencias. En realidad, la relación es más estadística que funcional, ya que como se muestra en la tabla 10, las propiedades o características que afectan a una no afectan a la otra. Más aún, evaluando los ensayos de compresión es posible establecer que la relación puede ser inversa, ya que aquellas condiciones que aumentan la resistencia a la tracción, por ejemplo, la presencia del mortero, disminuyen la resistencia a la compresión. (Gallegos y Casabonne, 2005)

- Adhesión

Es obvio que, para utilizar totalmente la resistencia a la tracción de la unidad de albañilería, la adhesión mortero-unidad debiera ser por lo menos la suficiente para desarrollar el íntegro de la resistencia de la albañilería. En este caso se formaría la grieta de tracción a través de las unidades, dando un valor mayor de cortante que en el caso de la grieta escalonada. Esto solo ocurre con unidades de reducida resistencia. En la práctica, la resistencia al agrietamiento, y, como consecuencia, al corte, está prácticamente controlada por la adhesión cuando las cargas de compresión son reducidas o inexistentes. (Gallegos y Casabonne, 2005)

Tabla 10. Influencias en la resistencia de la albañilería

Componente	Resistencia a:	
	Compresión	Tracción
Unidades de albañilería		
Compresión	●	
Tracción	●	
Uniformidad	●	
Planimetría	●	
Succión		●
Mortero		
Fluidez		●
Retentividad		●
Compresión	●	
Mano de obra		
Temple del mortero		●
Espesor de juntas	●	
Presión de asentado		●

Fuente: Tomado de Gallegos y Casabonne, 2005.

MÓDULO DE CORTE

Gallegos y Casabonne (2005), señalan que el módulo de corte se puede obtener de mediciones efectuadas en el ensayo de corte, de la ecuación:

$$G_m = \frac{V_m}{\varepsilon} \quad (03)$$

Dónde:

V_m : *esfuerzo de corte*

ε : *suma de deformaciones unitarias vertical y horizontal en V_m .*

En ensayos realizados en muros a escala natural sometidos a fuerzas de corte se estableció que G_m aumentada considerablemente con la precompresión, reflejando el comportamiento no lineal de la albañilería. Se pueden obtener valores aproximados de G_m de la relación:

$$G_m = \frac{E_m}{2(1+\nu)} \quad (04)$$

Dónde

ν : *módulo de Poisson*

E_m : *módulo de elasticidad de la albañilería.*

2.2.2.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL LADRILLO CONCRETO – PET.

VENTAJAS

- La geometría de éste permite una mayor adhesión ladrillo-mortero para conseguir una albañilería de comportamiento monolítico.
- Las perforaciones del ladrillo le proveen a la albañilería aislamiento térmico y acústico y se pueden aprovechar para la inclusión de conductos de agua y electricidad.
- La clasificación del ladrillo concreto PET permite su uso estructural en muros portantes.
- El uso del material PET reciclado en una construcción, evita que su disposición final sea rellenos sanitarios, ésta es una contribución con el cuidado del medio ambiente.
- Su proceso de fabricación no consume tierra fértil, que si usa el ladrillo de arcilla en su elaboración; no demanda un horno de quemado, ni emite humo, que si produce la quema de ladrillo de arcilla, es decir su impacto ambiental negativo es mínimo.
- Su elaboración usa una mesa vibradora y un molde fácilmente portables a zonas rurales.

DESVENTAJAS

- Por su gran resistencia no se puede cortar con facilidad
- La cantidad de PET que se puede usar son porcentajes mínimos para no afectar demasiado la resistencia a compresión del ladrillo
- Se dificulta la adquisición de hojuelas de PET, pues no se cuenta con una planta local de reciclado-limpieza de residuos.
- Se debe tener especial cuidado el comportamiento del PET ante un incendio.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- a. **Plástico.** Término para designar materiales compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, son fáciles de moldear de manera permanente a partir de una cierta compresión y temperatura.
- b. **PET.** Abreviación de Polietilentereftalato o Tereftalato de Polietileno, que es un polímero que pertenece al grupo de los poliésteres, en función de su estructura cristalina consiguen ser utilizados como fibras en la industria textil y como plásticos en la fabricación de envases para diferentes usos, como botellas para el agua o gaseosas.
- c. **Reciclaje.** Consiste en obtener una nueva materia prima o producto, mediante un proceso fisicoquímico o mecánico, a partir de productos y materiales ya en desuso o utilizados. De esta forma, conseguimos alargar el ciclo de vida de un producto, ahorrando materiales y beneficiando al medio ambiente al generar menos residuos
- d. **Albañilería.** Material estructural compuesto por unidades de albañilería asentadas con mortero o por unidades de albañilería apiladas, en cuyo caso son integradas con grout.
- e. **Unidades de albañilería.** Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular.
- f. **Ladrillo.** Unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano.
- g. **Ladrillo PET.** Ladrillo de concreto vibrado con porcentajes variables de hojuelas de PET (principalmente reciclado).
- h. **Mortero.** Mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación de cemento, agregado fino y agua; empleada para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería.
- i. **Concreto.** Mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente denota una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes.
- j. **Propiedades mecánicas.** Las propiedades mecánicas fundamentales son la resistencia, la rigidez, la elasticidad, la plasticidad y la capacidad energética.
- k. **Prismas de albañilería.** Son pequeños especímenes (pilas y muretes) cuyos ensayos de compresión axial y diagonal, permiten determinar la resistencia a compresión ($f'm$) y a corte puro ($v'm$), respectivamente, de la albañilería.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1. MATERIALES

- Cemento Portland Tipo I fabricado por Cementos Pacasmayo S.A.A. El cemento cumple con los requisitos de las normas ASTM C150 y NTP 334.009.
- Agregados de la cantera Roca Fuerte – Baños del Inca.
- Hojuelas o flakes de tereftalato de polietileno.
- Agua Potable.

3.1.2. EQUIPOS

- Mesa vibradora para bloques de concreto de 3HP de potencia, motor trifásico 220V, 50 hertz y 3000 revoluciones por minuto.
- Molde metálico para ladrillo de concreto.
- Prensa universal de compresión axial Amsler.
- Máquina de péndulo Amsler.
- Deformímetro.
- Nivel de ingeniero.
- Estufa.
- Balanza con aproximación de 0.1 g.
- Tamices ASTM (3/4", 1/2", 3/8", N°4, 8, 16, 30, 50, 100)
- Vernier.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó en el departamento, provincia y distrito de Cajamarca, en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “M. en I. Carlos Esparza Diaz”, Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2.2. PERÍODO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó durante un período de seis meses, desde noviembre del 2016 hasta abril del 2017.

3.2.3. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Tabla 11. Tipificación de la investigación.

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cuantitativa
Objetivos (alcances)	Explicativa
Fuente de datos	Primaria
Diseño de la prueba de hipótesis	Experimental
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Contexto donde se realizará	Laboratorio
Intervención disciplinaria	Unidisciplinaria.

Esta investigación es explicativa, ya que consistió en la determinación de los efectos (investigación experimental) mediante la prueba de hipótesis.

3.2.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación fue experimental, ya que las variables que se utilizaron fueron controladas para comprobar los efectos que producen. Con un solo factor de control modificable, el reemplazo porcentual de agregado por hojuelas de plástico PET reciclado.

3.2.5. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

Método científico, ya que la investigación se basó en la medición de ensayos, los cuales estuvieron sujetos a los principios específicos de las pruebas de razonamiento.

3.2.6. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de los resultados y gráficos de los valores obtenidos en los ensayos de las unidades de albañilería, mortero y prismas de albañilería, se realizó con Excel 2016.

3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADOS.

Las características físicas fueron estudiadas para determinar si cumplen con los límites permisibles fijados en la Norma Técnica de Edificaciones.

CANTERA PROVEEDORA DE AGREGADOS

Los agregados utilizados para el desarrollo de la investigación, se obtuvieron de la cantera “Roca Fuerte”, ubicado a 6 Km al este de la ciudad de Cajamarca, en la orilla del río Chonta, en el distrito de Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca. Geográficamente se ubica en las coordenadas 7° 09’ 43.80’’ sur y 78° 28’ 04.10’’ oeste.



Figura 13. Fotografía Satelital, ubicación de la cantera “Roca Fuerte”

Fuente: Tomado de Google Earth, 2016.

3.3.1. GRANULOMETRÍA

La granulometría se determinó por separación, siguiendo el método de la norma NTP 400.012:2013

- Se secó en la estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, 2 y 3kg de agregado fino y confitillo respectivamente.
- Se colocó la muestra, pesada anteriormente, en la malla superior del juego de tamices dispuesto en forma decreciente, y se tamizó en forma manual.
- Si en el transcurso de 1 minuto no pasaba más del 1% en peso del material retenido sobre el tamiz, la operación de tamizado se dio por concluida.
- El Tamaño Máximo Nominal es el que corresponde a la abertura del tamiz en el cual queda retenido 15% o más de material.

- El Módulo de Finura es el indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.

$$MF = \frac{\sum \%Ret.Acumulado\left(1\frac{1''}{2}, 3\frac{3''}{4}, 3\frac{3''}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100\right)}{100} \quad (05)$$

3.3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Para determinar el contenido de humedad (W%) de los agregados, realizamos los procedimientos establecidos en la norma NTP 339.185:2013

- Se colocó la muestra de agregado húmedo en un recipiente de peso conocido y se registró ese peso, inmediatamente después se colocó en la estufa por 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Finalmente se pesó el recipiente con la mezcla seca para determinar la cantidad de agua evaporada.

$$W \% = \left(\frac{P_h - P_s}{P_s}\right) * 100 \quad (06)$$

Dónde:

P_h: Peso del agregado húmedo.

P_s: Peso del agregado en condición seca

3.3.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

a. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.

En la norma NTP 400.022:2013 se establece el procedimiento de ensayo para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado fino.

- La muestra, obtenida por el método de cuarteo, se secó durante 24 horas en la estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Luego se saturó con agua y se dejó reposar durante 24 horas. Para garantizar un secado uniforme de la muestra se extendió sobre una superficie plana expuesta a corriente de aire.
- Se colocó una cantidad de agregado en un molde cónico (diámetro menor 4cm, diámetro mayor 9cm, altura 7.5cm) y se procedió a compactar con 25 golpes suaves con el pisón metálico (diámetro 2.5cm, peso 340g). Se alzó el cono verticalmente (si todavía hay humedad superficial presente el agregado retendrá la forma del cono, pero si la muestra se disgrega levemente ésta se encuentra en estado saturado superficialmente seco). Se repitió este paso hasta obtener la condición saturada superficialmente seca del agregado.

- Se introdujo dentro del picnómetro 500 gr de la muestra en estado saturado superficialmente seca y se llenó con agua aproximadamente 90% de su capacidad. Después de eliminar todas las burbujas de aire por unos 15 a 20 minutos. Se llenó el picnómetro hasta la marca de calibración (500cm³).
- Se determinó el peso total del picnómetro, agregado y agua.
- Se retiró el agregado del picnómetro, y se secó a masa constante a una temperatura de 110 ± 5°C para luego determinar su masa.
- Mediante las siguientes formulas expresamos los resultados:

$$P_{em} = \frac{W_0}{V-V_a} \quad (07)$$

$$P_{eSSS} = \frac{500}{(V-V_a)} \quad (08)$$

$$P_{ea} = \frac{W_0}{(V-V_a)-(500-W_0)} \quad (09)$$

$$Ab = \left(\frac{500-W_0}{W_0} \right) * 100 \quad (10)$$

Dónde:

P_{em}: Peso específico de masa (gr/cm³)

P_{eSSS}: Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm³)

P_{ea}: Peso específico aparente (gr/cm³)

Ab: Porcentaje de absorción (%)

W₀: Peso en el aire de la muestra seca en la mufla (gr).

V_a: Peso en (gr) o volumen en (cm³) del agua añadida al frasco.

V: Volumen del frasco en cm³

b. Peso Específico y Absorción del confitillo.

En la norma NTP 400.021:2013 se establece el método de ensayo para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso.

- Se descartó el material que pasó por el tamiz N°8, luego la muestra de aproximadamente 2kg se lavó para eliminar impurezas y polvo, se secó durante 24 horas en la estufa a 110°C ± 5°C. Luego se saturó con agua y se dejó reposar durante 24 horas.
- Se removió la película visible de agua de la muestra con una franela, la muestra alcanzó el estado saturado superficialmente seco, entonces se registró el peso.
- Inmediatamente se colocó la muestra en la canastilla para determinar su peso sumergido en el agua.

- Finalmente se secó la muestra, a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta masa constante para determinar este peso.

$$P_{em} = \frac{A}{B-C} \times 100 \quad (11)$$

$$P_{eSSS} = \frac{B}{B-C} \times 100 \quad (12)$$

$$P_{ea} = \frac{A}{A-C} \times 100 \quad (13)$$

$$Ab = \left(\frac{B-A}{A}\right) \times 100 \quad (14)$$

Dónde:

P_{em}: Peso específico de masa (gr/cm³)

P_{eSSS}: Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm³).

P_{ea}: Peso específico aparente (gr/cm³).

Ab: Porcentaje de absorción (%).

A: Peso de la muestra seca en el aire (g).

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (g).

C: Peso en el agua de la muestra saturada (g).

3.3.4. PESO UNITARIO

Para determinar el peso unitario se procedió de acuerdo a la norma NTP 400.017:2011.

- Se secó la muestra en la estufa durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Para **Peso Unitario Suelto**, se llenó el recipiente con el agregado dejándolo caer desde una altura aproximada de 5 cm de la parte superior.
- Para **Peso Unitario Compactado**, se llenó el recipiente con la muestra hasta 1/3 de su capacidad y se compacta con una varilla con 25 golpes. Luego se llenó hasta la 2/3 de su capacidad y se compacta con 25 golpes de varilla, sin penetrar en la capa previa ya compactada. Finalmente, se llenó el recipiente a sobre-volumen y se compacta con 25 golpes de varilla.
- Se enrasó la capa superficial del agregado con el borde superior del recipiente, utilizando la varilla. Luego se determinó la masa del recipiente más su contenido de agregado y se registra este valor.
- Determinación del volumen real del recipiente: Se llenó el recipiente con una cantidad de agua que se encuentre a 16°C y se pesó el recipiente con el agua; interpolando en la tabla de densidad de agua tendremos un valor de 998.95 para el Peso específico del Agua a 16°C .

Determinación del volumen real del recipiente:

$$V = \frac{W}{D} \quad (15)$$

$$F = \frac{D}{W} \quad (16)$$

Dónde:

V: Volumen del recipiente (m³)

W: Peso del agua (kg).

D: Densidad del agua para la temperatura medida (kg/m³).

F: Factor para el recipiente (l/m³)

Determinación del Peso Unitario Volumétrico compactado y suelto:

$$M = \frac{G-T}{V} \quad (17)$$

$$M = (G - T) \times F \quad (18)$$

Dónde:

D: Densidad de masa o Peso Unitario Volumétrico (kg/m³)

G: Peso del recipiente más el agregado (kg).

T: Peso del recipiente (kg/m³).

3.3.5. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Para determinar la resistencia a la abrasión se procedió de acuerdo a la norma NTP 400.019:2014.

- Se lavó y secó la muestra en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 110 °C ± 5°C, luego se recombino el agregado a la gradación D.
- Se registró el peso de la muestra antes del ensayo, es decir 5000g. de confitillo que pasa en tamiz N°4 y retiene el tamiz N°8 (gradación D) y se colocó junto a la carga abrasiva (6 esferas) en la máquina de los Ángeles para rotarla a una velocidad de 30 r.p.m. a 33 r.p.m. durante 500 revoluciones. Luego se descargó el material de la máquina y se tamizó en el tamiz N°12, el material retenido se lavó y secó en el horno a una temperatura de 110 °C ± 5°C hasta peso constante, se registró este peso.

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{(Peso_{Original} - Peso_{final})}{Peso_{Original}} \times 100 \quad (19)$$

3.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PET RECICLADO.

Debido a no contar con un método para determinar las propiedades de las hojuelas de PET como agregado, se aplicaron las normas NTP siguientes.

3.4.1. GRANULOMETRÍA

Norma NTP 400.012:2013

Se siguieron los pasos y las fórmulas detalladas en la sección 3.3.1.

3.4.2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Norma NTP 400.022:2013

Se siguieron los pasos y las fórmulas detallados en la sección 3.3.3, subsección (a).

3.4.3. PESO UNITARIO

Norma NTP 400.017:2011.

Se siguieron los pasos y las fórmulas detallados en la sección 3.3.4.

3.5. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLA DEL LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO CON PLÁSTICO PET RECICLADO.

3.5.1. DIMENSIONES DEL LADRILLO

Las dimensiones adoptadas para el diseño del ladrillo son las más usadas en el mercado actual: 22x13x9cm, largo, ancho y altura respectivamente; aptas para edificaciones con asientos de cabeza y de soga. La resistencia $f'b = 130\text{Kg/cm}^2$, mínima para un ladrillo Tipo IV, es elegida para proveer de alta durabilidad a la unidad de albañilería, pues se pretende competir con ladrillos de alta durabilidad ofertados por el mercado nacional.

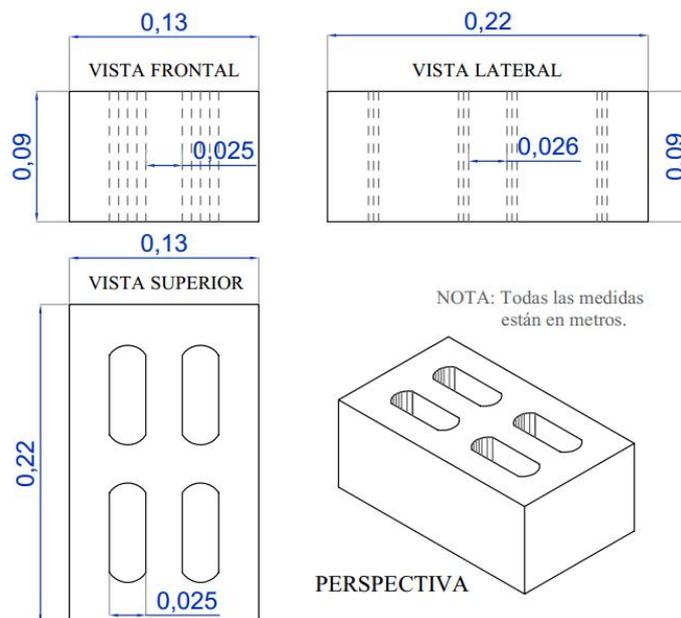


Figura 14. Detalle de la geometría de los ladrillos de concreto con PET reciclado.

3.5.2. DOSIFICACIÓN DE LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO PATRÓN.

Al aplicar el método del módulo de fineza de combinación de agregados, como se muestra en las tablas 59 y 60, resultaron dosificaciones que proporcionaron mezclas sobregravosas, fluidas, y con un alto contenido de cemento; por lo que para determinar la dosificación adecuada que garantice la óptima combinación de agregados para lograr buena trabajabilidad, una consistencia seca (slump de 0" – 1"), evitando tener un perfil sobre gravoso o sobre arenoso, y una resistencia mínima de $f'b = 130\text{Kg/cm}^2$ correspondiente a un ladrillo Tipo IV, se hizo un estudio del comportamiento de los ladrillos de concreto vibrados elaborado en 5 dosificaciones en volumen:

- 1 de cemento: 4 de arena gruesa: 2 de confitillo
- 1 de cemento: 4 de arena gruesa: 3 de confitillo
- 1 de cemento: 5 de arena gruesa: 3 de confitillo
- 1 de cemento: 5 de arena gruesa: 2 de confitillo
- 1 de cemento: 5.5 de arena gruesa: 2.5 de confitillo

Para la dosificación del agua se partió de una relación a/c de 0.4, para luego ir agregando más agua hasta obtener una superficie húmeda para facilitar el proceso de desmolde; no siempre con la misma cantidad de agua se obtiene la misma textura.

Las mezclas elaboradas con las 5 dosificaciones fueron evaluadas y se eligió a la dosificación que se aproximó más a los requerimientos de trabajabilidad, consistencia y resistencia especificados líneas arriba.

3.5.3. DOSIFICACIÓN DE LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO CON PLÁSTICO PET RECICLADO

Con la dosificación 1:8 (1: 5.5: 2.5), que proporcionó resultados convenientes respecto de la resistencia y trabajabilidad para elaborar ladrillos de concreto Tipo IV, se procedió al reemplazo porcentual, sucesivamente creciente, de agregados por hojuelas de plástico PET reciclado en la mezcla.

Tabla 12. Proporción de PET en la mezcla de concreto.

Ladrillo de Concreto	Proporción de PET en volumen	Código
Tipo 1	0%	LC PET 0%
Tipo 2	3%	LC PET 3%
Tipo 3	6%	LC PET 6%
Tipo 4	9%	LC PET 9%

Para cada tipo se realizó dos tandas obteniéndose alrededor de 100 unidades de cada tipo, que fueron sometidas a diferentes ensayos.

3.5.4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO

Mezclado y moldeado.

- Se calculó los pesos de los materiales, ya corregidos por humedad.
- Se procedió a pesar las dosificaciones de cemento, agregado fino, confitillo, PET y a medir el volumen de agua.
- Se dispuso el confitillo, junto al cemento y las hojuelas de PET, encima del agregado fino y se procedió a mezclar con una palana hasta observar una mezcla uniforme de los agregados; se agregó el agua en el hoyo hecho al centro de la mezcla, esto permitió que el agua sature los materiales, en seguida se cubrió el agua con mezcla seca de los costados para luego mezclar todo uniformemente, se continuó mezclando hasta que la mezcla presentó homogeneidad, consistencia y color uniforme.
- Se colocó la mezcla de concreto dentro del molde metálico colocado sobre la mesa vibradora, y se encendió la mesa vibradora, se procedió a enrasar la mezcla, es decir se eliminó el exceso y el vibrado se mantuvo hasta que apareció una película de agua en la superficie.
- Se retiró el molde de la mesa vibradora y se llevó al área de curado
- Se desmoldó el ladrillo con cuidado de no deformarlo, se procedió a extraer el molde metálico en forma vertical levantando sus asas; y se dejó reposar 24 horas.

Curado.

- Transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, se identificó correctamente según un código respectivo y se procedió a regar.
- Se regó tres veces al día para mantener los ladrillos totalmente húmedos durante siete días, para minimizar la evaporación de agua se protegió con plástico.
- A los 28 días de haber sido elaborados alcanzan su resistencia final.

Acopio.

- Los ladrillos se acopiaron apilados bajo techo, la altura de pilas no superó 1.5m. como es recomendado

3.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO CON PLÁSTICO PET RECICLADO

Los ensayos de las unidades de albañilería se realizaron a la edad de 28 días y se siguieron los procedimientos estipulados en la norma NTP 399.604:2002. La evaluación de estas propiedades permitió clasificar a los tipos del ladrillo.

3.6.1. VARIACIÓN DIMENSIONAL

Esta característica se obtuvo al comparar las dimensiones reales de las unidades con las dimensiones previstas para su elaboración (D_e).

Para cada unidad se midió, en la parte media de cada cara, el largo (L), ancho (A) y altura (H); obteniendo la dimensión promedio D_p (largo, ancho y alto). La variación dimensional se determinó usando la siguiente fórmula para cada medida:

$$V(\%) = \frac{(D_e - D_p)}{D_e} \times 100 \quad (20)$$

Dónde:

V: Variación dimensional (%)

D_e: Dimensión prevista para su elaboración (mm)

D_p: Dimensión promedio (mm)

3.6.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Se pesó las unidades en su estado natural (a los 28 días de edad) para obtener un peso inicial; luego, fueron introducidas a la estufa a $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas para obtener un peso seco constante.

$$W(\%) = \frac{(P_0 - P_1)}{P_1} \times 100 \quad (21)$$

Dónde:

W: Contenido de humedad de ladrillo (%)

P₀: Peso inicial (g)

P₁: Peso seco (g)

3.6.3. PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO

Teniendo en cuenta el peso seco y el promedio de las dimensiones (L_p , A_p y H_p) de las unidades de albañilería, se determinó el peso unitario volumétrico del ladrillo.

$$(\rho) = \frac{P_0}{L_p \times A_p \times H_p} \quad (22)$$

Dónde:

ρ : Peso unitario volumétrico (g/cm³)

P_0 : Peso inicial (g)

L_p, A_p, H_p : Dimensión promedio (cm)

3.6.4. PORCENTAJE DE VACIOS

Cada unidad se colocó en una superficie plana y se llenó los alveolos con arena graduada de densidad conocida, luego se levantó el ladrillo y se pesó la arena que ocupaba los alveolos.

El porcentaje de vacíos de la unidad, se obtuvo mediante:

$$Vacios(\%) = \frac{V_{al}}{V_T} \quad (23)$$

$$V_{al} = \frac{P_{ar}}{D_{ar}} \quad (24)$$

Dónde:

V_T : Volumen total de la unidad (cm³)

V_{al} : Volumen de los alveolos de la unidad (cm³)

P_{ar} : Peso de la arena graduada (g)

D_{ar} : Densidad de la arena graduada (g/cm³)

3.6.5. ALABEO

Cada ladrillo se situó sobre una superficie plana y se colocó sobre la cara de asiento de la unidad una regla metálica que conecta los extremos diagonalmente opuestos para poder determinar si es cóncavo o convexo y se midió con una cuña graduada al milímetro en la zona más alabeada. El alabeo de la unidad se tomó como el valor promedio y se expresó en milímetros.

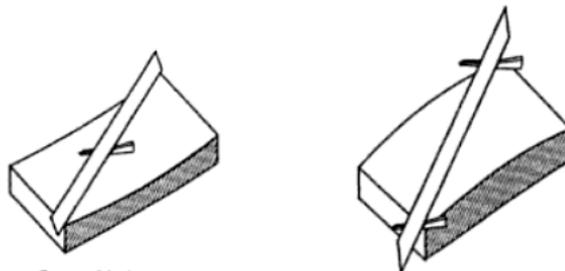


Figura 15. Medición de alabeo

3.6.6. SUCCIÓN

Las unidades se secaron en la estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas para obtener un peso seco constante (P1). En una bandeja se colocó dos soportes de acero de $\frac{1}{4}$ " luego se vertió agua hasta que su nivel esté 3mm por encima de los soportes de acero. Cada unidad se sumergió por su cara de asiento en la película de agua de 3 mm durante 1 minuto, para registrar inmediatamente su nuevo peso (P2)

$$\text{Succión} = \frac{200 \times (P2 - P1)}{A} \quad (25)$$

Dónde:

$$S: \text{Succión} \left(\frac{\text{gr}}{200} \text{ cm}^2 - \text{min} \right)$$

P2: Peso de la unidad luego de mantener en inmersión de 3mm (g)

P1: Peso seco (g)

A: Área de contacto de la unidad con el agua (cm²)

3.6.7. ABSORCIÓN

Las unidades seleccionadas se secaron en la estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas para obtener un peso seco constante (P1); luego, cada unidad se introdujo totalmente en agua potable durante 24 horas, luego se retiró del agua y registró su peso saturado (P3). La absorción está expresada en porcentaje, según la siguiente fórmula:

$$A(\%) = \frac{(P3 - P1)}{P1} \times 100 \quad (26)$$

Dónde:

A: Absorción (%)

P1: Peso seco (g)

P3: Peso saturado (g)

3.6.8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

El ensayo se realizó con unidades secas, a las cuales se les refrentó con yeso-cemento para uniformizar el contacto entre éstas y los cabezales de la máquina de compresión.

La resistencia a compresión unitaria f_b se determinó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta (unidades sólidas) o entre el área neta (unidades huecas). Y la resistencia a compresión característica f'_b se obtuvo restando una desviación estándar al promedio de los resultados de resistencia unitaria a compresión.

$$f' b = fb - \sigma \quad (27)$$

$$fb = \frac{R}{A} \quad (28)$$

Dónde:

f' b: Resistencia a compresión característica (kg/cm²)

fb: Resistencia unitaria a compresión (kg/cm²)

σ: Desviación estándar (kg/cm²)

R: Carga de rotura (kg)

A: Área de contacto (cm²)

3.7. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO

Para realizar el ensayo de resistencia a compresión del mortero se procedió según la norma NTP 399.610:2013.

- El diseño analítico del mortero se realizó con los datos obtenidos de los ensayos de propiedades de los agregados de la cantera Roca Fuerte siguiendo las recomendaciones de la norma NTP 339.607:2003.
- Se eligió el mortero tipo P2 de la norma E.070 para muros portantes con una dosificación 1:4 (cemento: arena).
- Se tomó las muestras de la mezcla de mortero usada para el asentado de pilas y muretes y se preparó 5 probetas cilíndricas.
- El curado de las probetas se realizó totalmente saturadas en agua.
- La resistencia a compresión unitaria del mortero se obtuvo dividiendo la carga máxima entre el área de la sección. Y la resistencia a compresión característica del mortero *f' mo* se obtiene restando una desviación estándar al promedio de los resultados de los 5 ensayos.

$$f' mo = X(1 - 1.3\sigma) \quad (29)$$

$$f mo = \frac{R_{mo}}{A_s} \quad (30)$$

Dónde:

f' mo: Resistencia característica del mortero (kg/cm²)

f mo: Resistencia del mortero (kg/cm²)

σ: Desviación estándar (kg/cm²)

R_{mo}: Carga máxima (kg)

A_s: Área de sección (cm²)

3.8. PROPIEDADES DE LOS PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

La resistencia de la albañilería a compresión axial en pilas ($f'm$) y a corte en muretes ($v'm$) se determinaron mediante ensayos en laboratorio, de acuerdo a las normas NTP 399.605, NTP 399.621 y E.070:2006.

3.8.1. COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS DE ALBAÑILERÍA

El procedimiento de este ensayo se tomó de la norma NTP 399.605.

Con cada tipo se elaboraron 03 pilas de 04 hiladas cada una, teniendo en cuenta la esbeltez establecida. Debido a la baja succión y absorción de las unidades no fue necesario regarlas antes del asentado. Se usó el mortero tipo P2 1:4 (cemento: arena). Se controló la altura y verticalidad de las pilas con un nivel y plomada. Las pilas fueron curadas rociando agua durante sus primeros 07 días, por lo menos tres veces al día, los siete días subsiguientes se roció agua una vez al día.

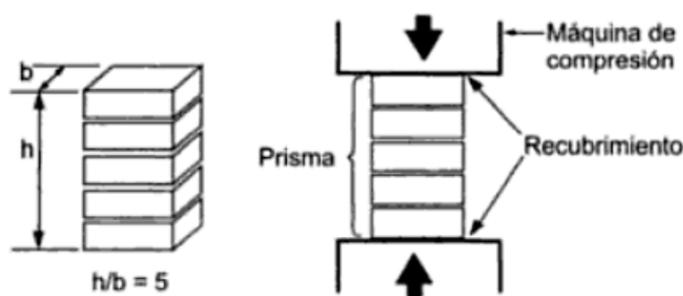


Figura 16. Ensayo de compresión axial

Las pilas fueron ensayadas a la edad de 28 días en la prensa de compresión universal Amsler, antes de este ensayo fueron refrendadas con una capa de yeso - cemento sobre su superficie de ensayo. Las deformaciones en las pilas fueron registradas con el deformímetro cada 2000 kg en el dial de carga. La resistencia de la albañilería a compresión axial se determinó dividiendo la carga máxima entre el área de contacto.

$$f_m = \frac{\text{Carga Máxima}}{A} \quad (31)$$

Dónde:

f_m : Resistencia a compresión axial (kg/cm²)

A : Área de contacto (cm²)

Luego se corrigió el valor obtenido de acuerdo al factor de corrección por esbeltez, interpolando valores en la tabla 7

Se determinó la resistencia característica a la compresión axial ($f'm$) de las pilas restando el promedio de la resistencia de los ensayos (X) con la desviación estándar de la prueba.

$$f'm = X - \sigma \quad (32)$$

Dónde:

$f'm$: Resistencia característica a compresión axial (kg/cm²)

X : Resistencia promedio a compresión axial (kg/cm²)

σ : Desviación estándar (kg/cm²)

3.8.2. CORTE EN MURETES DE ALBAÑILERÍA

El procedimiento de este ensayo se tomó de la norma NTP 399.621.

Con cada tipo y el ladrillo testigo se elaboraron 03 muretes de albañilería de 60x60x13cm con un asentado de sogá. Debido a la baja succión y absorción de las unidades no fue necesario regarlas antes del asentado. Se usó el mortero tipo P2 1:4 (cemento: arena). Se controló la altura y verticalidad de las pilas con un nivel y plomada. Los muretes fueron curados rociando agua durante sus primeros 07 días, por lo menos tres veces al día, los siete días subsiguientes se roció agua una vez al día.

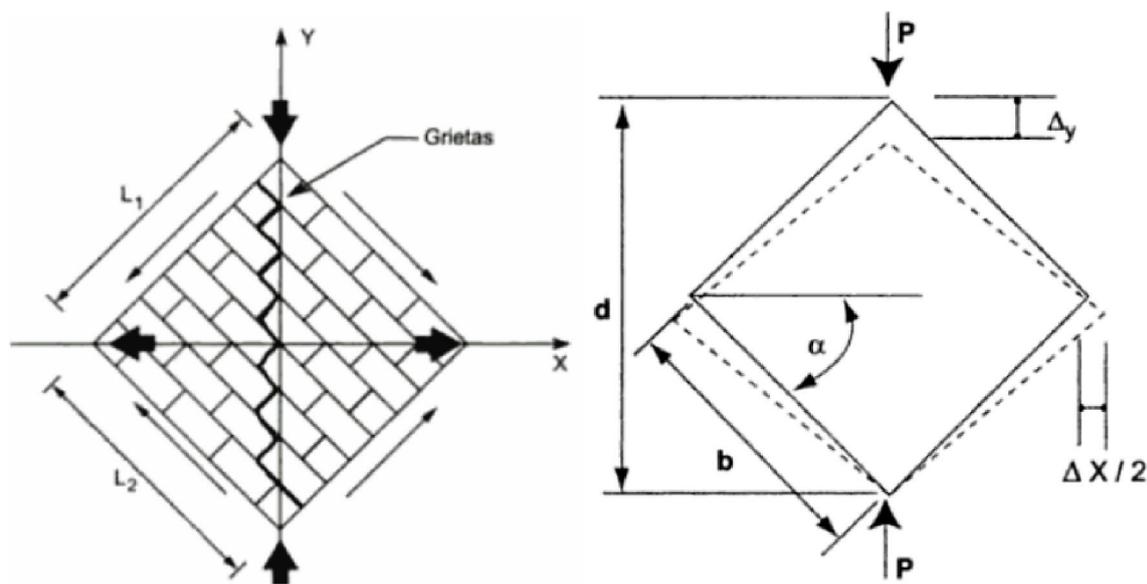


Figura 17. Ensayo de corte. Esquema de deformación.

Los muretes fueron ensayados a la edad de 28 días. Antes de su ensayo fueron refrendados con una capa de yeso-cemento en las esquinas que estarían en contacto con los dos soportes metálicos durante el ensayo. La deformación vertical se registró cada 2000 kg en el dial de carga, con el nivel de ingeniero y papel milimetrado.

La resistencia al corte de los muretes de albañilería (V_m) se determinó midiendo la carga máxima entre el área bruta del espécimen.

$$V_m = \frac{0.707P}{A_b} \quad (33)$$

$$A_b = \frac{L+H}{2} \times t \quad (34)$$

Dónde:

V_m : Resistencia a compresión axial (kg/cm²)

A_b : Área bruta del espécimen (cm²)

L : Largo del murete(cm)

H : Altura del murete(cm)

t : Espesor del murete(cm)

Se determinó la resistencia característica al corte (V'_m) de los muretes restando el promedio de la resistencia de los ensayos (X) con la desviación estándar de la prueba

$$V'_m = X - \sigma \quad (35)$$

Dónde:

V'_m : Resistencia característica al corte (kg/cm²)

X : Resistencia promedio al corte (kg/cm²)

σ : Desviación estándar (kg/cm²)

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

4.1.1. Características físicas del agregado fino

En la tabla 13 se presenta el resumen de las características físicas del agregado fino de la cantera Roca Fuerte, determinadas en laboratorio, cuyos valores cumplen con los estándares estipulados en la norma NTP 400.037. Los cálculos detallados de las propiedades se encuentran en el Anexo N° 2.

Tabla 13. Resumen de las características del agregado fino

Agregado fino : Arena	Unidad
Peso específico de masa	2.609 g/cm ³
Peso específico de masa saturada con superficie seca	2.645 g/cm ³
Peso específico aparente	2.705 g/cm ³
Peso unitario suelto seco	1.598 g/cm ³
Peso unitario seco compactado	1.743 g/cm ³
Contenido de humedad	1.13 %
Absorción	1.35 %
Módulo de finura	2.8

4.1.2. Características físicas del agregado grueso: confitillo.

En la tabla 14 se presenta el resumen de las características físicas del confitillo de la cantera Roca Fuerte, determinadas en laboratorio, cuyos valores cumplen con los estándares estipulados en la norma NTP 400.037. Los cálculos detallados de las propiedades se encuentran en el Anexo N° 3.

Tabla 14. Resumen de las características del agregado grueso

Agregado Grueso: Confitillo	Unidad
Peso específico de masa	2.594 g/cm ³
Peso específico de masa saturada con superficie seca	2.626 g/cm ³
Peso específico aparente	2.681 g/cm ³
Peso unitario suelto seco	1.328 g/cm ³
Peso unitario seco compactado	1.498 g/cm ³
Contenido de humedad	0.71 %
Absorción	1.25 %
Desgaste a la abrasión	27.10 %
Módulo de finura	5.55

4.1.3. Características físicas del PET

En la tabla 15 se presenta el resumen de las características físicas de las hojuelas de plástico PET reciclado, determinadas en laboratorio. Los cálculos detallados de las propiedades se encuentran en el Anexo N° 4.

Tabla 15. Resumen de las características del PET

PET (Tereftalato de Polietileno): Hojuelas	Unidad
Peso específico de masa	1.32 g/cm ³
Peso unitario suelto seco	0.295 g/cm ³
Peso unitario seco compactado	0.376 g/cm ³
Módulo de finura	5.62

4.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN A DIFERENTES DOSIFICACIONES

En la tabla 16 se presenta el resultado del ensayo a compresión de las unidades de concreto vibrado fabricadas con las 5 dosificaciones de prueba planteadas a las edades de 7, 14 y 28 días. De esta tabla se obtuvo que la dosificación adecuada es 1: 5.5: 2.5, pues se aproximó a la resistencia requerida mínima de 130kg/cm², con la menor cantidad de cemento en la mezcla, además presentó una mayor trabajabilidad. Los diseños de mezcla de las 5 dosificaciones se encuentran en el Anexo N° 5.

Tabla 16. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos patrón.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS DE PRUEBA										
Proporción	Área bruta* (cm²)	7 DIAS			14 DIAS			28 DIAS		
		Carga Máxima (kg)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio a 28 días (fb)	Carga Máxima (kg)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio a 28 días (fb)	Carga Máxima (kg)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio a 28 días (fb)
A 1 : 4 : 2	286	37000	129.37	181.98	42500	148.60	177.57	52900	184.97	182.40
	286	36300	126.92		43000	150.35		51000	178.32	
	286	36000	125.87		44000	153.85		52600	183.92	
B 1 : 4 : 3	286	34500	120.63	171.91	40500	141.61	169.61	49800	174.13	172.49
	286	33750	118.01		41200	144.06		49200	172.03	
	286	35000	122.38		42000	146.85		49000	171.33	
C 1 : 5 : 2	286	33500	117.13	163.50	39200	137.06	160.43	48000	167.83	165.15
	286	32200	112.59		39500	138.11		47000	164.34	
	286	32500	113.64		38300	133.92		46700	163.29	
D 1 : 5 : 3	286	27200	95.10	137.36	34000	118.88	139.72	40700	142.31	141.26
	286	27500	96.15		34000	118.88		40000	139.86	
	286	27800	97.20		33900	118.53		40500	141.61	
E 1 : 5.5 : 2.5	286	27400	95.80	135.95	33000	115.38	137.46	40500	141.61	140.38
	286	26750	93.53		34000	118.88		40200	140.56	
	286	27500	96.15		33250	116.26		39750	138.99	

*NTP 399.604. Informe, resistencia a compresión sobre área bruta.

4.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO - PET

Con la dosificación seleccionada (1: 5.5 :2.5) se procedió a la inclusión sucesivamente creciente de las hojuelas de PET en el diseño de mezcla de los ladrillos de concreto - PET, diseños que se pueden encontrar en el Anexo N° 6.

La evaluación de las características de los ladrillos de concreto con PET reciclado obtenidas en los ensayos de laboratorio se realizó según la Norma E.070:2006, como sugiere la siguiente tabla

Tabla 17. Clase de Unidad de Albañilería para Fines Estructurales

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f _b mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)
Bloque P (1)	± 4	± 3	± 2	4	4.9 (50)
Bloque NP (2)	± 7	± 6	± 4	8	2.0 (50)

(3) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(4) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Fuente: Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070:2006.

4.3.1. VARIACIÓN DIMENSIONAL

Se determinó la variación dimensional de 16 unidades por cada tipo de ladrillo, Para lo cual se registró la variación dimensional de largo, ancho y altura de 64 ladrillos, como se muestra detalladamente en el Anexo N°8. Los porcentajes promedio de variación dimensional por cada tipo obtenidos, son los siguientes:

Tabla 18. Variación dimensional por cada tipo de ladrillo de concreto PET.

Tipo	VARIACIÓN DIMENSIONAL						CLASE
	L _p (mm)	L %	A _p (mm)	A %	H _p (mm)	H %	
LC PET 0%	219.78	0.10%	130.24	0.18%	86.87	3.48%	IV
LC PET 3%	220.43	0.19%	131.37	1.05%	87.39	2.90%	V
LC PET 6%	220.45	0.20%	132.93	2.25%	86.55	3.83%	IV
LC PET 9%	220.52	0.24%	132.37	1.82%	88.81	1.32%	V

De la tabla 18 se tiene que todos los tipos de ladrillo de concreto con PET reciclado cumplen con los requisitos de la norma E.070: 2006 en lo que corresponde a variación dimensional y se clasifican como ladrillo clase IV y clase V correspondientemente.

4.3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Se determinó el contenido de humedad de 8 unidades por cada tipo de ladrillo, para lo cual se analizó la retención de humedad de 32 ladrillos, como se muestra detalladamente en el Anexo N°9. Los valores de contenido de humedad por cada tipo obtenidos, son los siguientes:

Tabla 19. Contenido de humedad por cada tipo de ladrillo de concreto PET.

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Tipo	%
LC PET 0%	5.10
LC PET 3%	6.61
LC PET 6%	5.56
LC PET 9%	6.09

El contenido de humedad promedio del ladrillo de referencia (LC PET 0%) es cercano al 5%, aumentando este valor al incorporar las hojuelas de PET en la mezcla, sin embargo, este aumento no es proporcional a la cantidad de PET incorporado.

4.3.3. PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO

Se determinó el peso unitario volumétrico de 8 unidades por cada tipo de ladrillo, para lo cual se analizó el volumen y peso de 32 ladrillos, como se muestra detalladamente en el Anexo N°10. Los valores promedio del peso unitario volumétrico obtenidos, son:

Tabla 20. Peso unitario volumétrico por cada tipo de ladrillo de concreto PET.

PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO	
Tipo	Peso unitario volumétrico de la unidad (g/cm³)
LC PET 0%	1.62
LC PET 3%	1.53
LC PET 6%	1.46
LC PET 9%	1.39

El peso unitario volumétrico de la unidad, es inversamente proporcional al porcentaje de hojuelas de PET incorporado en la mezcla, esto se debe a que el peso específico de agregado reemplazado es mayor al peso específico de hojuelas de PET reemplazante.

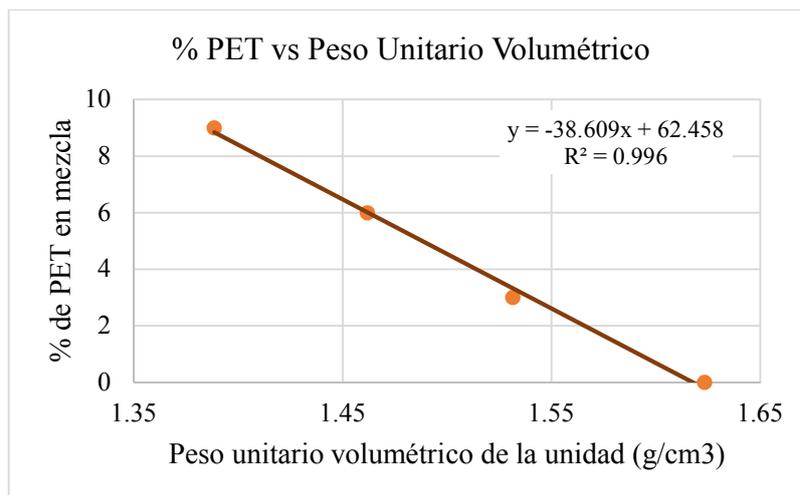


Figura 18. Diagrama % de PET en mezcla vs. Peso unitario volumétrico del ladrillo

PESO

De los datos registrados en el ensayo de peso unitario volumétrico, se tiene los valores promedio del peso por cada tipo de ladrillo concreto - PET:

Tabla 21. Peso por cada tipo de ladrillo de concreto PET.

PESO DE LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO				
TIPO LC PET -	0%	3%	6%	9%
Peso promedio	4081.25	3917.63	3752.25	3642.50
Desviación Estándar	64.35	36.27	45.86	35.01
Peso (g)	4016.90	3881.36	3706.39	3607.49
Coefficiente de Variación	1.58%	0.93%	1.22%	0.96%

El peso de la unidad es inversamente proporcional al porcentaje de hojuelas de PET incorporado en la mezcla, con una reducción máxima del 10.2% del peso para el porcentaje de 9% de PET en la mezcla. Todos estos pesos son superiores al peso de ladrillos de arcilla producidos en Cajamarca que oscilan entre 2800g. y 3400g.

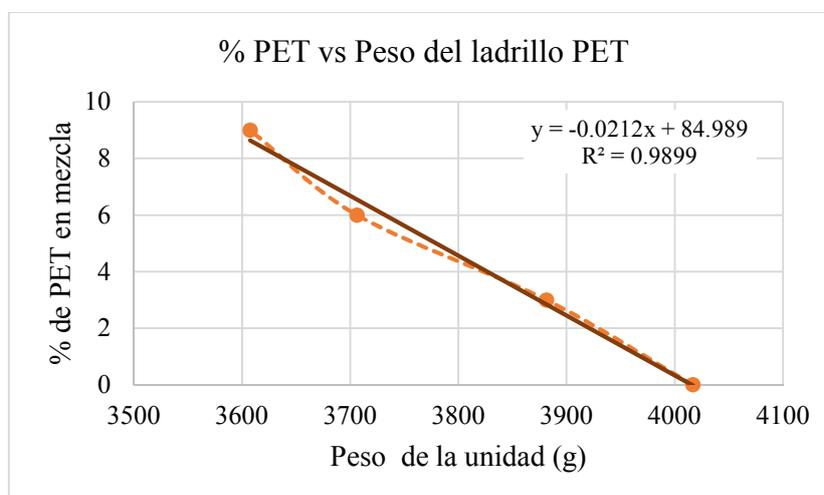


Figura 19. Diagrama % de PET en mezcla vs. Peso del ladrillo

4.3.4. PORCENTAJE DE VACÍOS

Se determinó el porcentaje de vacíos de 16 unidades por cada tipo de ladrillo, para lo cual se analizó el volumen de la unidad versus el volumen de vacíos que contienen 64 ladrillos, como se muestra detalladamente en el Anexo N°11. Los porcentajes de vacíos promedio por cada tipo obtenidos, son los siguientes:

Tabla 22. Porcentaje por cada tipo de ladrillo de concreto PET.

PORCENTAJE DE VACÍOS	
Tipo	%
LC PET 0%	19.64
LC PET 3%	19.28
LC PET 6%	20.15
LC PET 9%	21.34

Como muestra la tabla, las unidades se pueden clasificar como sólidas o macizas, pues no superan el 30 % especificado en la norma E.070.

4.3.5. ALABEO

Se determinó el alabeo de 16 unidades por cada tipo de ladrillo, para lo cual se analizó la concavidad y convexidad de 64 ladrillos, como se muestra detalladamente en el Anexo N°12. El alabeo promedio por cada tipo obtenido, son los siguientes:

Tabla 23. Alabeo por cada tipo de ladrillo de concreto PET.

ALABEO		
Tipo	(mm)	CLASE
LC PET 0%	1.47	V
LC PET 3%	1.72	V
LC PET 6%	2.06	IV
LC PET 9%	1.56	V

El alabeo, ya sea cóncavo o convexo, se presentó en la misma cara de asiento de las unidades lo que atribuye a la fabricación artesanal de los ladrillos. El alabeo es mínimo por lo que se puede clasificar como clase V y clase IV correspondientemente y en la construcción de la albañilería, los muros tendrán una junta uniforme (1 – 1.5 cm).

4.3.6. SUCCIÓN

Se determinó la succión de 8 unidades por cada tipo de ladrillo, para lo cual se analizó los pesos antes y después del ensayo de succión de 32 ladrillos, como se muestra detalladamente en el Anexo N°13. La succión promedio por cada tipo obtenido, son:

Tabla 24. Succión por cada tipo de ladrillo de concreto PET.

SUCCIÓN	
Tipo	(gr/200cm²-min)
LC PET 0%	6.50
LC PET 3%	10.38
LC PET 6%	11.87
LC PET 9%	18.92

En la norma E 070 se menciona que las unidades de albañilería que presenten una succión mayor a 20gr/200cm²-min deberán ser regados durante 30 min de 10 a 15 horas antes del asentado, vemos que los ladrillos no lo necesitaron pues presentaron una succión menor a la establecida en la norma.

4.3.7. ABSORCIÓN

Se determinó la absorción de 8 unidades por cada tipo de ladrillo, para lo cual se analizó los pesos antes y después del ensayo de absorción de 32 ladrillos, como se muestra detalladamente en el Anexo N°14. La absorción promedio por cada tipo obtenido, son los siguientes:

Tabla 25. Absorción por cada tipo de ladrillo de concreto PET.

ABSORCIÓN	
Tipo	%
LC PET 0%	7.10
LC PET 3%	9.05
LC PET 6%	9.52
LC PET 9%	10.83

De la tabla, se infiere que todos los tipos cumplen con los requerimientos de la norma E.070, ya que ésta menciona que los ladrillos deben tener una absorción máxima de 12%. La baja absorción de las unidades indica que no necesitan ser regadas horas antes del asentado de la albañilería.

4.3.8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Se determinó la resistencia a la compresión de 8 unidades por cada tipo de ladrillo, para lo cual se analizó la carga máxima y el área de contacto de 32 ladrillos, como se muestra detalladamente en el Anexo N°15. La resistencia característica a compresión para cada tipo obtenida, son las siguientes:

Tabla 26. Resistencia a compresión por cada tipo de ladrillo de concreto PET.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN				
Tipo	fb (kg/cm2)	σ	f'b (kg/cm2)	CLASE
LC PET 0%	166.88	4.92	161.96	IV
LC PET 3%	136.44	9.36	127.08	III
LC PET 6%	124.45	5.66	118.80	III
LC PET 9%	118.03	7.56	110.46	III

La resistencia característica a compresión que ofrecen todos los tipos cumplen con los requisitos de la norma E.070; pero se observa una mayor resistencia de la unidad de albañilería que no contiene hojuelas de PET cuya clasificación es IV, mayor que las unidades que contienen PET, cuya clasificación es III y su resistencia tiene un comportamiento decreciente proporcional con la cantidad de PET incorporado en la mezcla.

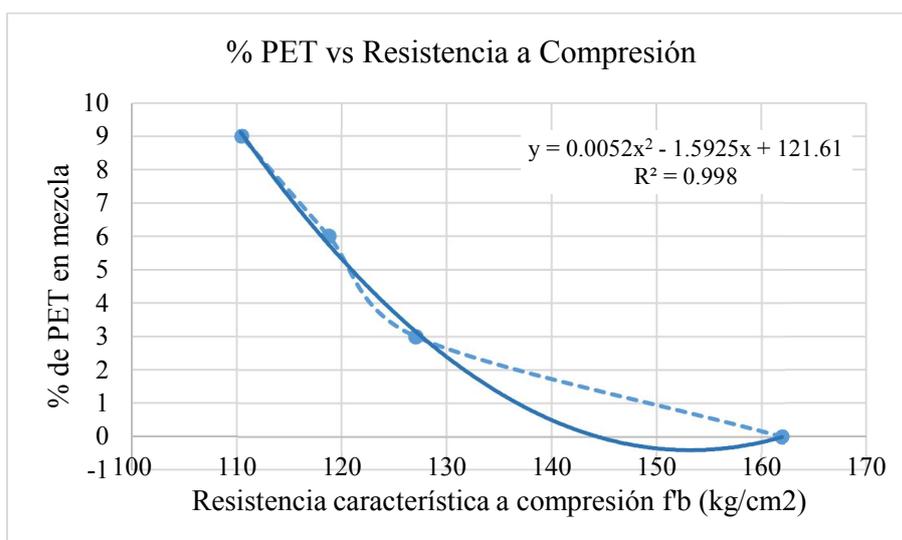


Figura 20. Diagrama % de PET en mezcla vs. Resistencia a compresión del ladrillo

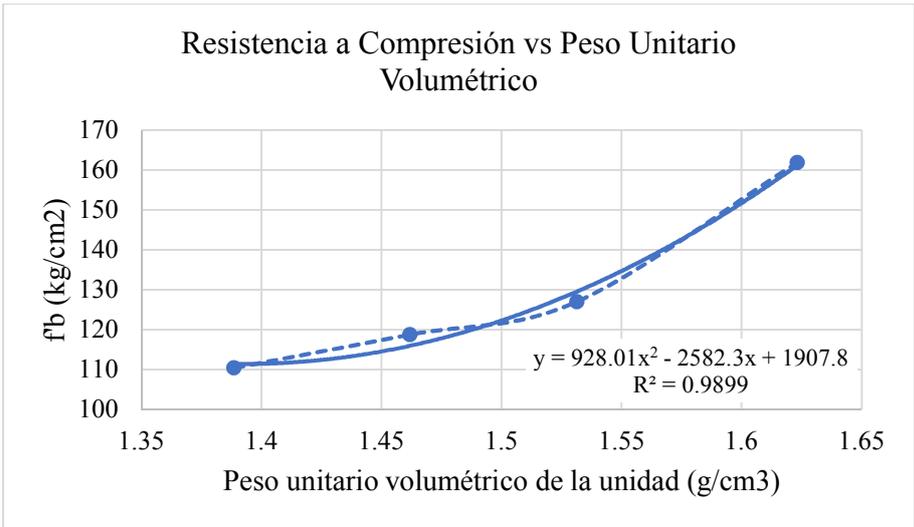


Figura 21. Diagrama Resistencia a compresión vs. Peso unitario volumétrico del ladrillo

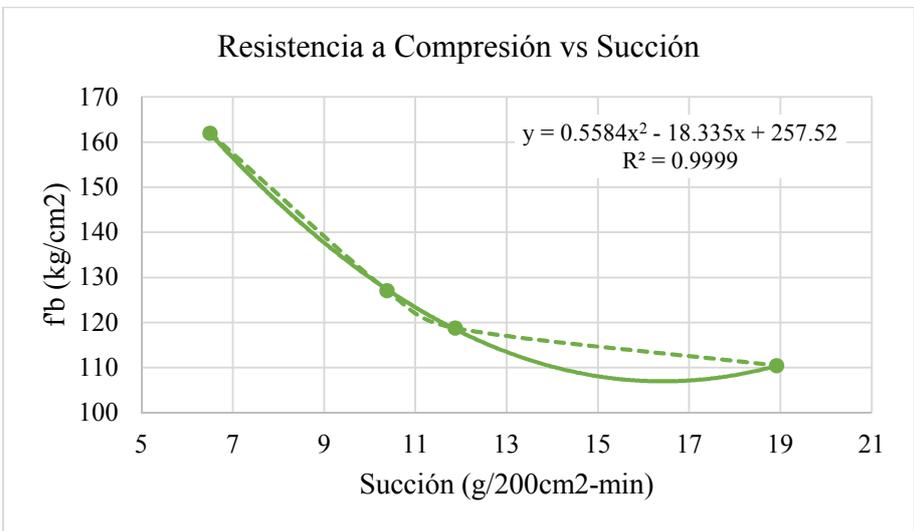


Figura 22. Diagrama Resistencia a compresión vs. Succión del ladrillo

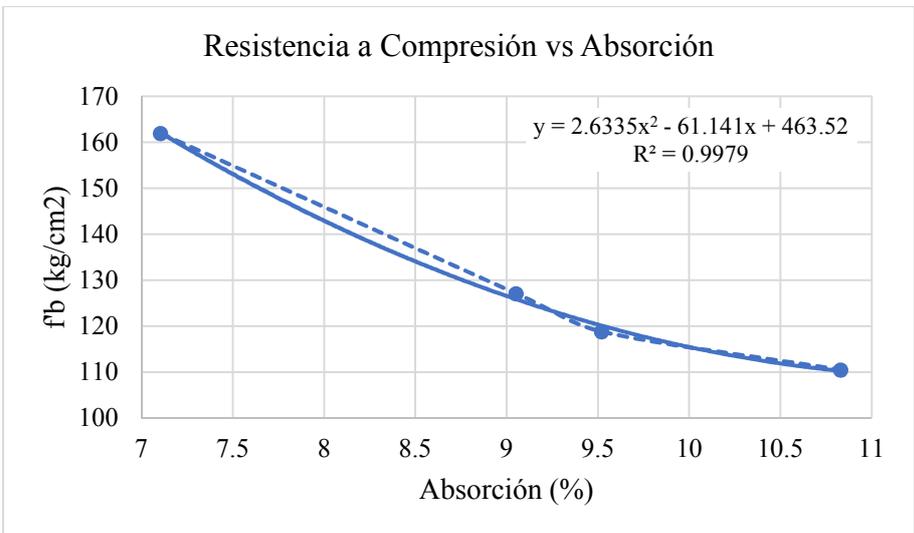


Figura 23. Diagrama Resistencia a compresión vs. Absorción del ladrillo

4.3.9. CLASIFICACIÓN FINAL.

Tabla 27. Clasificación de los ladrillos PET de acuerdo a las principales propiedades

TIPO	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A :			CLASIFICACIÓN FINAL
	VARIACIÓN DIMENSIONAL	ALABEO	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN	
LC PET 0%	IV	V	IV	IV
LC PET 3%	V	V	III	III
LC PET 6%	IV	IV	III	III
LC PET 9%	V	V	III	III

De la tabla 27, se infiere que la inclusión de hojuelas de PET reciclado en la mezcla afecta principalmente la resistencia a compresión de los ladrillos de concreto vibrado, pasando de la clase IV a la clase III.

4.4. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO

La resistencia característica a compresión del mortero tipo P2, con dosificación 1:4 (cemento: arena) es de 178.80 kg/cm² y cumple con los requisitos de la norma E.070.

Tabla 28. Resultado del ensayo de compresión del mortero

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO 1 : 4						
Espécimen	Diámetro	Diámetro	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia	
	Sup. (cm)	Inf. (cm)			(kg/cm ²)	MPa
Mo-01	5.09	5.11	81.71	15000	183.57	18.00
Mo-02	5.06	5.09	80.91	17000	210.10	20.60
Mo-03	5.00	5.03	79.01	16500	208.83	20.48
Mo-04	5.10	5.09	81.55	14000	171.67	16.83
Mo-05	5.12	5.11	82.19	17500	212.91	20.88
Resistencia a compresión promedio (f _{mo})					197.42	19.36
Desviación estándar (σ)					18.61	1.83
Resistencia Característica a Compresión (f' mo)					178.80	17.53
Coeficiente variación					9.43%	9.43%

4.5. PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

4.5.1. COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS DE ALBAÑILERÍA

El ensayo se realizó en 03 pilas por cada tipo de ladrillo y se ensayó a los 28 días de edad. Se analizó la carga de rotura, así como la esbeltez y el módulo de elasticidad de 12 pilas, como se muestra detalladamente en los Anexos N°16 y N°17. La resistencia característica a compresión axial de la albañilería para cada tipo obtenida, son las siguientes:

Tabla 29. Comparación de resistencia a la compresión axial de pilas de ladrillos PET

RESISTENCIA DE LA ALBAÑILERÍA A COMPRESIÓN AXIAL		
PILAS	f'm (kg/cm ²)	f'm (MPa)
PET 0%	128.55	12.61
PET 3%	100.83	9.89
PET 6%	79.79	7.82
PET 9%	76.75	7.53

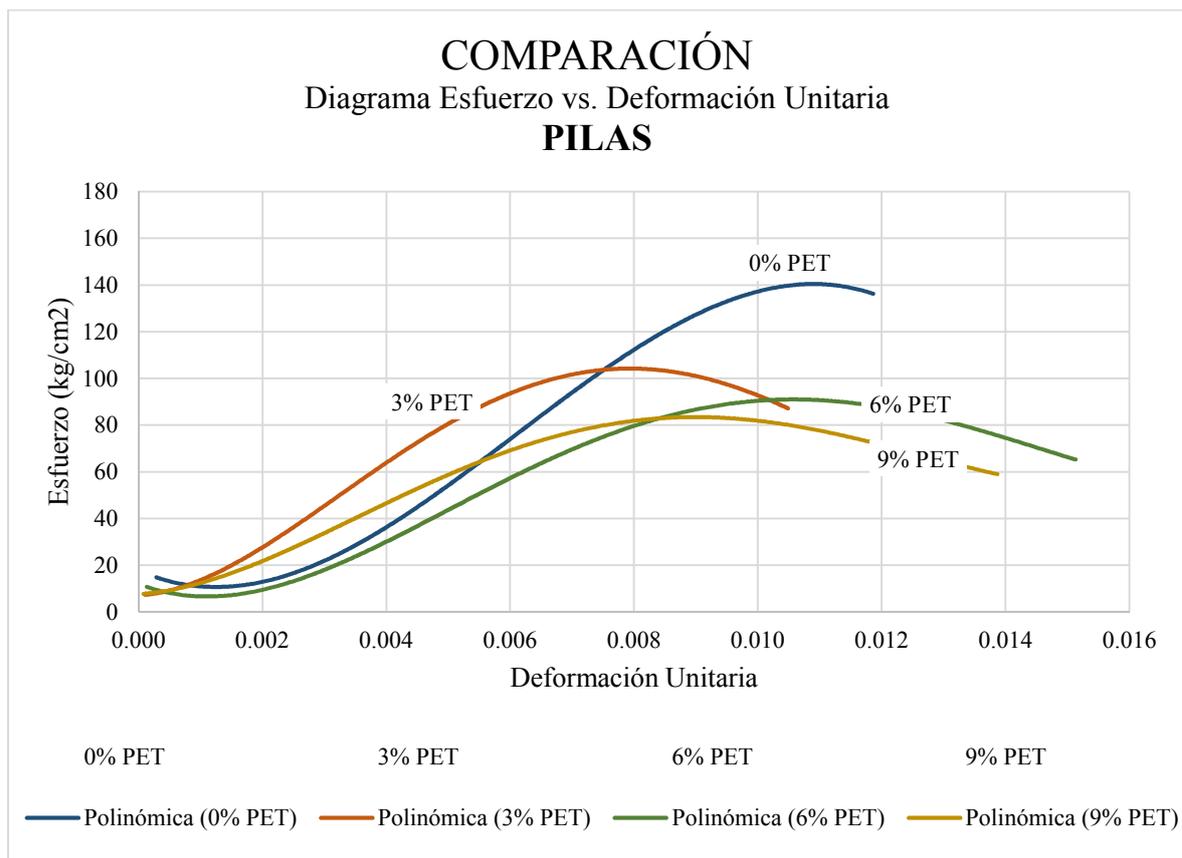


Figura 24. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de las pilas de ladrillos

LINEA DE TENDENCIA		
Tipo	Color	Ecuación de ajuste
0%PET		$y = -3E+08x^3 + 5E+06x^2 - 11775x + 17.774$ $R^2 = 0.9186$
3%PET		$y = 3E+10x^4 - 8E+08x^3 + 6E+06x^2 + 1455.8x + 7.1712$ $R^2 = 0.7501$
6%PET		$y = 1E+10x^4 - 5E+08x^3 + 5E+06x^2 - 10307x + 11.983$ $R^2 = 0.9668$
9%PET		$y = 1E+10x^4 - 4E+08x^3 + 3E+06x^2 + 1692.8x + 7.688$ $R^2 = 0.9682$

De los ensayos se obtuvo la resistencia a compresión y la forma de falla de las pilas. Es necesario remarcar que la esbeltez fue la misma para todas las pilas.

La falla ideal de las pilas de albañilería es una grieta vertical que atraviesa a todas las unidades y al mortero, esta falla es producida por la tracción lateral. Por el contrario, una falla por trituración es indeseable, porque son fallas muy frágiles.

Las pilas con PET 0% y PET 3% presentaron una grieta vertical característica de una falla ideal. Las pilas con PET 6% y PET 9% presentaron una falla frágil, por aplastamiento. Una pila construida con ladrillos con PET al 9% se deslaminó después de la formación de las grietas. Y como se evidencia en la Figura 24, diagrama de esfuerzo vs. deformación unitaria, las pilas con menor contenido de PET presentan una resistencia mayor con menores deformaciones, mientras que las pilas con mayor contenido de PET aceptan mayores deformaciones antes de ceder a la falla, que se consigue con menores esfuerzos.

Tabla 30. Comparación de módulos de elasticidad de pilas de ladrillos PET.

MÓDULO DE ELASTICIDAD (E'm)		
PILAS	E'm (kg/cm ²)	E'm (MPa)
PET 0%	14707.10	1442.27
PET 3%	12700.34	1245.48
PET 6%	11463.21	1124.16
PET 9%	13720.87	1345.56

De la tabla 30 se observa que las pilas de ladrillos de concreto PET tienen un mayor módulo de elasticidad cuando el porcentaje de PET en la unidad es mínimo (PET 0%), y tiene una relación directa con los valores de resistencia a compresión axial (f'_m) además se atribuye el cambio de tendencia en las unidades de PET 9%, un aumento, a la poca precisión cuando se realizaron las lecturas de deformación.

4.5.2. CORTE EN MURETES DE ALBAÑILERÍA

El ensayo se realizó en 03 muretes por cada tipo de ladrillo y se ensayó a los 28 días de edad siguiendo el método establecido en la norma NTP 399.621: 2004. Se analizó la carga de rotura como el área bruta de 12 muretes, como se muestra detalladamente en los Anexos N°18 y N°19. La resistencia característica al corte de la albañilería para cada tipo obtenida, son las siguientes:

Tabla 31. Comparación de resistencia al corte de muretes de ladrillos PET

RESISTENCIA DE LA ALBAÑILERÍA A CORTE		
MURETES	V'm (kg/cm ²)	V'm (MPa)
PET 0%	16.47	1.62
PET 3%	12.83	1.26
PET 6%	13.17	1.29
PET 9%	9.96	0.98

La resistencia a corte que presentan todos los muretes ensayados supera a lo que establece la norma E.070, por lo que la unidad de albañilería puede emplearse en la construcción de muros portantes, y los valores de diseño no será mayor de $0.319\sqrt{f'_m}$, cuyos valores serán 3.62kg/cm², 3.20kg/cm², 2.85kg/cm² y 2.79kg/cm² para los ladrillos con porcentaje de PET de 0%, 3%, 6% y 9% respectivamente. Y se puede inferir de los ensayos que las perforaciones de los ladrillos dejaron pasar mayor cantidad de mortero, lo que aumentó la resistencia, evitando así la falla en la zona de contacto mortero - cara de asiento de ladrillo.

La falla ideal de los muretes de albañilería es una grieta diagonal que atraviesa a todas las unidades, esta falla se presentó en todos los especímenes evidenciando una albañilería de comportamiento monolítico.

De la tabla 31 se puede notar que existe una disminución de la resistencia a corte de los muros de albañilería al incluir PET en la mezcla de producción de los ladrillos.

Del diagrama esfuerzo vs. deformación unitaria (figura 25) se tiene que los muretes con menor contenido de PET presentan mayor deformación en el tramo elástico, pero alcanzan a resistir un esfuerzo final mayor, mientras que los muretes con mayor contenido de PET tienen una deformación menor pero linealmente creciente en el tramo elástico y plástico, llegando a fallar con un esfuerzo menor.

La tendencia inversa a la que se esperaba se puede atribuir las condiciones de toma de datos de deformaciones en el ensayo de corte.

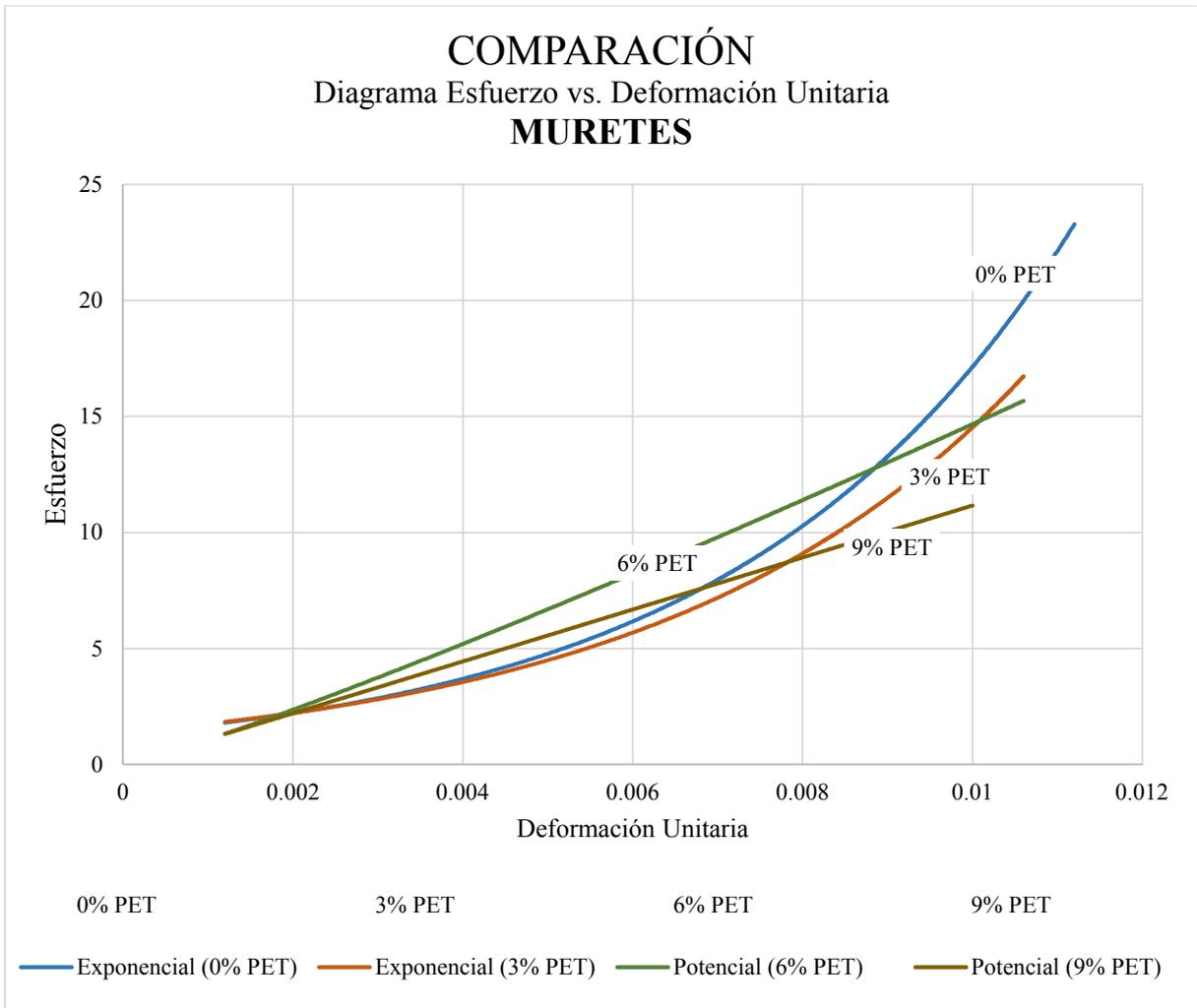


Figura 25. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de los muretes de ladrillos

LINEA DE TENDENCIA		
Tipo	Color	Ecuación de ajuste
0%PET		$y = 1.3372e^{255.14x}$ $R^2 = 0.9286$
3%PET		$y = 1.3987e^{234.14x}$ $R^2 = 0.9421$
6%PET		$y = 2676.6x^{1.1304}$ $R^2 = 0.8652$
9%PET		$y = 1131.3x^{1.0027}$ $R^2 = 0.91$

4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

De acuerdo con los ensayos de variación dimensional, alabeo, absorción y resistencia a compresión de las unidades de albañilería, resistencia a compresión axial de pilas, resistencia a corte de muretes de albañilería, todos los tipos de ladrillo de concreto vibrado con hojuelas de PET reciclado cumplen con los requerimientos de la norma E.070:2006, pero, para fines estructurales, se encasillan en diferentes clases de unidades de albañilería: el tipo de ladrillo de concreto con 0% de PET reciclado (LC PET 0%) es catalogado como Clase IV, a diferencia de los tipos de ladrillo de concreto con 3%, 6% y 9% de PET reciclado (LC PET 0%, LC PET 0%, LC PET 0%) que se catalogan como Clase III; por lo que la adición de hojuelas de PET reciclado producen que los ladrillos de concreto vibrado de alta resistencia y durabilidad pasen a ser ladrillos de mediana resistencia y durabilidad.

Entonces afirmamos que las propiedades mecánicas de los ladrillos de concreto vibrado al adicionar hojuelas de plástico PET reciclado no mejoran, aun así, cumplen con los requerimientos exigidos por la norma E.070:2006 - Albañilería.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las propiedades físicas de los tres tipos de ladrillo de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) en lo que respecta a variación dimensional, contenido de humedad, porcentaje de vacíos y alabeo no varía sustancialmente comparado con el ladrillo patrón (0% PET), pues estas características están relacionadas con la geometría, proceso de fabricación y condiciones de almacenamiento de los ladrillos, que fueron los mismos para todos los tipos.
- Las propiedades físicas de los tres tipos de ladrillo de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) en lo que respecta a succión y absorción aumentan a medida que se incluye el PET en la mezcla, este comportamiento es atribuido a la geometría de las hojuelas de PET reciclado, pues no permiten un óptimo acomodo de las partículas del concreto, generando así mayores poros en éste.
- Las propiedades físicas de los tres tipos de ladrillo de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) en lo que respecta a el peso unitario volumétrico disminuye un máximo de 14% comparado con el ladrillo patrón (0% PET), debido a que el peso específico de los agregados reemplazados es mayor al peso específico del PET reemplazante.
- La resistencia a compresión de los tres tipos de ladrillo de concreto – PET son $f^b = 127.08 \text{ kg/cm}^2$, $f^b = 118.80$ y $f^b = 110.46 \text{ kg/cm}^2$ para porcentajes de 3%, 6% y 9%, y presentan una disminución máxima de la resistencia a compresión de 51.5 kg/cm^2 o 31.8%, respecto del ladrillo patrón (0% PET) $f^b = 161.96 \text{ kg/cm}^2$. Clasificando al ladrillo patrón (0% PET) como unidad de albañilería Clase IV y a los ladrillos de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) como unidad de albañilería Clase III.
- Las pilas de ladrillo de concreto vibrado proporcionaron la resistencia a compresión axial característica de $f^m = 100.83 \text{ kg/cm}^2$, $f^m = 79.79 \text{ kg/cm}^2$ y $f^m = 76.75 \text{ kg/cm}^2$ para porcentajes de 3%, 6% y 9%, habiendo una disminución máxima de 51.8 kg/cm^2 o

40.3%, respecto de la mezcla patrón (0% PET) $f'm = 128.55 \text{ kg/cm}^2$. y cumplen con los valores referenciales de la norma E.070:2006.

- Los muretes de ladrillo de concreto vibrado proporcionaron la resistencia característica a corte de $V'm = 12.83 \text{ kg/cm}^2$, $V'm = 13.17 \text{ kg/cm}^2$ y $V'm = 9.96 \text{ kg/cm}^2$ para porcentajes de 3%, 6% y 9%, habiendo una disminución máxima de 6.51 kg/cm^2 o 39.5%, respecto de la mezcla patrón (0% PET) $V'm = 16.47 \text{ kg/cm}^2$, cumpliendo los valores referenciales superando los valores de diseño estructural estipulados en la norma E.070:2006.
- El mortero tuvo una proporción en pesos secos de 1:4.01 / 23 lt/bolsa y una resistencia a compresión 178.80 kg/cm^2 , similar a la resistencia de los ladrillos, lo que le proporcionó un comportamiento idealmente monolítico a la albañilería. El mortero clasificó como mortero P2.
- Los tres tipos de ladrillos de concreto – PET (3%, 6%, 9% PET) según sus propiedades se clasifican como ladrillos Clase III y el ladrillo patrón (0% PET) se clasifica como ladrillo Clase IV, todos pudiendo ser utilizados estructuralmente.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en futuras investigaciones se experimente con la óptima dosificación de agregados para producir elementos constructivos de concreto vibrado y vibrocompactado en Cajamarca.
- Se recomienda que en investigaciones especializadas se determine las propiedades térmicas y acústicas de la albañilería de unidades con PET reciclado.
- Se recomienda que en investigaciones futuras se experimente el efecto de la vibración en la resistencia del concreto, evaluando diferentes tiempos, frecuencias y amplitudes de movimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angumba, P. 2016. Ladrillos Elaborados con Plástico Reciclado (PET), para Mampostería no Portante. Cuenca, Ecuador. Tesis de Postgrado. Universidad de Cuenca.
- Ambientum, 2000. Reciclado de envases PET (en línea, sitio web). Consultado 24 abr. 2017. Disponible en <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=305>
- Argueta Amador, A. 2006. Proyecto de Inversión en una Planta Recicladora de PET en el Estado de Puebla. Tesis M. Adm. Puebla, México. Universidad de las Americas Puebla.
- Arias, F. 2006. El Proyecto de Investigación. 5 ed. Caracas, Venezuela. Editorial Episteme.
- Arrieta, J; Peñaherrera, E. 2001. Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora. Proyecto de investigación. Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería en convenio CISMID. 67 p.
- ASOCEM. 2015. Indicadores Económicos al 31 de agosto del 2015. Perú. 17p.
- BCRP. 2015. CAJAMARCA: Síntesis de Actividad Económica. Trujillo, Perú. 29p.
- Camargo Macedo, P; Pereira, AM; Akasaki, JL; Fioriti, CF; Payá, J; Pinheiro Melges, JL. 2014. Rendimiento de morteros producidos con la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar. Ingeniería de la Construcción. s.l.
- Cisneros, M; Sánchez, J. 2014. Plan de negocio para planta recicladora de PET. Tesis de posgrado. Lima, Perú. Universidad del Pacífico. 70 p.
- Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible. 2009. Iniciativa por la Sostenibilidad del Cemento - Reciclando Concreto. Geneva, Suiza. WBCSD.
- Dzieciol, M.; Baran, J., 2001. GC-MS analysis of smoke composition during thermal degradation of poly(ethylene terephthalate). *Chemia Analityczna*, 46, 669 – 676.
- Dzieciol, M.; Trzeczynski, J., 1998. Studies of temperature influence on volatile thermal degradation products of poly(ethylene terephthalate). *Journal of Applied Polymer Science*, 77, 1894 – 1901.
- Dzieciol, M.; Trzeczynski, J., 2000. Volatile products of poly(ethylene terephthalate) thermal degradation in nitrogen atmosphere. *Journal of Applied Polymer Science*, 77.

- Elias, X.; Jurado, L. 2012. Reciclaje de residuos industriales. Madrid: Días de Santos S.A.
- Gaggino, R. 2008. Componentes Constructivos Elaborados Con Una Mezcla Cementicia y Agregados de Plásticos Reciclados. Córdoba, Argentina. CEVE – CONICET.
- Gallegos, H; Casabonne, C. 2005. Albañilería Estructural. 3 ed. Lima, Perú. Fondo Editorial de la PUCP.431p.
- Gann, R G., Bryner, N P. 2008. Combustion Products and Their Effects on Life Safety. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, Estados Unidos.
- INDECOPI. 2013. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos. NTP 334.009. 5 ed. Lima, Perú. 29 p.
- INDECOPI. 2013. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. NTP 339.185. Lima, Perú. 16 p.
- INDECOPI. 2011. AGREGADOS. Extracción y preparación de muestras. NTP 400.010. Lima, Perú.
- INDECOPI. 2013. AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. NTP 400.012. 3 ed. Lima, Perú. 20 p.
- INDECOPI. 2011. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso unitario) y los vacíos en los agregados. NTP 400.017. 3 ed. Lima, Perú. 18 p.
- INDECOPI. 2002. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. NTP 400.019. Lima, Perú.
- INDECOPI. 2013. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. NTP 400.021. Lima, Perú. 14 p.
- INDECOPI. 2002. ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo, unidades de albañilería de concreto. NTP 399.604. Lima, Perú. 31 p.
- INDECOPI. 2003. ALBAÑILERÍA. Método de muestreo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. NTP 399.605. Lima, Perú. 12 p.

- INDECOPI. 2003. ALBAÑILERÍA. Especificación normalizada de agregados para mortero de albañilería. NTP 399.607. Lima, Perú. 06 p.
- INDECOPI. 2004. ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión diagonal, muretes de albañilería. NTP 399.621. Lima, Perú. 14 p.
- INDECOPI. 2013. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. NTP 400.022. Lima, Perú. 10 p.
- Luis, A; Rendón, N; Korody, ME. 2008. Diseños de Mezcla de Tereftalato de Polietileno (PET) - Cemento. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela 23(1):77-86.
- Mano, J .2003. Propiedades térmicas de los polímeros en la enseñanza de la ciencia de materiales de ingeniería - Estudios DSC sobre Poli(tereftalato de etileno). Journal of Materials Education, 155-170.
- Molina, S; Vizcaíno, A; Ramírez, F. 2007. Estudio de las características físico - mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacias (META). Tesis de grado. Bogotá, Colombia. Universidad De La Salle. 155p.
- MINAM. 2014. Iniciativa Pobreza y Medio Ambiente (PEI): Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Desarrollo Sostenible e Inclusivo. Lima, Perú.
- MINAM. 2011. Plan Nacional de Acción Ambiental – PLANAA - Perú 2011-2021. 2 ed. Lima, Perú.
- Oliveira de Paula, M; Ferreira, IF; De Souza Rodrigues, C; Osorio Saraz, JA. 2010. Sugarcane Bagasse Ash as a Partial Portland Cement Replacement Material. Revista Dyna 77: 47-54.
- Osorio Saraz, JA; Varón Aristizabal, F; Herrera Mejía, JA. 2007. Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras de Bagazo de Caña de Azúcar. Revista Dyna 74(153): 69-79.
- Pastor Castillo, A; Salazar Oliva, JP; Seminario Regalado, R; Tineo Camacho, A; Zapata Valladolid, JC. 2015. Diseño de Planta Productora de Adoquines a base de Cemento y Plástico Reciclado. Informe Final. Piura, Perú. Universidad de Piura. 97p.

- Pérez Cambra, MP. 2015. Construcción Sostenible de Espacio Público. Barcelona, España. Ediciones UPC
- Plásticos mecanizables. 2017. Politereftalato PET (en línea, sitio web). Consultado 04 abr. 2017. Disponible en http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_pet.html
- Ramirez Luna, DS. 2011. Propuesta de un Material Compuesto con Base al PET Reciclado con Aplicaciones en Construcción. Tesis de grado. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 109p.
- Resolución Ministerial n.º 011, 2006. Norma Técnica E.070 Albañilería. Diario Oficial El Peruano. Perú. 23 may.
- Reyna Pari, CA. 2016. Reutilización de Plástico PET, Papel y Bagazo de Caña de Azúcar, como Materia Prima en la Elaboración de Concreto Ecológico para la Construcción de Viviendas de Bajo Costo. Tesis M. Sc. Trujillo, Perú. Universidad Nacional de Trujillo.
- Riva, E. 2014. Materiales para el Concreto. Lima, Perú. Fondo Editorial ICG.
- Rivera Martinez, LE. 2013. Materiales Alternativos Para La Elaboración De Tabiques Ecológicos. Tesis M. Sc. Obregón, México. Instituto Tecnológico de Sonora. 80p.
- San Bartolomé, A. 2005. Comentarios a la norma técnica de edificación E.070 Albañilería. Lima, Perú. Fondo editorial SENCICO. 147 p.
- San Bartolomé, A. 2001. Construcciones de Albañilería. 3 ed. Lima, Perú. Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 228 p.
- Sutlz, Ronald. 2004. Appropriate Building Materials. St. Gallen, CH. Ed. SKAT Publications.
- Torres Agredo, J; Mejía de Gutiérrez, R; Escandón Giraldo, CE; González Salcedo, LO. 2014. Caracterización de ceniza de bagazo de la caña de azúcar; como material suplementario del cemento portland. Revista Ingeniería e Investigación 34(1):5.
- Vidau, EJ; Vidau, IN. 2015. Método mecánico para la compactación del concreto: la vibración. Revista Construcción y Tecnología 4(11): 22-25.
- Williams, P., Williams, E A., 1999. Interaction of plastics in mixed-plastics pyrolysis. Energy & Fuels, 13, 188 – 196.
- Zavala Arteaga, GJ. 2015. Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado. Informe Final. Santa Tecla, El Salvador. ITCA Fepade. 47p.

ANEXOS

ANEXO 1. Certificado del Laboratorio de Ensayo de Materiales



Universidad Nacional de Cajamarca

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería



EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA :

CONSTANCIA:

Que la Señorita EVELYN ROSARIO ECHEVERRÍA GARRO, Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha realizado sus ensayos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNC, para la Tesis Titulada "LADRILLOS DE CONCRETO CON PLASTICO PET RECICLADO". Dichos ensayos se realizaron del 21 de noviembre de 2016 al 12 de abril de 2017.

Se expide la presente, para los fines que estime conveniente.

Cajamarca, 18 de Julio de 2017.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería

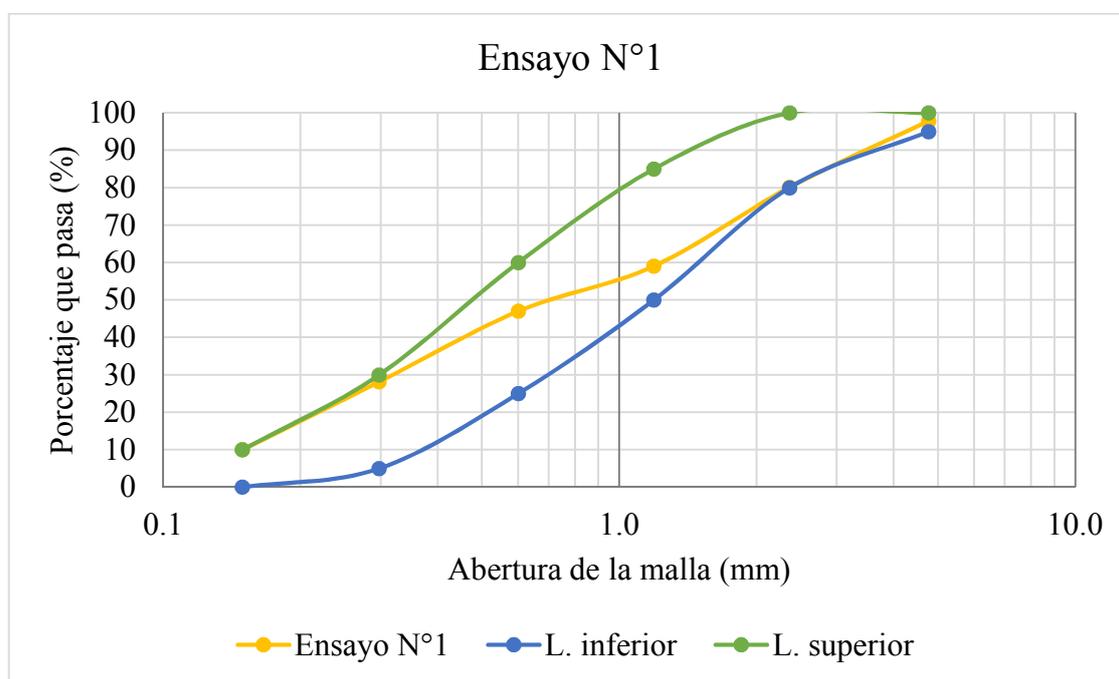
M.Cs. Ing. MAURO CENTELÓN VARGAS
DIRECTOR

ANEXO 2. ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO.

A. Análisis granulométrico del agregado fino. NTP 400.012:2013

Tabla 32. Granulometría del agregado fino – ensayo N°1

ENSAYO N°1					
MALLA		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
Nomenclatura. (N°)	Abertura (mm)				
N° 4	4.760	39.00	2.19	2.19	97.81
N° 8	2.360	315.00	17.70	19.89	80.11
N° 16	1.190	375.00	21.07	40.96	59.04
N° 30	0.600	214.00	12.02	52.98	47.02
N° 50	0.297	336.00	18.88	71.85	28.15
N° 100	0.149	323.00	18.15	90.00	10.00
Cazola		178.00	10.00	100.00	0.00
Total		1780.00	100.00	M.f	2.779

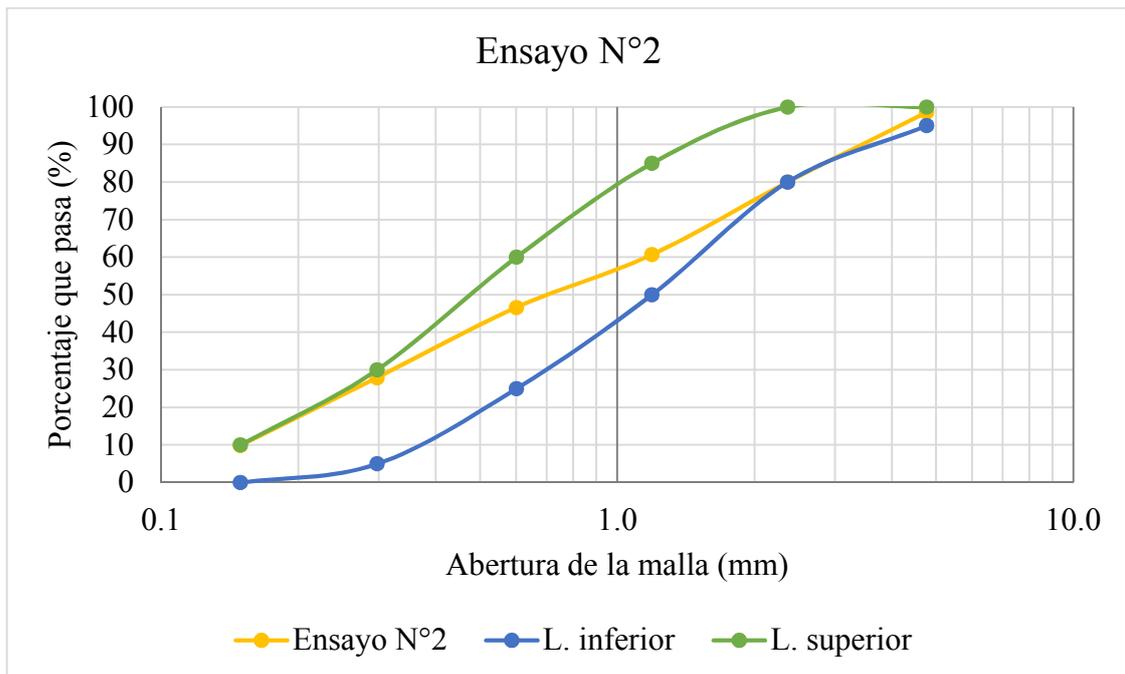


D60 =	1.243	D30 =	0.327	D10 =	0.149
Cu =	8.34	Cc =	0.58		

Figura 26. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°1

Tabla 33. Granulometría del agregado fino – ensayo N°2

ENSAYO N°2					
MALLA		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
Nomenclatura. (N°)	Abertura (mm)				
N° 4	4.760	27.00	1.42	1.42	98.58
N° 8	2.360	354.00	18.58	20.00	80.00
N° 16	1.190	368.00	19.32	39.32	60.68
N° 30	0.600	268.00	14.07	53.39	46.61
N° 50	0.297	356.00	18.69	72.07	27.93
N° 100	0.149	344.00	18.06	90.13	9.87
Cazola		188.00	9.87	100.00	0.00
Total		1905.00	100.00	M.f	2.763



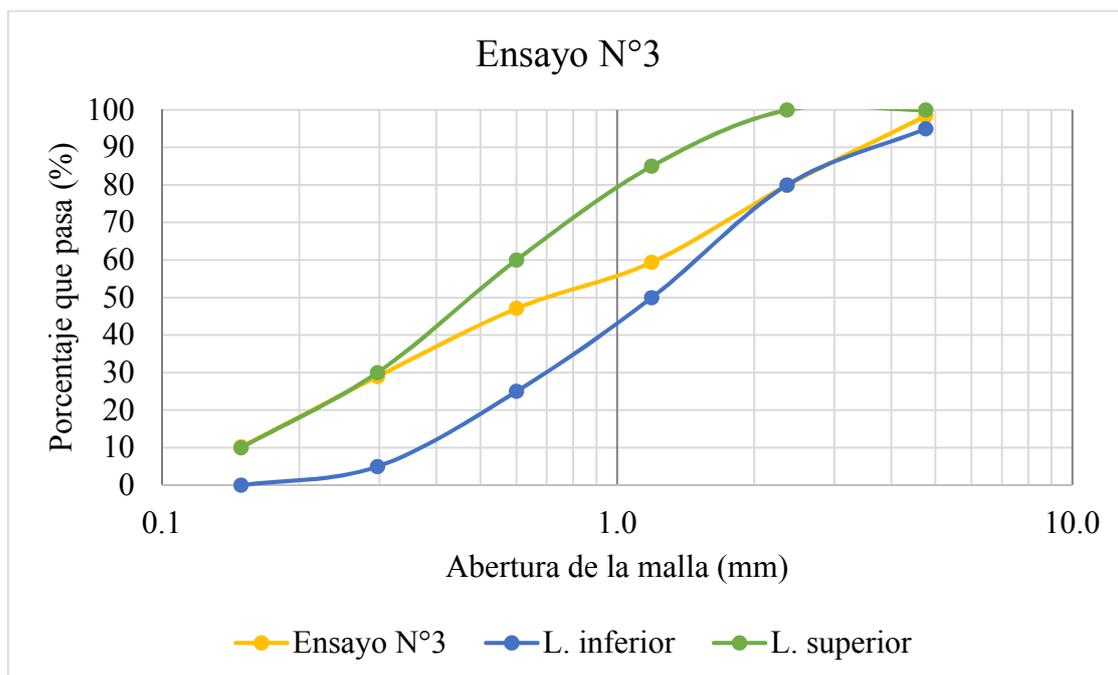
Granulometría cumple con los requisitos de la norma NTP 400.037

D60 =	1.161	D30 =	0.331	D10 =	0.15
	Cu =	7.74	Cc =	0.63	

Figura 27. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°2

Tabla 34. Granulometría del agregado fino – ensayo N°3

ENSAYO N°3					
MALLA		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
Nomenclatura. (N°)	Abertura (mm)				
N° 4	4.760	30.00	1.57	1.57	98.43
N° 8	2.360	353.00	18.48	20.05	79.95
N° 16	1.190	392.00	20.52	40.58	59.42
N° 30	0.600	235.00	12.30	52.88	47.12
N° 50	0.297	347.00	18.17	71.05	28.95
N° 100	0.149	358.00	18.74	89.79	10.21
Cazola		195.00	10.21	100.00	0.00
Total		1910.00	100.00	M.f	2.759



Granulometría cumple con los requisitos de la norma NTP 400.037

D60 =	1.223	D30 =	0.314	D10 =	0.147
	Cu =	8.32	Cc =	0.55	

Figura 28. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°3

B. Contenido de humedad del agregado fino. NTP 339.185:2013

Tabla 35. Contenido de humedad del agregado fino

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	85.00	40.00	60.00	61.67
Peso muestra húmeda más recipiente	g	1065.00	569.00	816.00	816.67
Peso muestra seca más recipiente	g	1055.00	563.00	807.00	808.33
Peso de la muestra húmeda	g	980.00	529.00	756.00	755.00
Peso de la muestra seca	g	970.00	523.00	747.00	746.67
Peso del agua evaporada	g	10.00	6.00	9.00	8.33
Contenido de humedad	%	1.03	1.15	1.20	1.13

C. Peso específico y absorción del agregado fino. NTP 400.022:2013

Tabla 36. Peso específico y absorción del agregado fino

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso en el aire de la muestra secada al horno (W_o)	g	493.50	492.50	494.00	-
Volumen del frasco (V)	cm ³	500.00	500.00	500.00	-
Peso del agua añadida al frasco (V_a)	g	311.00	310.50	311.30	-
Peso Específico de Masa (Pem)	g/cm³	2.611	2.599	2.618	2.609
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca (Pemss)	g/cm³	2.646	2.639	2.650	2.645
Peso Específico Aparente (Pea)	g/cm³	2.704	2.706	2.704	2.705
Absorción (Abs)	%	1.317	1.523	1.215	1.352

D. Peso unitario del agregado fino. NTP 400.017:2011

Tabla 37. Determinación del peso específico del agua.

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso de fiola	g	201.00	201.00	201.00	201.00
Peso de fiola más agua	g	698.90	698.80	698.90	698.87
Peso del agua	g	497.90	497.80	497.90	497.87
Volumen de agua	cm ³	500.00	500.00	500.00	500.00
Peso específico de agua	g/cm³	0.9958	0.9956	0.9958	0.9957

Tabla 38. Cálculo del factor f

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	3882.00	3882.00	3882.00	3882.00
Peso del recipiente más agua	g	6850.00	6857.00	6846.00	6851.00
Peso del agua	g	2968.00	2975.00	2964.00	2969.00
Peso específico del agua	g/cm ³	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957
Factor f	cm³	0.000335	0.000335	0.000336	0.000335

Tabla 39. Peso unitario suelto seco del agregado fino

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	3882.00	3882.00	3882.00	3882.00
Peso del recipiente más agregado	g	8645.00	8663.00	8635.00	8647.67
Peso del agregado	g	4763.00	4781.00	4753.00	4765.67
factor de corrección f	cm ³	0.000335	0.000335	0.000335	0.000335
Peso unitario suelto seco	g/cm³	1.597	1.603	1.594	1.598

Tabla 40. Peso unitario seco compactado del agregado fino

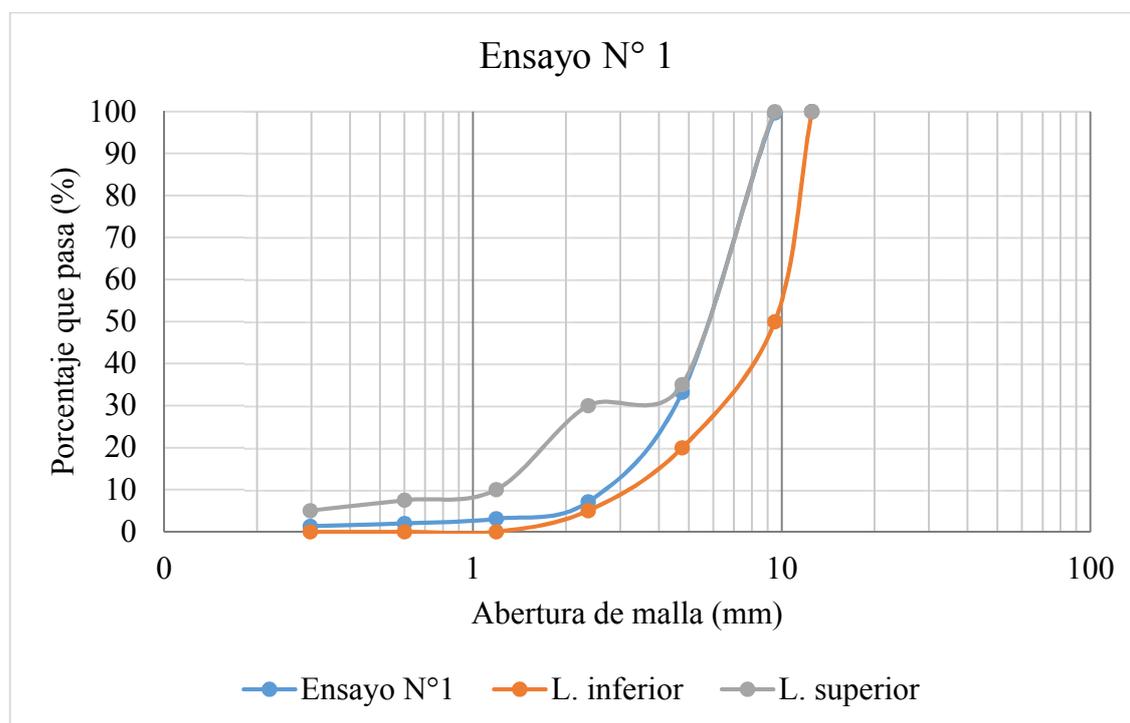
Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	3882.000	3882.000	3882.000	3882.000
Peso del recipiente más agregado	g	9045.000	9088.000	9102.000	9078.333
Peso del agregado	g	5163.000	5206.000	5220.000	5196.333
factor de corrección f	cm ³	0.000335	0.000335	0.000335	0.000335
Peso unitario seco compactado	g/cm³	1.732	1.746	1.751	1.743

ANEXO 3. ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONFITILLO

A. Análisis granulométrico del confitillo. NTP 400.012:2013

Tabla 41. Granulometría del agregado grueso – ensayo N°1

ENSAYO N°1					
MALLA		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
Nomenclatura (N°)	Abertura (mm)				
3/8	9.500	11.00	0.36	0.36	99.64
N° 4	4.760	2007.00	66.46	66.82	33.18
N° 8	2.360	787.00	26.06	92.88	7.12
N° 16	1.190	122.00	4.04	96.92	3.08
N° 30	0.600	33.00	1.09	98.01	1.99
N° 50	0.297	21.00	0.70	98.71	1.29
N° 100	0.149	39.00	1.29	100.00	0.00
Cazola		0.00	0.00	100.00	0.00
Total		3020.00	100.00	M.f	5.54



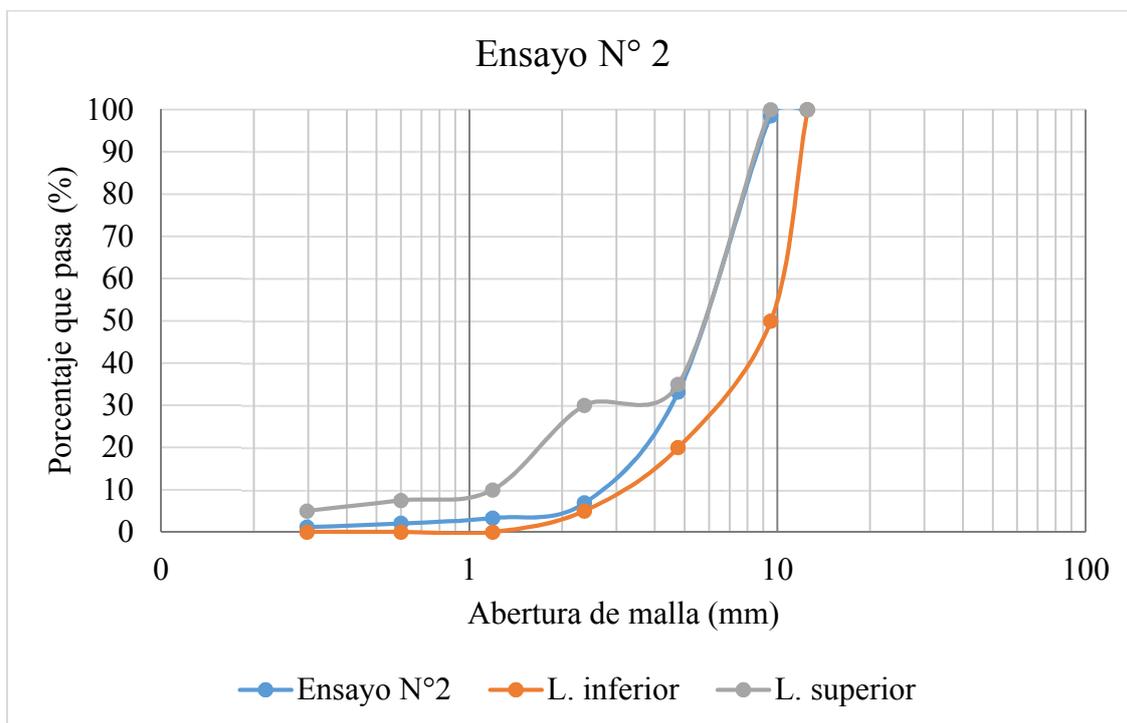
D60 =	6.673	D30 =	4.467	D10 =	2.625
	Cu =	2.54	Cc =	1.14	

Granulometría cumple con los requisitos del HUSO 89 - NTP 400.037

Figura 29. Curva granulométrica del agregado grueso ensayo N°1

Tabla 42. Granulometría del agregado grueso – ensayo N°2

ENSAYO N°2					
MALLA		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
Nomenclatura (N°)	Abertura (mm)				
3/8	9.5	42.00	1.40	1.40	98.60
N° 4	4.760	1969.00	65.42	66.81	33.19
N° 8	2.360	791.00	26.28	93.09	6.91
N° 16	1.190	107.00	3.55	96.64	3.36
N° 30	0.600	38.00	1.26	97.91	2.09
N° 50	0.297	27.00	0.90	98.80	1.20
N° 100	0.149	36.00	1.20	100.00	0.00
Cazola		0.00	0.00	100.00	0.00
Total		3010.00	100.00	M.f	5.55



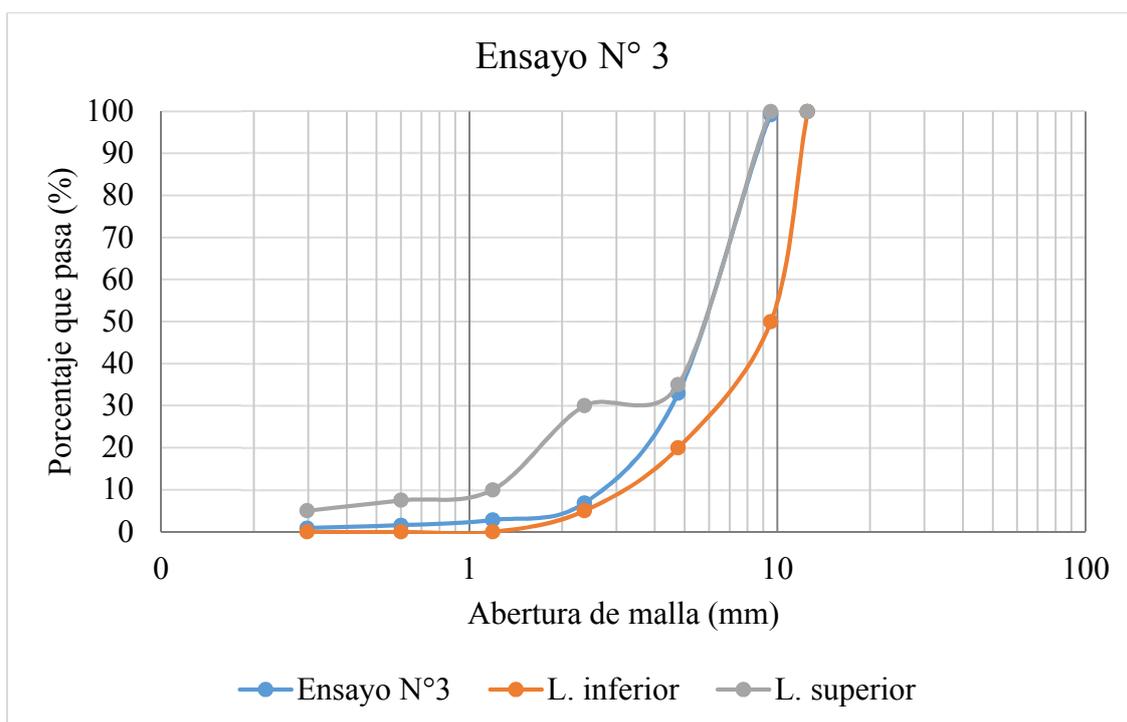
D60 =	6.703	D30 =	4.469	D10 =	2.642
	Cu =	2.54	Cc =	1.13	

Granulometría cumple con los requisitos del HUSO 89 - NTP 400.037

Figura 30. Curva granulométrica del agregado grueso ensayo N°2

Tabla 43. Granulometría del agregado grueso – ensayo N°3

ENSAYO N°3					
MALLA		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
Nomenclatura (N°)	Abertura (mm)				
3/8	9.500	24.00	0.80	0.80	99.20
N° 4	4.760	1986.00	66.20	67.00	33.00
N° 8	2.360	785.00	26.17	93.17	6.83
N° 16	1.190	121.00	4.03	97.20	2.80
N° 30	0.600	37.00	1.23	98.43	1.57
N° 50	0.297	21.00	0.70	99.13	0.87
N° 100	0.149	26.00	0.87	100.00	0.00
Cazola		0.00	0.00	100.00	0.00
Total		3000.00	100.00	M.f	5.56



D60 =	6.693	D30 =	4.485	D10 =	2.651
	Cu =	2.52	Cc =	1.13	

Granulometría cumple con los requisitos del HUSO 89 - NTP 400.037

Figura 31. Curva granulométrica del agregado grueso ensayo N°3

B. Contenido de humedad del confitillo. NTP 339.185:2013

Tabla 44. Contenido de humedad del agregado grueso

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	28.1	25.7	27.4	27.1
Peso muestra húmeda más recipiente	g	622.5	198.7	219.8	347.0
Peso muestra seca más recipiente	g	618.4	197.5	218.4	344.8
Peso de la muestra húmeda	g	594.4	173	192.4	319.9
Peso de la muestra seca	g	590.3	171.8	191	317.7
Peso del agua evaporada	g	4.1	1.2	1.4	2.2
Contenido de humedad	%	0.69	0.70	0.73	0.71

C. Peso específico y absorción del confitillo. NTP 400.021:2013

Tabla 45. Peso específico y absorción del agregado grueso

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
A = peso en el aire de la muestra secada al horno	g	2963.00	2962.50	1540.80	
B = peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	g	3000.00	3000.00	1560.00	
C = peso en el agua de la muestra saturada	g	1861.60	1859.15	963.10	
Peso Específico de Masa	g/cm³	2.603	2.597	2.581	2.594
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca	g/cm³	2.635	2.630	2.614	2.626
Peso Específico Aparente	g/cm³	2.690	2.685	2.667	2.681
Absorción	%	1.249	1.266	1.246	1.254

D. Peso unitario del confitillo. NTP 400.021:2013

Tabla 46. Determinación del peso específico del agua

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso de fiola	g	201.00	201.00	201.00	201.00
Peso de fiola más agua	g	698.90	698.80	698.90	698.87
Peso del agua	g	497.90	497.80	497.90	497.87
Volumen de agua	cm ³	500.00	500.00	500.00	500.00
Peso específico de agua	g/cm³	0.9958	0.9956	0.9958	0.9957

Tabla 47. Cálculo del factor f

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	3882.00	3882.00	3882.00	3882.00
Peso del recipiente más agua	g	6850.00	6857.00	6846.00	6851.00
Peso del agua	g	2968.00	2975.00	2964.00	2969.00
Peso específico del agua	g/cm ³	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957
Factor f	cm³	0.000335	0.000335	0.000336	0.000335

Tabla 48. Peso unitario suelto seco del agregado grueso

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	3882.00	3882.00	3882.00	3882.00
Peso del recipiente más agregado	g	7825.00	7840.00	7860.00	7841.67
Peso del agregado	g	3943.00	3958.00	3978.00	3959.67
factor de corrección f	cm ³	0.000335	0.000335	0.000335	0.000335
Peso unitario suelto seco	g/cm³	1.322	1.327	1.334	1.328

Tabla 49. Peso unitario seco compactado del agregado grueso

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	3882.00	3882.00	3882.00	3882.00
Peso del recipiente más agregado	g	8320.00	8375.00	8355.00	8350.00
Peso del agregado	g	4438.00	4493.00	4473.00	4468.00
factor de corrección f	cm ³	0.000335	0.000335	0.000335	0.000335
Peso unitario seco compactado	g/cm³	1.488	1.507	1.500	1.498

E. Resistencia a la abrasión del confitillo. NTP 400.019:2014

Tabla 50. Resistencia a la abrasión

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso original de la muestra	5000	g
Peso final de la muestra	3645	g
Desgaste (DE)	27.1	%

ANEXO 4. ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL PET

A. Análisis granulométrico de las hojuelas de PET. NTP 400.012:2013

Tabla 51. Granulometría del PET – ensayo N°1.

ENSAYO N°1					
TAMIZ		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
Nomenclatura. (N°)	Abertura (mm)				
N° 4	4.760	690.00	69.00	69.00	31.00
N° 8	2.360	265.00	26.50	95.50	4.50
N° 16	1.190	25.00	2.50	98.00	2.00
N° 30	0.600	10.00	1.00	99.00	1.00
N° 50	0.297	10.00	1.00	100.00	0.00
N° 100	0.149	0.00	0.00	100.00	0.00
Cazola		0.00	0.00	100.00	0.00
Total		1000.00	100.00	M.f	5.62

Tabla 52. Granulometría del PET – ensayo N°2

ENSAYO N°2					
TAMIZ		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
Nomenclatura. (N°)	Abertura (mm)				
N° 4	4.760	929.00	68.81	68.81	31.19
N° 8	2.360	357.00	26.44	95.26	4.74
N° 16	1.190	35.00	2.59	97.85	2.15
N° 30	0.600	13.00	0.96	98.81	1.19
N° 50	0.297	16.00	1.19	100.00	0.00
N° 100	0.149	0.00	0.00	100.00	0.00
Cazola		0.00	0.00	100.00	0.00
Total		1350.00	100.00	M.f	5.61

Tabla 53. Granulometría del PET – ensayo N°3

ENSAYO N°3					
TAMIZ		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
Nomenclatura. (N°)	Abertura (mm)				
N° 4	4.760	838.00	69.83	69.83	30.17
N° 8	2.360	317.00	26.42	96.25	3.75
N° 16	1.190	22.00	1.83	98.08	1.92
N° 30	0.600	11.00	0.92	99.00	1.00
N° 50	0.297	12.00	1.00	100.00	0.00
N° 100	0.149	0.00	0.00	100.00	0.00
Cazola		0.00	0.00	100.00	0.00
Total		1200.00	100.00	M.f	5.63

B. Peso específico y absorción de las hojuelas de PET. NTP 400.022:2013

Tabla 54. Peso específico y absorción del PET

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
S = peso de la muestra saturada con superficie seca	g	150.00	96.00	120.00	122.00
Wo = peso en el aire de la muestra secada al horno	g	132.00	85.90	107.00	108.30
V = volumen del frasco	cm3	700.00	600.00	600.00	633.33
Va = peso del agua añadida al frasco	g	585.00	536.00	527.00	549.33
Peso Específico de Masa	g/cm3	1.15	1.34	1.47	1.32

C. Peso unitario de las hojuelas de PET. NTP 400.017:2011

Tabla 55. Determinación del peso específico del agua

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso de fiola	g	201.00	201.00	201.00	201.00
Peso de fiola más agua	g	698.90	698.90	698.90	698.90
Peso del agua	g	497.90	497.90	497.90	497.90
Volumen de agua	cm3	500	500	500	500
Peso específico de agua	g/cm3	0.996	0.996	0.996	0.996

Tabla 56. Cálculo del factor f

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	3882.00	3882.00	3882.00	3882.00
Peso del recipiente más agua	g	6850.00	6857.00	6846.00	6851.00
Peso del agua	g	2968.00	2975.00	2964.00	2969.00
Peso específico del agua	g/cm ³	0.996	0.996	0.996	0.996
Factor f	cm³	0.000336	0.000335	0.000336	0.000335

Tabla 57. Peso unitario suelto seco del PET

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	3882.00	3882.00	3882.00	3882.00
Peso del recipiente más agregado	g	4770.00	4753.00	4764.00	4762.33
Peso del agregado	g	888.00	871.00	882.00	880.33
factor de corrección f	cm ³	0.000335	0.000335	0.000335	0.000335
Peso unitario suelto seco	g/cm³	0.298	0.292	0.296	0.295

Tabla 58. Peso unitario seco compactado del PET

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Peso del recipiente	g	3882.00	3882.00	3882.00	3882.00
Peso del recipiente más agregado	g	5000.00	5009.00	4998.00	5002.33
Peso del agregado	g	1118.00	1127.00	1116.00	1120.33
factor de corrección f	cm ³	0.000335	0.000335	0.000335	0.000335
Peso unitario seco compactado	g/cm³	0.375	0.378	0.374	0.376

ANEXO 5. DISEÑOS DE MEZCLAS LADRILLO VIBRADO PATRÓN

Tabla 59. Diseño de mezcla del ladrillo patrón por resistencia.

MÉTODO MÓDULO DE FINEZA DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS				
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES				
CARACTERÍSTICA	ARENA		CONFITILLO	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm ³	1.33	g/cm ³
Peso unitario compactado	1.74	g/cm ³	1.50	g/cm ³
Peso específico de masa	2.61	g/cm ³	2.59	g/cm ³
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm ³	2.63	g/cm ³
Peso específico aparente	2.70	g/cm ³	2.68	g/cm ³
Absorción	1.35	%	1.25	%
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%
Tamaño máximo nominal	-		3/8"	
Módulo de finura	2.77		5.55	
Abrasión Los Ángeles	-		27.1	%
	CEMENTO		AGUA	
Peso específico de masa	3.12 g/cm ³		1.00 g/cm ³	
1°	Resistencia promedio requerida			
	$f'_{cp} = f'_c + 70 =$		$140 + 70 = 210$	
2°	Selección de los asentamientos			
	Consistencia: Seca		Slump: 0" a 2"	
3°	Selección del tamaño máximo de los agregados			
	T.M : 3/8"			
4°	Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.			
	Agua: 205		Aire: 3%	
5°	Selección de la relación agua-cemento (a/c) - Resistencia			
	a/c : 0.68			
6°	Cálculo del contenido de cemento			
	$C = \text{Agua de mezclado} / (\text{relación a/c}) =$		205.00	0.68
	$C =$		301.47 kg/m³	= 7.09 bolsas/m³
7°	Cálculo del módulo de fineza de la combinación de agregados (mc)			
	mc = 4.05			
8°	Estimación del contenido de agregado fino			
	$r_f = \frac{mg - mc}{mg - m_f}$	$= \frac{5.55 - 4.05}{5.55 - 2.77}$	$=$	0.5385
9°	Estimación del contenido de agregado grueso			
	$r_g = 1 - r_f =$			0.4615
10°	Volumen absoluto de la pasta		11° Volumen absoluto de agregados	
	Cemento = 0.0966		Arena =	0.3599 m ³
	Agua = 0.2050		Confitillo =	0.3085 m ³
	Aire = 0.0300			
	<u>0.3316</u>			
12°	Cantidad de materiales por m ³			
	Materiales	Materiales de diseño	Mat. corregidos por humedad	
	Cemento	301.47 Kg / m ³	301.47 Kg / m ³	
	Arena	939.13 Kg / m ³	949.71 Kg / m ³	
	Confitillo	800.03 Kg / m ³	805.71 Kg / m ³	
	Agua	205.00 lts / m ³	211.43 lts / m ³	
13°	PROPORCIÓN EN PESO	1.0	3.2	2.7 0.70

Tabla 60. Diseño de mezcla del ladrillo patrón por durabilidad.

MÉTODO MÓDULO DE FINEZA DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS				
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES				
CARACTERÍSTICA	ARENA		CONFITILLO	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm ³	1.33	g/cm ³
Peso unitario compactado	1.74	g/cm ³	1.50	g/cm ³
Peso específico de masa	2.61	g/cm ³	2.59	g/cm ³
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm ³	2.63	g/cm ³
Peso específico aparente	2.70	g/cm ³	2.68	g/cm ³
Absorción	1.35	%	1.25	%
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%
Tamaño máximo nominal	-		3/8"	
Módulo de finura	2.77		5.55	
Abrasión Los Ángeles	-		27.1	%
	CEMENTO		AGUA	
Peso específico de masa	3.12 g/cm ³		1.00 g/cm ³	
1°	Resistencia promedio requerida			
	$f'_{cp} = f'_c + 70 = 140 + 70 = 210$			
2°	Selección de los asentamientos			
	Consistencia: Seca		Slump: 0" a 2"	
3°	Selección del tamaño máximo de los agregados			
	T.M : 3/8"			
4°	Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.			
	Agua: 205		Aire: 3%	
5°	Selección de la relación agua-cemento (a/c) - Durabilidad			
	a/c : 0.4			
6°	Cálculo del contenido de cemento			
	$C = \text{Agua de mezclado} / (\text{relación a/c}) =$		205.00	0.4
	$C =$		512.5 kg/m³	= 12.06 bolsas/m³
7°	Cálculo del módulo de fineza de la combinación de agregados (mc)			
	mc = 4.43			
8°	Estimación del contenido de agregado fino			
	$rf = \frac{mg - mc}{mg - mf}$	$= \frac{5.55 - 4.43}{5.55 - 2.77}$	$=$	0.4018
9°	Estimación del contenido de agregado grueso			
	$rg = 1 - rf = 0.5982$			
10°	Volumen absoluto de la pasta		11° Volumen absoluto de agregados	
	Cemento = 0.1643 Agua = 0.2050 Aire = $\frac{0.0300}{0.3993}$		Arena = 0.2414 m ³ Confitillo = 0.3594 m ³	
12°	Cantidad de materiales por m ³			
	Materiales	Materiales de diseño	Mat. corregidos por humedad	
	Cemento	512.50 Kg / m ³	512.50 Kg / m ³	
	Arena	629.83 Kg / m ³	636.92 Kg / m ³	
	Confitillo	932.05 Kg / m ³	938.67 Kg / m ³	
	Agua	205.00 lts / m ³	211.45 lts / m ³	
13°	PROPORCIÓN EN PESO	1.0	1.2	1.8 0.41

Tabla 61. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 4: 2)

LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO				
DOSIFICACIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PRUEBA				
1 : 4 : 2				
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES				
CARACTERÍSTICA	ARENA		CONFITILLO	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm ³	1.33	g/cm ³
Peso unitario compactado	1.74	g/cm ³	1.50	g/cm ³
Peso específico de masa	2.61	g/cm ³	2.59	g/cm ³
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm ³	2.63	g/cm ³
Peso específico aparente	2.70	g/cm ³	2.68	g/cm ³
Absorción	1.35	%	1.25	%
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%
Tamaño máximo nominal	-		3/8"	
Módulo de finura	2.77		5.55	
Abrasión Los Ángeles	-		27.1	%
	CEMENTO		AGUA	
Peso específico de masa	3.12	g/cm ³	1.00	g/cm ³
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO				
Materiales	Proporción en Volumen		Proporción en Peso	
Cemento	1 pie ³		1 pie ³	
Arena	4.0 pie ³		4.31 pie ³	
Confitillo	2.0 pie ³		1.78 pie ³	
Agua	18.00 lts/bls		18.00 lts/bls	
PESO SECO DE LOS MATERIALES POR TANDA				
Materiales	Peso			
Cemento	42.5 Kg / bolsa			
Arena	179.0 Kg / bolsa			
Confitillo	74.7 Kg / bolsa			
Agua	17.2 lts/bls			
bolsas/m ³	7.6 bolsas/m ³			
CANTIDAD DE MATERIALES POR M³				
Materiales	Materiales de diseño		Mat. corregidos por humedad	
Cemento	321.53 Kg / m ³		321.53 Kg / m ³	
Arena	1354.34 Kg / m ³		1369.59 Kg / m ³	
Confitillo	564.98 Kg / m ³		568.99 Kg / m ³	
Agua	130.08 lts / m ³		136.18 lts / m ³	

Tabla 62. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 4: 3)

LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO				
DOSIFICACIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PRUEBA				
1 : 4 : 3				
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES				
CARACTERÍSTICA	ARENA		CONFITILLO	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm ³	1.33	g/cm ³
Peso unitario compactado	1.74	g/cm ³	1.50	g/cm ³
Peso específico de masa	2.61	g/cm ³	2.59	g/cm ³
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm ³	2.63	g/cm ³
Peso específico aparente	2.70	g/cm ³	2.68	g/cm ³
Absorción	1.35	%	1.25	%
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%
Tamaño máximo nominal	-		3/8"	
Módulo de finura	2.77		5.55	
Abrasión Los Ángeles	-		27.1	%
	CEMENTO		AGUA	
Peso específico de masa	3.12	g/cm ³	1.00	g/cm ³
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO				
Materiales	Proporción en Volumen		Proporción en Peso	
Cemento	1 pie ³		1 pie ³	
Arena	4.0 pie ³		4.31 pie ³	
Confitillo	3.0 pie ³		2.67 pie ³	
Agua	18.00 lts/bls		18.00 lts/bls	
PESO SECO DE LOS MATERIALES POR TANDA				
Materiales	Peso			
Cemento	42.5 Kg / bolsa			
Arena	179.0 Kg / bolsa			
Confitillo	112.0 Kg / bolsa			
Agua	17.0 lts/bls			
bolsas/m ³	6.8 bolsas/m ³			
CANTIDAD DE MATERIALES POR M³				
Materiales	Materiales de diseño		Mat. corregidos por humedad	
Cemento	289.48 Kg / m ³		289.48 Kg / m ³	
Arena	1219.34 Kg / m ³		1233.08 Kg / m ³	
Confitillo	762.99 Kg / m ³		768.41 Kg / m ³	
Agua	115.74 lts / m ³		122.60 lts / m ³	

Tabla 63. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 5: 2)

LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO				
DOSIFICACIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PRUEBA				
1 : 5 : 2				
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES				
CARACTERÍSTICA	ARENA		CONFITILLO	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm ³	1.33	g/cm ³
Peso unitario compactado	1.74	g/cm ³	1.50	g/cm ³
Peso específico de masa	2.61	g/cm ³	2.59	g/cm ³
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm ³	2.63	g/cm ³
Peso específico aparente	2.70	g/cm ³	2.68	g/cm ³
Absorción	1.35	%	1.25	%
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%
Tamaño máximo nominal	-		3/8"	
Módulo de finura	2.77		5.55	
Abrasión Los Ángeles	-		27.1	%
	CEMENTO		AGUA	
Peso específico de masa	3.12	g/cm ³	1.00	g/cm ³
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO				
Materiales	Proporción en Volumen		Proporción en Peso	
Cemento	1 pie ³		1 pie ³	
Arena	5.0 pie ³		5.38 pie ³	
Confitillo	2.0 pie ³		1.78 pie ³	
Agua	18.00 lts/bls		18.00 lts/bls	
PESO SECO DE LOS MATERIALES POR TANDA				
Materiales	Peso			
Cemento	42.5 Kg / bolsa			
Arena	223.8 Kg / bolsa			
Confitillo	74.7 Kg / bolsa			
Agua	17.1 lts/bls			
bolsas/m ³	6.7 bolsas/m ³			
CANTIDAD DE MATERIALES POR M³				
Materiales	Materiales de diseño		Mat. corregidos por humedad	
Cemento	283.79 Kg / m ³		283.79 Kg / m ³	
Arena	1494.21 Kg / m ³		1511.04 Kg / m ³	
Confitillo	498.66 Kg / m ³		502.20 Kg / m ³	
Agua	114.14 lts / m ³		120.19 lts / m ³	

Tabla 64. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 5: 3)

LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO				
DOSIFICACIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PRUEBA				
1 : 5 : 3				
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES				
CARACTERÍSTICA	ARENA		CONFITILLO	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm ³	1.33	g/cm ³
Peso unitario compactado	1.74	g/cm ³	1.50	g/cm ³
Peso específico de masa	2.61	g/cm ³	2.59	g/cm ³
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm ³	2.63	g/cm ³
Peso específico aparente	2.70	g/cm ³	2.68	g/cm ³
Absorción	1.35	%	1.25	%
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%
Tamaño máximo nominal	-		3/8"	
Módulo de finura	2.77		5.55	
Abrasión Los Ángeles	-		27.1	%
	CEMENTO		AGUA	
Peso específico de masa	3.12	g/cm ³	1.00	g/cm ³
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO				
Materiales	Proporción en Volumen		Proporción en Peso	
Cemento	1 pie ³		1 pie ³	
Arena	5.0 pie ³		5.38 pie ³	
Confitillo	3.0 pie ³		2.67 pie ³	
Agua	18.00 lts/bls		18.00 lts/bls	
PESO SECO DE LOS MATERIALES POR TANDA				
Materiales	Peso			
Cemento	42.5 Kg / bolsa			
Arena	223.8 Kg / bolsa			
Confitillo	112.0 Kg / bolsa			
Agua	16.9 lts/bls			
bolsas/m ³	6.1 bolsas/m ³			
CANTIDAD DE MATERIALES POR M³				
Materiales	Materiales de diseño		Mat. corregidos por humedad	
Cemento	258.53 Kg / m ³		258.53 Kg / m ³	
Arena	1361.20 Kg / m ³		1376.53 Kg / m ³	
Confitillo	681.41 Kg / m ³		686.24 Kg / m ³	
Agua	102.75 lts / m ³		109.49 lts / m ³	

Tabla 65. Diseño de mezcla del ladrillo patrón (1: 5.5: 2.5)

LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO				
DOSIFICACIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PRUEBA				
1 : 5.5 : 2.5				
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES				
CARACTERÍSTICA	ARENA		CONFITILLO	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm ³	1.33	g/cm ³
Peso unitario compactado	1.74	g/cm ³	1.50	g/cm ³
Peso específico de masa	2.61	g/cm ³	2.59	g/cm ³
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm ³	2.63	g/cm ³
Peso específico aparente	2.70	g/cm ³	2.68	g/cm ³
Absorción	1.35	%	1.25	%
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%
Tamaño máximo nominal	-		3/8"	
Módulo de finura	2.77		5.55	
Abrasión Los Ángeles	-		27.1	%
	CEMENTO		AGUA	
Peso específico de masa	3.12	g/cm ³	1.00	g/cm ³
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO				
Materiales	Proporción en Volumen		Proporción en Peso	
Cemento	1 pie ³		1 pie ³	
Arena	5.5 pie ³		5.92 pie ³	
Confitillo	2.5 pie ³		2.23 pie ³	
Agua	18.00 lts/bls		18.00 lts/bls	
PESO SECO DE LOS MATERIALES POR TANDA				
Materiales	Peso			
Cemento	42.5 Kg / bolsa			
Arena	246.1 Kg / bolsa			
Confitillo	93.3 Kg / bolsa			
Agua	16.9 lts/bls			
bolsas/m ³	6.0 bolsas/m ³			
CANTIDAD DE MATERIALES POR M³				
Materiales	Materiales de diseño		Mat. corregidos por humedad	
Cemento	256.23 Kg / m ³		256.23 Kg / m ³	
Arena	1484.03 Kg / m ³		1500.75 Kg / m ³	
Confitillo	562.80 Kg / m ³		566.79 Kg / m ³	
Agua	102.14 lts / m ³		108.52 lts / m ³	

ANEXO 6. DISEÑOS DE MEZCLAS DE LADRILLO DE CONCRETOS - PET
 Tabla 66. Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con PET (PET al 0%)

LADRILLOS DE CONCRETO CON PLÁSTICO PET RECICLADO							
DOSIFICACIÓN DE MATERIALES DE LADRILLO CONCRETO - PET 0%							
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES							
PROPIEDAD	ARENA		GRAVILLA		PET		
Peso unitario suelto	1.60	g/cm3	1.33	g/cm3	0.30	g/cm3	
Peso unitario compactado	1.74	g/cm3	1.50	g/cm3	0.38	g/cm3	
Peso específico de masa	2.61	g/cm3	2.59	g/cm3	1.32	g/cm3	
Peso específico de masa s.s.s	2.65	g/cm3	2.63	g/cm3			
Peso específico aparente	2.70	g/cm3	2.68	g/cm3			
Absorción	1.35	%	1.25	%			
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%			
Tamaño máximo nominal	-		3/8"				
Módulo de finura	2.80		5.55		5.62		
Abrasión los ángeles	-		27.1	%			
	CEMENTO		AGUA				
Peso específico de masa	3.12	g/cm3	1.00	g/cm3			
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO				PESO SECO POR TANDA			
Materiales	En Volumen		En Peso		Materiales	Peso	
Cemento	1	pie3	1	pie3	Cemento	42.5	Kg / bls
Arena	5.5	pie3	5.92	pie3	Arena	246.1	Kg / bls
Confitillo	2.5	pie3	2.23	pie3	Confitillo	93.3	Kg / bls
Agua	18.00	lts/bls	18.00	lts/bls	Agua	16.9	lts/bls
					bolsas/m3	6.0	bls/m3
CANTIDAD DE MATERIALES DE LADRILLO DE CONCRETO POR M3							
Materiales	Materiales de diseño			Mat. corregidos por humedad			
Cemento	256.2 Kg / m3			256.2 Kg / m3			
Arena	1483.7 Kg / m3			1500.5 Kg / m3			
Confitillo	562.8 Kg / m3			566.8 Kg / m3			
Agua	102.2 lts / m3			108.5 lts / m3			
VOLUMEN ABSOLUTO DE MATERIALES							
Materiales	Materiales de diseño			Con PET			
Cemento	0.0821 m3			0.0821 m3			
PET				0.0 m3			
Arena	0.5687 m3			0.5687 m3			
Confitillo	0.2170 m3			0.2170 m3			
Agua	0.1022 m3			0.1022 m3			
CANTIDAD DE MATERIALES DE LADRILLO DE CONCRETO - PET POR M3							
Materiales	Materiales de diseño			Mat. corregidos por humedad			
Cemento	256.2 Kg / m3			256.2 Kg / m3			
PET	0.0 Kg / m3			0.0 Kg / m3			
Arena	1483.7 Kg / m3			1500.5 lts/m3			
Confitillo	562.8 Kg / m3			566.8 Kg / m3			
Agua	102.2 lts/m3			108.6 Kg / m3			

Tabla 67. Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con PET (PET al 3%)

LADRILLOS DE CONCRETO CON PLÁSTICO PET RECICLADO						
DOSIFICACIÓN DE MATERIALES DE LADRILLO CONCRETO - PET 3%						
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES						
PROPIEDAD	ARENA		GRAVILLA		PET	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm3	1.33	g/cm3	0.30	g/cm3
Peso unitario compactado	1.74	g/cm3	1.50	g/cm3	0.38	g/cm3
Peso específico de masa	2.61	g/cm3	2.59	g/cm3	1.32	g/cm3
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm3	2.63	g/cm3		
Peso específico aparente	2.70	g/cm3	2.68	g/cm3		
Absorción	1.35	%	1.25	%		
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%		
Tamaño máximo nominal	-		3/8"			
Módulo de finura	2.80		5.55		5.62	
Abrasión los ángulos	-		27.1	%		
	CEMENTO			AGUA		
Peso específico de masa	3.12	g/cm3	1.00	g/cm3		
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO				PESO SECO POR TANDA		
Materiales	En Volumen		En Peso		Materiales	Peso
Cemento	1	pie3	1	pie3	Cemento	42.5 Kg / bls
Arena	5.5	pie3	5.92	pie3	Arena	246.1 Kg / bls
Confitillo	2.5	pie3	2.23	pie3	Confitillo	93.3 Kg / bls
Agua	18.00	lts/bls	18.00	lts/bls	Agua	16.9 lts/bls
					bolsas/m3	6.0 bls/m3
CANTIDAD DE MATERIALES DE LADRILLO DE CONCRETO POR M3						
Materiales	Materiales de diseño		Mat. corregidos por humedad			
Cemento	256.2 Kg / m3		256.2 Kg / m3			
Arena	1483.7 Kg / m3		1500.5 Kg / m3			
Confitillo	562.8 Kg / m3		566.8 Kg / m3			
Agua	102.2 lts / m3		108.5 lts / m3			
VOLUMEN ABSOLUTO DE MATERIALES						
Materiales	Materiales de diseño		Con PET			
Cemento	0.0821 m3		0.0821 m3			
PET			0.03 m3			
Arena	0.5687 m3		0.5470 m3			
Confitillo	0.2170 m3		0.2087 m3			
Agua	0.1022 m3		0.1022 m3			
CANTIDAD DE MATERIALES DE LADRILLO DE CONCRETO - PET POR M3						
Materiales	Materiales de diseño		Mat. corregidos por humedad			
Cemento	256.2 Kg / m3		256.2 Kg / m3			
PET	39.5 Kg / m3		39.5 Kg / m3			
Arena	1427.1 Kg / m3		1443.2 lts/m3			
Confitillo	541.3 Kg / m3		545.2 Kg / m3			
Agua	102.2 lts/m3		108.3 Kg / m3			

Tabla 68. Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con PET (PET al 6%)

LADRILLOS DE CONCRETO CON PLÁSTICO PET RECICLADO						
DOSIFICACIÓN DE MATERIALES DE LADRILLO CONCRETO - PET 6%						
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES						
PROPIEDAD	ARENA		GRAVILLA		PET	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm3	1.33	g/cm3	0.30	g/cm3
Peso unitario compactado	1.74	g/cm3	1.50	g/cm3	0.38	g/cm3
Peso específico de masa	2.61	g/cm3	2.59	g/cm3	1.32	g/cm3
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm3	2.63	g/cm3		
Peso específico aparente	2.70	g/cm3	2.68	g/cm3		
Absorción	1.35	%	1.25	%		
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%		
Tamaño máximo nominal	-		3/8"			
Módulo de finura	2.80		5.55		5.62	
Abrasión los ángeles	-		27.1	%		
	CEMENTO			AGUA		
Peso específico de masa	3.12	g/cm3	1.00	g/cm3		
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO				PESO SECO POR TANDA		
Materiales	En Volumen		En Peso		Materiales	Peso
Cemento	1	pie3	1	pie3	Cemento	42.5 Kg / bls
Arena	5.5	pie3	5.92	pie3	Arena	246.1 Kg / bls
Confitillo	2.5	pie3	2.23	pie3	Confitillo	93.3 Kg / bls
Agua	18.00	lts/bls	18.00	lts/bls	Agua	16.9 lts/bls
					bolsas/m3	6.0 bls/m3
CANTIDAD DE MATERIALES DE LADRILLO DE CONCRETO POR M3						
Materiales	Materiales de diseño			Mat. corregidos por humedad		
Cemento	256.2 Kg / m3			256.2 Kg / m3		
Arena	1483.7 Kg / m3			1500.5 Kg / m3		
Confitillo	562.8 Kg / m3			566.8 Kg / m3		
Agua	102.2 lts / m3			108.5 lts / m3		
VOLUMEN ABSOLUTO DE MATERIALES						
Materiales	Materiales de diseño			Con PET		
Cemento	0.0821 m3			0.0821 m3		
PET				0.06 m3		
Arena	0.5687 m3			0.5253 m3		
Confitillo	0.2170 m3			0.2004 m3		
Agua	0.1022 m3			0.1022 m3		
CANTIDAD DE MATERIALES DE LADRILLO DE CONCRETO - PET POR M3						
Materiales	Materiales de diseño			Mat. corregidos por humedad		
Cemento	256.2 Kg / m3			256.2 Kg / m3		
PET	78.9 Kg / m3			78.9 Kg / m3		
Arena	1370.4 Kg / m3			1385.9 lts/m3		
Confitillo	519.8 Kg / m3			523.5 Kg / m3		
Agua	102.2 lts/m3			108.1 Kg / m3		

Tabla 69. Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con PET (PET al 9%)

LADRILLOS DE CONCRETO CON PLÁSTICO PET RECICLADO						
DOSIFICACIÓN DE MATERIALES DE LADRILLO CONCRETO - PET 9%						
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES						
PROPIEDAD	ARENA		GRAVILLA		PET	
Peso unitario suelto	1.60	g/cm3	1.33	g/cm3	0.30	g/cm3
Peso unitario compactado	1.74	g/cm3	1.50	g/cm3	0.38	g/cm3
Peso específico de masa	2.61	g/cm3	2.59	g/cm3	1.32	g/cm3
Peso específico de masa s.s.s.	2.65	g/cm3	2.63	g/cm3		
Peso específico aparente	2.70	g/cm3	2.68	g/cm3		
Absorción	1.35	%	1.25	%		
Contenido de humedad	1.13	%	0.71	%		
Tamaño máximo nominal	-		3/8"			
Módulo de finura	2.80		5.55		5.62	
Abrasión los ángeles	-		27.1	%		
	CEMENTO			AGUA		
Peso específico de masa	3.12	g/cm3	1.00	g/cm3		
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO				PESO SECO POR TANDA		
Materiales	En Volumen		En Peso		Materiales	Peso
Cemento	1	pie3	1	pie3	Cemento	42.5 Kg / bls
Arena	5.5	pie3	5.92	pie3	Arena	246.1 Kg / bls
Confitillo	2.5	pie3	2.23	pie3	Confitillo	93.3 Kg / bls
Agua	18.00	lts/bls	18.00	lts/bls	Agua	16.9 lts/bls
					bolsas/m3	6.0 bls/m3
CANTIDAD DE MATERIALES DE LADRILLO DE CONCRETO POR M3						
Materiales	Materiales de diseño			Mat. corregidos por humedad		
Cemento	256.2 Kg / m3			256.2 Kg / m3		
Arena	1483.7 Kg / m3			1500.5 Kg / m3		
Confitillo	562.8 Kg / m3			566.8 Kg / m3		
Agua	102.2 lts / m3			108.5 lts / m3		
VOLUMEN ABSOLUTO DE MATERIALES						
Materiales	Materiales de diseño			Con PET		
Cemento	0.0821 m3			0.0821 m3		
PET				0.09 m3		
Arena	0.5687 m3			0.5035 m3		
Confitillo	0.2170 m3			0.1921 m3		
Agua	0.1022 m3			0.1022 m3		
CANTIDAD DE MATERIALES DE LADRILLO DE CONCRETO - PET POR M3						
Materiales	Materiales de diseño			Mat. corregidos por humedad		
Cemento	256.2 Kg / m3			256.2 Kg / m3		
PET	118.4 Kg / m3			118.4 Kg / m3		
Arena	1313.8 Kg / m3			1328.6 lts/m3		
Confitillo	498.3 Kg / m3			501.9 Kg / m3		
Agua	102.2 lts/m3			107.8 Kg / m3		

ANEXO 7. DISEÑO DE MEZCLA DEL MORTERO

Tabla 70. Diseño de mezcla del mortero

LADRILLOS DE CONCRETO CON PLÁSTICO PET RECICLADO DOSIFICACIÓN DE MATERIALES PARA EL MORTERO 1 : 4 / 0.81		
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES		
CARACTERÍSTICA	ARENA	CEMENTO
Peso unitario suelto	1.56 g/cm ³	3.12 g/cm ³
Peso unitario compactado	1.74 g/cm ³	AGUA
Peso específico de masa	2.58 g/cm ³	1.00 g/cm ³
Peso específico de masa s.s.s.	2.62 g/cm ³	
Peso específico aparente	2.68 g/cm ³	
Absorción	1.44 %	
Contenido de humedad	8.59 %	
Módulo de finura	2.61	
PROPORCIÓN DE LOS MATERIALES DE DISEÑO		
Materiales	Proporción en Volumen	Proporción en Peso
Cemento	1 pie ³	1 pie ³
Arena	4.0 pie ³	4.52 pie ³
Agua	23.00 lts/bls	23.00 lts/bls
PESO SECO DE LOS MATERIALES POR TANDA		
Materiales	Peso	
Cemento	42.5 Kg / bolsa	
Arena	162.8 Kg / bolsa	
Agua	34.6 lts/bls	
bolsas/m ³	8.6 bolsas/m ³	
CANTIDAD DE MATERIALES POR M3		
Materiales	Materiales de diseño	Mat. corregidos por humedad
Cemento	366.50 Kg / m ³	366.50 Kg / m ³
Arena	1403.91 Kg / m ³	1524.46 Kg / m ³
Agua	298.66 lts / m ³	198.34 lts / m ³

ANEXO 8. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL

Tabla 71. Resultado del ensayo de variación dimensional de los ladrillos PET 0%

VARIACIÓN DIMENSIONAL LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 0%																
Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)					
	L1	L2	L3	L4	Lp	A1	A2	A3	A4	Ap	H1	H2	H3	H4	Hp	
LC PET 0% - 01	219.00	221.50	219.00	218.90	219.60	129.36	128.18	128.58	130.70	129.21	88.88	86.22	89.10	89.24	88.36	
LC PET 0% - 02	219.00	221.50	219.50	218.80	219.70	129.16	129.20	129.78	130.54	129.67	85.40	89.20	88.60	89.30	88.13	
LC PET 0% - 03	220.00	221.00	221.00	219.00	220.25	130.72	130.48	130.54	130.74	130.62	87.03	86.02	87.08	86.62	86.69	
LC PET 0% - 04	218.00	221.50	219.50	217.50	219.13	129.76	130.60	129.56	132.00	130.48	86.32	88.30	86.72	88.32	87.42	
LC PET 0% - 05	220.00	221.50	220.00	219.00	220.13	130.64	132.10	130.54	131.12	131.10	86.10	84.76	85.72	85.94	85.63	
LC PET 0% - 06	219.50	221.00	220.00	218.50	219.75	130.04	130.10	129.56	132.10	130.45	84.00	86.68	84.42	85.60	85.18	
LC PET 0% - 07	219.00	220.05	220.00	218.50	219.39	129.76	129.06	130.02	131.04	129.97	87.68	88.66	89.24	86.78	88.09	
LC PET 0% - 08	220.00	221.50	220.80	218.80	220.28	131.32	131.22	131.60	132.00	131.54	84.12	85.52	85.72	85.10	85.12	
LC PET 0% - 09	219.80	221.00	219.50	219.00	219.83	129.30	129.36	129.12	130.34	129.53	86.22	89.10	87.08	89.00	87.85	
LC PET 0% - 10	219.95	222.00	220.00	219.00	220.24	130.50	130.74	130.04	131.70	130.75	86.72	85.10	85.02	86.20	85.76	
LC PET 0% - 11	219.00	221.00	219.00	219.00	219.50	129.00	128.92	129.36	130.34	129.41	85.62	88.40	88.06	89.10	87.80	
LC PET 0% - 12	220.05	222.00	220.08	219.00	220.28	131.42	131.74	131.10	131.74	131.50	85.12	84.12	84.96	84.34	84.64	
LC PET 0% - 13	218.90	220.09	219.90	218.00	219.22	129.10	129.00	129.30	130.54	129.49	86.26	89.66	86.34	87.22	87.37	
LC PET 0% - 14	218.02	221.00	220.60	218.00	219.41	129.36	130.04	129.08	130.48	129.74	86.30	88.66	86.88	88.14	87.50	
LC PET 0% - 15	219.92	221.02	220.50	218.75	220.05	129.30	130.70	130.44	131.12	130.39	85.38	87.18	87.22	89.20	87.25	
LC PET 0% - 16	219.98	221.04	218.90	218.95	219.72	130.00	129.36	129.36	131.32	130.01	88.66	88.32	85.22	86.50	87.18	
	Largo fabricación				L :	220.00	Ancho fabricación			A :	130.00	Altura fabricación			H :	90.00
	Desv. Estándar				σ :	0.39	Desv. Estándar			σ :	0.73	Desv. Estándar			σ :	1.21
	Largo Promedio				Lp :	219.78	Ancho Promedio			Ap :	130.24	Altura Promedio			Hp :	86.87
	Var. Dimensional				V% :	0.10%	Var. Dimensional			V% :	0.18%	Var. Dimensional			V% :	3.48%

Tabla 72. Resultado del ensayo de variación dimensional de los ladrillos PET 3%

VARIACIÓN DIMENSIONAL LADRILLO DE CONCRETO PET RECICLADO 3%																		
Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)							
	L1	L2	L3	L4	Lp	A1	A2	A3	A4	Ap	H1	H2	H3	H4	Hp			
LC PET 3% - 01	219.00	220.00	223.50	220.00	220.63	131.08	133.38	132.28	132.40	132.29	86.84	86.72	86.90	85.10	86.39			
LC PET 3% - 02	219.20	219.50	221.20	220.00	219.98	129.76	129.10	129.12	131.40	129.85	87.10	86.58	89.12	90.00	88.20			
LC PET 3% - 03	220.00	221.10	224.00	221.00	221.53	131.22	131.92	132.32	134.46	132.48	86.10	86.42	87.50	86.32	86.59			
LC PET 3% - 04	219.00	219.40	221.20	220.00	219.90	130.38	129.70	130.00	133.18	130.82	87.78	88.56	88.08	86.30	87.68			
LC PET 3% - 05	219.00	220.00	220.50	219.40	219.73	130.28	130.00	130.00	131.76	130.51	87.78	87.76	87.56	90.00	88.28			
LC PET 3% - 06	219.02	219.07	222.00	219.50	219.90	129.10	129.56	130.08	131.64	130.10	88.60	89.08	87.58	89.06	88.58			
LC PET 3% - 07	218.90	220.00	221.50	219.50	219.98	131.00	131.10	130.64	132.66	131.35	86.52	87.00	87.20	90.00	87.68			
LC PET 3% - 08	219.00	219.50	222.00	220.00	220.13	130.10	130.14	130.58	131.28	130.53	89.80	88.46	88.24	87.92	88.61			
LC PET 3% - 09	219.40	221.00	223.00	221.00	221.10	132.10	132.00	132.04	134.18	132.58	84.20	85.00	85.10	86.72	85.26			
LC PET 3% - 10	218.60	220.00	222.00	220.00	220.15	131.70	131.72	131.60	134.00	132.26	87.32	87.50	86.46	87.38	87.17			
LC PET 3% - 11	219.90	220.50	224.00	221.00	221.35	131.10	132.10	131.80	133.20	132.05	85.14	85.64	87.78	86.40	86.24			
LC PET 3% - 12	218.60	220.00	222.50	220.80	220.48	130.68	132.00	132.00	133.00	131.92	88.18	86.20	86.40	87.30	87.02			
LC PET 3% - 13	219.20	219.40	221.80	219.60	220.00	129.40	129.18	129.76	131.22	129.89	87.30	89.66	89.70	88.08	88.69			
LC PET 3% - 14	219.10	220.00	221.60	220.00	220.18	132.00	131.82	131.00	132.80	131.91	88.00	85.50	87.80	86.32	86.91			
LC PET 3% - 15	219.80	221.00	223.00	220.50	221.08	131.32	131.48	130.74	133.26	131.70	86.52	88.48	88.28	88.20	87.87			
LC PET 3% - 16	219.00	221.00	223.00	220.00	220.75	131.12	131.00	131.10	133.42	131.66	86.02	88.00	86.46	87.96	87.11			
	Largo fabricación				L :	220.00	Ancho fabricación				A :	130.00	Altura fabricación				H :	90.00
	Desv. Estándar				σ :	0.57	Desv. Estándar				σ :	0.95	Desv. Estándar				σ :	0.98
	Largo Promedio				Lp :	220.43	Ancho Promedio				Ap :	131.37	Altura Promedio				Hp :	87.39
	Var. Dimensional				V% :	0.19%	Var. Dimensional				V% :	1.05%	Var. Dimensional				V% :	2.90%

Tabla 73. Resultado del ensayo de variación dimensional de los ladrillos PET 6%

VARIACIÓN DIMENSIONAL LADRILLO DE CONCRETO PET RECICLADO 6%															
Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lp	A1	A2	A3	A4	Ap	H1	H2	H3	H4	Hp
LC PET 6% - 01	218.80	220.00	222.10	219.20	220.03	132.78	132.54	132.00	132.62	132.49	85.48	87.96	87.06	89.10	87.40
LC PET 6% - 02	220.00	220.30	222.70	219.90	220.73	132.08	132.56	132.32	135.00	132.99	85.00	86.06	87.66	86.34	86.27
LC PET 6% - 03	218.10	219.20	221.10	218.90	219.33	132.00	132.28	132.88	133.32	132.62	88.00	87.04	84.82	88.24	87.03
LC PET 6% - 04	218.40	220.00	240.00	220.00	224.60	133.68	133.98	133.40	135.00	134.02	87.00	84.24	83.68	84.52	84.86
LC PET 6% - 05	218.20	219.50	221.40	219.80	219.73	132.38	132.48	131.62	133.28	132.44	85.68	87.22	85.10	86.30	86.08
LC PET 6% - 06	219.00	219.00	221.80	220.00	219.95	132.62	132.76	132.32	134.48	133.05	87.14	86.34	82.50	86.00	85.50
LC PET 6% - 07	219.60	220.00	222.50	220.00	220.53	133.40	132.00	132.54	134.54	133.12	86.76	85.78	86.30	85.78	86.16
LC PET 6% - 08	219.50	219.00	221.30	220.00	219.95	131.76	132.34	132.18	134.30	132.65	86.20	85.88	86.10	86.00	86.05
LC PET 6% - 09	219.90	221.00	222.00	220.00	220.73	132.90	132.54	133.00	135.00	133.36	86.32	85.00	86.02	86.18	85.88
LC PET 6% - 10	220.00	219.60	221.30	220.00	220.23	132.00	132.00	133.00	133.64	132.66	87.00	86.68	87.38	88.42	87.37
LC PET 6% - 11	218.60	219.30	221.00	219.40	219.58	132.66	132.64	132.74	133.78	132.96	85.30	87.72	86.68	87.30	86.75
LC PET 6% - 12	218.80	219.20	222.40	220.00	220.10	132.20	132.32	133.00	133.56	132.77	85.50	87.12	86.82	88.26	86.93
LC PET 6% - 13	220.00	220.00	222.00	219.00	220.25	133.54	131.96	131.98	133.74	132.81	85.00	88.14	87.86	88.32	87.33
LC PET 6% - 14	219.20	220.10	222.10	220.60	220.50	132.78	132.70	133.18	135.00	133.42	85.30	86.80	84.72	85.00	85.46
LC PET 6% - 15	220.00	220.00	222.50	219.70	220.55	132.50	132.52	133.00	134.70	133.18	88.30	86.52	86.66	85.44	86.73
LC PET 6% - 16	220.50	220.00	222.00	219.00	220.38	131.48	132.20	132.66	133.14	132.37	88.54	85.48	85.64	96.68	89.09
	Largo fabricación				L : 220.00	Ancho fabricación				A : 130.00	Altura fabricación				H : 90.00
	Desv. Estándar				σ : 1.18	Desv. Estándar				σ : 0.43	Desv. Estándar				σ : 1.01
	Largo Promedio				Lp : 220.45	Ancho Promedio				Ap : 132.93	Altura Promedio				Hp : 86.55
	Var. Dimensional				V% : 0.20%	Var. Dimensional				V% : 2.25%	Var. Dimensional				V% : 3.83%

Tabla 74. Resultado del ensayo de variación dimensional de los ladrillos PET 9%

VARIACIÓN DIMENSIONAL LADRILLO DE CONCRETO PET RECICLADO 9%															
Espécimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lp	A1	A2	A3	A4	Ap	H1	H2	H3	H4	Hp
LC PET 9% - 01	219.20	219.60	221.20	220.20	220.05	131.22	131.88	131.92	133.18	132.05	89.44	89.26	89.82	89.96	89.62
LC PET 9% - 02	219.00	220.20	222.50	220.00	220.43	131.48	131.78	132.00	133.00	132.07	89.80	86.58	87.00	89.18	88.14
LC PET 9% - 03	221.00	218.70	223.00	221.20	220.98	133.40	133.56	133.48	136.00	134.11	87.42	89.68	89.52	85.96	88.15
LC PET 9% - 04	219.50	221.00	223.50	220.50	221.13	132.36	132.28	133.00	133.30	132.74	88.00	88.00	87.38	86.26	87.41
LC PET 9% - 05	220.20	219.70	221.90	219.40	220.30	132.00	131.78	131.80	134.00	132.40	88.00	89.16	89.88	88.30	88.84
LC PET 9% - 06	219.10	221.00	222.60	219.80	220.63	132.66	133.00	132.22	134.10	133.00	92.00	88.30	88.80	90.58	89.92
LC PET 9% - 07	219.90	220.90	222.20	219.90	220.73	132.36	132.00	132.40	134.20	132.74	89.58	87.00	86.16	88.22	87.74
LC PET 9% - 08	219.70	220.00	222.90	220.20	220.70	132.84	131.36	132.00	133.72	132.48	87.54	88.28	89.40	88.44	88.42
LC PET 9% - 09	220.90	220.00	221.10	219.70	220.43	131.86	131.88	132.00	133.16	132.23	90.76	88.00	88.00	88.92	88.92
LC PET 9% - 10	220.20	221.00	222.90	220.00	221.03	132.00	131.48	132.40	133.76	132.41	90.58	88.10	86.44	88.26	88.35
LC PET 9% - 11	219.60	220.00	221.10	220.00	220.18	131.82	130.98	131.86	133.00	131.92	87.62	88.00	90.64	88.00	88.57
LC PET 9% - 12	219.00	220.40	222.10	219.20	220.18	131.74	131.58	131.50	132.78	131.90	89.52	88.54	90.40	88.10	89.14
LC PET 9% - 13	218.90	219.90	221.70	220.90	220.35	132.08	130.84	131.66	132.00	131.65	89.12	91.00	90.08	90.16	90.09
LC PET 9% - 14	220.00	219.80	222.00	220.30	220.53	132.32	131.72	132.34	132.70	132.27	88.72	89.92	89.22	88.00	88.97
LC PET 9% - 15	220.00	219.80	221.70	219.20	220.18	131.60	132.00	131.54	132.28	131.86	91.00	89.52	88.74	88.60	89.47
LC PET 9% - 16	220.20	220.00	222.10	220.00	220.58	131.58	131.46	132.60	133.00	132.16	91.36	87.42	90.00	88.22	89.25
	Largo fabricación				L : 220.00	Ancho fabricación				A : 130.00	Altura fabricación				H : 90.00
	Desv. Estándar				σ : 0.33	Desv. Estándar				σ : 0.59	Desv. Estándar				σ : 0.76
	Largo Promedio				Lp : 220.52	Ancho Promedio				Ap : 132.37	Altura Promedio				Hp : 88.81
	Var. Dimensional				V% : 0.24%	Var. Dimensional				V% : 1.82%	Var. Dimensional				V% : 1.32%

ANEXO 9. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Tabla 75. Resultado del ensayo de contenido de humedad de los ladrillos PET 0%

CONTENIDO DE HUMEDAD LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 0%			
Espécimen	Peso Inicial (g)	Peso Seco (g)	Contenido de Humedad (%)
LC PET 0% - 01	4365	4145	5.31
LC PET 0% - 02	4365	4140	5.43
LC PET 0% - 03	4350	4120	5.58
LC PET 0% - 04	4330	4135	4.72
LC PET 0% - 05	4260	3975	7.17
LC PET 0% - 06	4260	4010	6.23
LC PET 0% - 07	4340	4065	6.77
LC PET 0% - 08	4305	4060	6.03
Contenido de Humedad Promedio			5.91
Desviación Estándar			0.81
Contenido de Humedad (%)			5.10
Coeficiente de Variación			13.67%

Tabla 76. Resultado del ensayo de contenido de humedad de los ladrillos PET 3%

CONTENIDO DE HUMEDAD LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 3%			
Espécimen	Peso Inicial (g)	Peso Seco (g)	Contenido de Humedad (%)
LC PET 3% - 01	4160	3870	7.49
LC PET 3% - 02	4180	3942	6.04
LC PET 3% - 03	4270	3958	7.88
LC PET 3% - 04	4235	3967	6.76
LC PET 3% - 05	4180	3910	6.91
LC PET 3% - 06	4225	3924	7.67
LC PET 3% - 07	4180	3890	7.46
LC PET 3% - 08	4170	3880	7.47
Contenido de Humedad Promedio			7.21
Desviación Estándar			0.60
Contenido de Humedad (%)			6.61
Coeficiente de Variación			8.37%

Tabla 77. Resultado del ensayo de contenido de humedad de los ladrillos PET 6%

CONTENIDO DE HUMEDAD LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 6%			
Espécimen	Peso Inicial (g)	Peso Seco (g)	Contenido de Humedad (%)
LC PET 6% - 01	3953	3710	6.55
LC PET 6% - 02	3897	3701	5.30
LC PET 6% - 03	4068	3823	6.41
LC PET 6% - 04	3987	3774	5.64
LC PET 6% - 05	4020	3799	5.82
LC PET 6% - 06	3995	3772	5.91
LC PET 6% - 07	3962	3712	6.73
LC PET 6% - 08	3951	3727	6.01
Contenido de Humedad Promedio			6.05
Desviación Estándar			0.49
Contenido de Humedad (%)			5.56
Coeficiente de Variación			8.04%

Tabla 78. Resultado del ensayo de contenido de humedad de los ladrillos PET 9%

CONTENIDO DE HUMEDAD LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 9%			
Espécimen	Peso Inicial (g)	Peso Seco (g)	Contenido de Humedad (%)
LC PET 9% - 01	3805	3585	6.14
LC PET 9% - 02	3885	3662	6.09
LC PET 9% - 03	3903	3676	6.18
LC PET 9% - 04	3898	3662	6.44
LC PET 9% - 05	3875	3616	7.16
LC PET 9% - 06	3953	3687	7.21
LC PET 9% - 07	3890	3635	7.02
LC PET 9% - 08	3846	3617	6.33
Contenido de Humedad Promedio			6.57
Desviación Estándar			0.48
Contenido de Humedad (%)			6.09
Coeficiente de Variación			7.30%

ANEXO 10. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO

Tabla 79. Resultado del ensayo del peso unitario volumétrico de los ladrillos PET 0%

PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 0%							
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen (cm³)	Peso Seco (g)	Peso Unit.Vol. (g/cm³)	
	Largo	Ancho	Altura				
LC PET 0% - 01	219.60	129.21	88.36	2507.08	4145	1.65	
LC PET 0% - 02	219.70	129.67	88.13	2510.55	4140	1.65	
LC PET 0% - 03	220.25	130.62	86.69	2493.92	4120	1.65	
LC PET 0% - 04	219.13	130.48	87.42	2499.32	4135	1.65	
LC PET 0% - 05	220.13	131.10	85.63	2471.14	3975	1.61	
LC PET 0% - 06	219.75	130.45	85.18	2441.66	4010	1.64	
LC PET 0% - 07	219.39	129.97	88.09	2511.78	4065	1.62	
LC PET 0% - 08	220.28	131.54	85.12	2466.11	4060	1.65	
					Peso unitario volumétrico promedio		1.64
					Desviación Estándar		0.02
					Peso unitario volumétrico (g/cm³)		1.62
					Coeficiente de Variación		1.06%

Tabla 80. Resultado del ensayo del peso unitario volumétrico de los ladrillos PET 3%

PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 3%							
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen (cm³)	Peso Seco (g)	Peso Unit.Vol. (g/cm³)	
	Largo	Ancho	Altura				
LC PET 3% - 01	220.63	132.29	86.39	2521.32	3870	1.53	
LC PET 3% - 02	219.98	129.85	88.20	2519.23	3942	1.56	
LC PET 3% - 03	221.53	132.48	86.59	2541.06	3958	1.56	
LC PET 3% - 04	219.90	130.82	87.68	2522.22	3967	1.57	
LC PET 3% - 05	219.73	130.51	88.28	2531.40	3910	1.54	
LC PET 3% - 06	219.90	130.10	88.58	2534.06	3924	1.55	
LC PET 3% - 07	219.98	131.35	87.68	2533.40	3890	1.54	
LC PET 3% - 08	220.13	130.53	88.61	2545.78	3880	1.52	
					Peso unitario volumétrico promedio		1.55
					Desviación Estándar		0.02
					Peso unitario volumétrico (g/cm³)		1.53
					Coeficiente de Variación		1.06%

Tabla 81. Resultado del ensayo del peso unitario volumétrico de los ladrillos PET 6%

PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 6%						
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen (cm³)	Peso Seco (g)	Peso Unit.Vol. (g/cm³)
	Largo	Ancho	Altura			
LC PET 6% - 01	220.03	132.49	87.40	2547.71	3710	1.46
LC PET 6% - 02	220.73	132.99	86.27	2532.24	3701	1.46
LC PET 6% - 03	219.33	132.62	87.03	2531.29	3823	1.51
LC PET 6% - 04	224.60	134.02	84.86	2554.27	3774	1.48
LC PET 6% - 05	219.73	132.44	86.08	2504.82	3799	1.52
LC PET 6% - 06	219.95	133.05	85.50	2501.86	3772	1.51
LC PET 6% - 07	220.53	133.12	86.16	2529.19	3712	1.47
LC PET 6% - 08	219.95	132.65	86.05	2510.39	3727	1.48
Peso unitario volumétrico promedio						1.49
Desviación Estándar						0.02
Peso unitario volumétrico (g/cm³)						1.46
Coeficiente de Variación						1.59%

Tabla 82. Resultado del ensayo del peso unitario volumétrico de los ladrillos PET 9%

PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 9%						
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen (cm³)	Peso Seco (g)	Peso Unit.Vol. (g/cm³)
	Largo	Ancho	Altura			
LC PET 9% - 01	220.05	132.05	89.62	2604.14	3585	1.38
LC PET 9% - 02	220.43	132.07	88.14	2565.79	3662	1.43
LC PET 9% - 03	220.98	134.11	88.15	2612.17	3676	1.41
LC PET 9% - 04	221.13	132.74	87.41	2565.57	3662	1.43
LC PET 9% - 05	220.30	132.40	88.84	2591.02	3616	1.40
LC PET 9% - 06	220.63	133.00	89.92	2638.43	3687	1.40
LC PET 9% - 07	220.73	132.74	87.74	2570.70	3635	1.41
LC PET 9% - 08	220.70	132.48	88.42	2585.11	3617	1.40
Peso unitario volumétrico promedio						1.41
Desviación Estándar						0.02
Peso unitario volumétrico (g/cm³)						1.39
Coeficiente de Variación						1.22%

ANEXO 11. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE VACÍOS

Tabla 83. Resultado del ensayo del porcentaje de vacíos de los ladrillos PET 0%.

PORCENTAJE DE VACIOS LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 0%							
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen de unidad (cm ³)	Peso de Arena (g)	Volumen de Arena (cm ³)	Vacíos %
	Largo	Ancho	Altura				
LC PET 0% - 01	219.60	129.21	88.36	2507.08	738.00	526.20	20.99
LC PET 0% - 02	219.70	129.67	88.13	2510.55	725.00	516.93	20.59
LC PET 0% - 03	220.25	130.62	86.69	2493.92	710.00	506.24	20.30
LC PET 0% - 04	219.13	130.48	87.42	2499.32	705.00	502.67	20.11
LC PET 0% - 05	220.13	131.10	85.63	2471.14	677.00	482.71	19.53
LC PET 0% - 06	219.75	130.45	85.18	2441.66	691.00	492.69	20.18
LC PET 0% - 07	219.39	129.97	88.09	2511.78	691.00	492.69	19.62
LC PET 0% - 08	220.28	131.54	85.12	2466.11	714.00	509.09	20.64
LC PET 0% - 09	219.83	129.53	87.85	2501.43	683.00	486.99	19.47
LC PET 0% - 10	220.24	130.75	85.76	2469.46	677.00	482.71	19.55
LC PET 0% - 11	219.50	129.41	87.80	2493.76	734.00	523.35	20.99
LC PET 0% - 12	220.28	131.50	84.64	2451.63	665.00	474.15	19.34
LC PET 0% - 13	219.22	129.49	87.37	2480.09	742.00	529.06	21.33
LC PET 0% - 14	219.41	129.74	87.50	2490.60	720.00	513.37	20.61
LC PET 0% - 15	220.05	130.39	87.25	2503.23	711.00	506.95	20.25
LC PET 0% - 16	219.72	130.01	87.18	2490.20	725.00	516.93	20.76
Porcentaje de Vacíos Promedio							20.27
Desviación estándar							0.62
Porcentaje de Vacíos (%)							19.64
Coeficiente variación							3.07%

Tabla 84. Resultado del ensayo del porcentaje de vacíos de los ladrillos PET 3%

PORCENTAJE DE VACIOS LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 3%							
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen de unidad (cm ³)	Peso de Arena (g)	Volumen de Arena (cm ³)	Vacíos %
	Largo	Ancho	Altura				
LC PET 3% - 01	220.63	132.29	86.39	2521.32	672.00	479.14	19.00
LC PET 3% - 02	219.98	129.85	88.20	2519.23	747.00	532.62	21.14
LC PET 3% - 03	221.53	132.48	86.59	2541.06	691.00	492.69	19.39
LC PET 3% - 04	219.90	130.82	87.68	2522.22	707.00	504.10	19.99
LC PET 3% - 05	219.73	130.51	88.28	2531.40	741.00	528.34	20.87
LC PET 3% - 06	219.90	130.10	88.58	2534.06	723.00	515.51	20.34

LC PET 3% - 07	219.98	131.35	87.68	2533.40	719.00	512.66	20.24
LC PET 3% - 08	220.13	130.53	88.61	2545.78	716.00	510.52	20.05
LC PET 3% - 09	221.10	132.58	85.26	2499.12	674.00	480.57	19.23
LC PET 3% - 10	220.15	132.26	87.17	2537.89	703.00	501.25	19.75
LC PET 3% - 11	221.35	132.05	86.24	2520.73	682.00	486.27	19.29
LC PET 3% - 12	220.48	131.92	87.02	2530.98	700.00	499.11	19.72
LC PET 3% - 13	220.00	129.89	88.69	2534.24	735.00	524.06	20.68
LC PET 3% - 14	220.18	131.91	86.91	2523.91	696.00	496.26	19.66
LC PET 3% - 15	221.08	131.70	87.87	2558.39	693.00	494.12	19.31
LC PET 3% - 16	220.75	131.66	87.11	2531.76	701.00	499.82	19.74
Porcentaje de Vacíos Promedio							19.90
Desviación estándar							0.62
Porcentaje de Vacíos (%)							19.28
Coeficiente variación							3.12%

Tabla 85. Resultado del ensayo del porcentaje de vacíos de los ladrillos PET 6%

PORCENTAJE DE VACIOS LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 6%							
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen de unidad (cm3)	Peso de Arena (g)	Volumen de Arena (cm3)	Vacíos %
	Largo	Ancho	Altura				
LC PET 6% - 01	220.03	132.49	87.40	2547.71	744.00	530.48	20.82
LC PET 6% - 02	220.73	132.99	86.27	2532.24	726.00	517.65	20.44
LC PET 6% - 03	219.33	132.62	87.03	2531.29	734.00	523.35	20.68
LC PET 6% - 04	224.60	134.02	84.86	2554.27	701.00	499.82	19.57
LC PET 6% - 05	219.73	132.44	86.08	2504.82	729.00	519.79	20.75
LC PET 6% - 06	219.95	133.05	85.50	2501.86	716.00	510.52	20.41
LC PET 6% - 07	220.53	133.12	86.16	2529.19	730.00	520.50	20.58
LC PET 6% - 08	219.95	132.65	86.05	2510.39	727.00	518.36	20.65
LC PET 6% - 09	220.73	133.36	85.88	2527.95	720.00	513.37	20.31
LC PET 6% - 10	220.23	132.66	87.37	2552.52	766.00	546.17	21.40
LC PET 6% - 11	219.58	132.96	86.75	2532.54	742.00	529.06	20.89
LC PET 6% - 12	220.10	132.77	86.93	2540.18	740.00	527.63	20.77
LC PET 6% - 13	220.25	132.81	87.33	2554.43	758.00	540.46	21.16
LC PET 6% - 14	220.50	133.42	85.46	2513.92	719.00	512.66	20.39
LC PET 6% - 15	220.55	133.18	86.73	2547.51	751.00	535.47	21.02
LC PET 6% - 16	220.38	132.37	89.09	2598.70	723.00	515.51	19.84
Porcentaje de Vacíos Promedio							20.60
Desviación estándar							0.46
Porcentaje de Vacíos (%)							20.15
Coeficiente variación							2.23%

Tabla 86. Resultado del ensayo del porcentaje de vacíos de los ladrillos PET 9%

PORCENTAJE DE VACIOS LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 9%							
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen de unidad (cm3)	Peso de Arena (g)	Volumen de Arena (cm3)	Vacíos %
	Largo	Ancho	Altura				
LC PET 9% - 01	220.05	132.05	89.62	2604.14	795.00	566.84	21.77
LC PET 9% - 02	220.43	132.07	88.14	2565.79	776.00	553.30	21.56
LC PET 9% - 03	220.98	134.11	88.15	2612.17	789.00	562.57	21.54
LC PET 9% - 04	221.13	132.74	87.41	2565.57	747.00	532.62	20.76
LC PET 9% - 05	220.30	132.40	88.84	2591.02	788.00	561.85	21.68
LC PET 9% - 06	220.63	133.00	89.92	2638.43	821.00	585.38	22.19
LC PET 9% - 07	220.73	132.74	87.74	2570.70	768.00	547.59	21.30
LC PET 9% - 08	220.70	132.48	88.42	2585.11	778.00	554.72	21.46
LC PET 9% - 09	220.43	132.23	88.92	2591.64	797.00	568.27	21.93
LC PET 9% - 10	221.03	132.41	88.35	2585.50	777.00	554.01	21.43
LC PET 9% - 11	220.18	131.92	88.57	2572.32	802.00	571.84	22.23
LC PET 9% - 12	220.18	131.90	89.14	2588.72	797.00	568.27	21.95
LC PET 9% - 13	220.35	131.65	90.09	2613.33	806.00	574.69	21.99
LC PET 9% - 14	220.53	132.27	88.97	2595.01	806.00	574.69	22.15
LC PET 9% - 15	220.18	131.86	89.47	2597.27	797.00	568.27	21.88
LC PET 9% - 16	220.58	132.16	89.25	2601.74	792.00	564.71	21.70
Porcentaje de Vacíos Promedio							21.72
Desviación estándar							0.38
Porcentaje de Vacíos (%)							21.34
Coeficiente variación							1.75%

ANEXO 12. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE ALABEO

Tabla 87. Resultado del ensayo de alabeo de los ladrillos PET 0%

ALABEO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 0%					
Especimen	Cara A		Cara B		ALABEO (mm)
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
LC PET 0% - 01	0	0	2.5	0	2.5
LC PET 0% - 02	0	0	0	2	2
LC PET 0% - 03	0	0	0	0	0
LC PET 0% - 04	0	0	0	3	3
LC PET 0% - 05	0	0	3	0	3
LC PET 0% - 06	0	0	4	0	4
LC PET 0% - 07	0	0	0	2	2
LC PET 0% - 08	0	0	1	0	1
LC PET 0% - 09	0	0	0	0	0
LC PET 0% - 10	0	0	0	2	2
LC PET 0% - 11	0	0	1	0	1
LC PET 0% - 12	0	0	0	0	0
LC PET 0% - 13	0	0	0	1	1
LC PET 0% - 14	0	0	0	0	0
LC PET 0% - 15	0	0	0	0	0
LC PET 0% - 16	0	0	2	0	2
Alabeo Promedio (mm)				1.47	

Tabla 88. Resultado del ensayo de alabeo de los ladrillos PET 3%

ALABEO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 3%					
Especimen	Cara A		Cara B		ALABEO (mm)
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
LC PET 3% - 01	0	0	0	4	4
LC PET 3% - 02	0	0	3	0	3
LC PET 3% - 03	0	0	0	0	0
LC PET 3% - 04	0	0	1.5	0	1.5
LC PET 3% - 05	0	0	1	1	1
LC PET 3% - 06	0	0	0	3	3
LC PET 3% - 07	0	0	1	0	1
LC PET 3% - 08	0	0	2	0	2
LC PET 3% - 09	0	0	0	3	3
LC PET 3% - 10	0	0	3	0	3
LC PET 3% - 11	0	0	1	0	1
LC PET 3% - 12	0	0	0	0	0
LC PET 3% - 13	0	0	1	0	1
LC PET 3% - 14	0	0	2	0	2
LC PET 3% - 15	0	0	0	0	0
LC PET 3% - 16	0	0	0	2	2
Alabeo Promedio (mm)				1.72	

Tabla 89. Resultado del ensayo de alabeo de los ladrillos PET 6%

ALABEO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 6%					
Espécimen	Cara A		Cara B		ALABEO (mm)
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
LC PET 6% - 01	0	0	4	0	4
LC PET 6% - 02	0	0	2	0	2
LC PET 6% - 03	0	0	0	4	4
LC PET 6% - 04	0	0	0	3	3
LC PET 6% - 05	0	0	0	2	2
LC PET 6% - 06	0	0	0	3	3
LC PET 6% - 07	0	0	0	0	0
LC PET 6% - 08	0	0	1	0	1
LC PET 6% - 09	0	0	2	0	2
LC PET 6% - 10	0	0	2	0	2
LC PET 6% - 11	0	0	1	0	1
LC PET 6% - 12	0	0	0	4	4
LC PET 6% - 13	0	0	0	0	0
LC PET 6% - 14	0	0	0	3	3
LC PET 6% - 15	0	0	0	1	1
LC PET 6% - 16	0	0	1	0	1
Alabeo Promedio				(mm)	2.06

Tabla 90 . Resultado del ensayo de alabeo de los ladrillos PET 9%

ALABEO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 9%					
Espécimen	Cara A		Cara B		ALABEO (mm)
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
LC PET 9% - 01	0	0	1	0	1
LC PET 9% - 02	0	0	0	0	0
LC PET 9% - 03	0	0	0	1	1
LC PET 9% - 04	0	0	0	1	1
LC PET 9% - 05	0	0	3	0	3
LC PET 9% - 06	0	0	2	0	2
LC PET 9% - 07	0	0	0	0	0
LC PET 9% - 08	0	0	0	3	3
LC PET 9% - 09	0	0	3	0	3
LC PET 9% - 10	0	0	1	0	1
LC PET 9% - 11	0	0	1	0	1
LC PET 9% - 12	0	0	2	0	2
LC PET 9% - 13	0	0	0	2	2
LC PET 9% - 14	0	0	1	0	1
LC PET 9% - 15	0	0	0	2	2
LC PET 9% - 16	0	0	2	0	2
Alabeo Promedio				(mm)	1.56

ANEXO 13. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE SUCCIÓN

Tabla 91. Resultado del ensayo de succión de los ladrillos PET 0%

SUCCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 0%						
Especimen	Peso	Peso	Dimensiones (mm)		Área	Succión (gr/200cm ² -min)
	Seco (g)	Succión (g)	Largo	Ancho	(cm ²)	
LC PET 0% - 01	4145	4155	219.60	129.21	283.73	7.05
LC PET 0% - 02	4140	4155	219.70	129.67	284.88	10.53
LC PET 0% - 03	4120	4135	220.25	130.62	287.69	10.43
LC PET 0% - 04	4135	4145	219.13	130.48	285.91	7.00
LC PET 0% - 05	3975	3985	220.13	131.10	288.58	6.93
LC PET 0% - 06	4010	4020	219.75	130.45	286.66	6.98
LC PET 0% - 07	4065	4075	219.39	129.97	285.14	7.01
LC PET 0% - 08	4060	4075	220.28	131.54	289.74	10.35
					Succión Promedio Sp :	8.29
					Desviación Estándar σ :	1.78
					Succión S :	6.50
					Coefficiente Variación Cv :	21.52%

Tabla 92. Resultado del ensayo de succión de los ladrillos PET 3%

SUCCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 3%						
Especimen	Peso	Peso	Dimensiones (mm)		Área	Succión (gr/200cm ² -min)
	Seco (g)	Succión (g)	Largo	Ancho	(cm ²)	
LC PET 3% - 01	3870	3886	220.63	132.29	291.85	10.96
LC PET 3% - 02	3942	3957	219.98	129.85	285.63	10.50
LC PET 3% - 03	3958	3975	221.53	132.48	293.48	11.59
LC PET 3% - 04	3967	3981	219.90	130.82	287.66	9.73
LC PET 3% - 05	3910	3926	219.73	130.51	286.76	11.16
LC PET 3% - 06	3924	3941	219.90	130.10	286.08	11.88
LC PET 3% - 07	3890	3907	219.98	131.35	288.94	11.77
LC PET 3% - 08	3880	3896	220.13	130.53	287.32	11.14
					Succión Promedio Sp :	11.09
					Desviación Estándar σ :	0.71
					Succión S :	10.38
					Coefficiente Variación Cv :	6.43%

Tabla 93. Resultado del ensayo de succión de los ladrillos PET 6%

SUCCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 6%						
Espécimen	Peso	Peso	Dimensiones (mm)		Área	Succión (gr/200cm²-min)
	Seco (g)	Succión (g)	Largo	Ancho	(cm²)	
LC PET 6% - 01	3710	3732	220.03	132.49	291.50	15.09
LC PET 6% - 02	3701	3720	220.73	132.99	293.54	12.95
LC PET 6% - 03	3823	3842	219.33	132.62	290.87	13.06
LC PET 6% - 04	3774	3791	224.60	134.02	301.00	11.30
LC PET 6% - 05	3799	3818	219.73	132.44	291.00	13.06
LC PET 6% - 06	3772	3789	219.95	133.05	292.63	11.62
LC PET 6% - 07	3712	3733	220.53	133.12	293.56	14.31
LC PET 6% - 08	3727	3749	219.95	132.65	291.75	15.08
			Succión Promedio		Sp :	13.31
			Desviación Estándar		σ :	1.44
			Succión		S :	11.87
			Coeficiente Variación		Cv :	10.80%

Tabla 94. Resultado del ensayo de succión de los ladrillos PET 9%

SUCCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 9%						
Espécimen	Peso	Peso	Dimensiones (mm)		Área	Succión (gr/200cm²-min)
	Seco (g)	Succión (g)	Largo	Ancho	(cm²)	
LC PET 9% - 01	3585	3633	220.05	132.05	290.58	33.04
LC PET 9% - 02	3662	3688	220.43	132.07	291.10	17.86
LC PET 9% - 03	3676	3711	220.98	134.11	296.35	23.62
LC PET 9% - 04	3662	3691	221.13	132.74	293.51	19.76
LC PET 9% - 05	3616	3662	220.30	132.40	291.67	31.54
LC PET 9% - 06	3687	3732	220.63	133.00	293.42	30.67
LC PET 9% - 07	3635	3664	220.73	132.74	292.99	19.80
LC PET 9% - 08	3617	3678	220.70	132.48	292.38	41.73
			Succión Promedio		Sp :	27.25
			Desviación Estándar		σ :	8.33
			Succión		S :	18.92
			Coeficiente Variación		Cv :	30.58%

ANEXO 14. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN

Tabla 95. Resultado del ensayo de absorción de los ladrillos PET 0%

ABSORCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 0%			
Espécimen	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción (%)
LC PET 0% - 01	4145	4443	7.19
LC PET 0% - 02	4140	4454	7.58
LC PET 0% - 03	4120	4407	6.97
LC PET 0% - 04	4135	4429	7.11
LC PET 0% - 05	3975	4341	9.21
LC PET 0% - 06	4010	4349	8.45
LC PET 0% - 07	4065	4405	8.36
LC PET 0% - 08	4060	4406	8.52
Absorción Promedio		Abs p :	7.92
Desviación Estándar		σ :	0.82
Absorción		Abs (%) :	7.10
Coefficiente de Variación		Cv :	10.36%

Tabla 96. Resultado del ensayo de absorción de los ladrillos PET 3%

ABSORCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 3%			
Espécimen	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción (%)
LC PET 3% - 01	3870	4265	10.21
LC PET 3% - 02	3942	4286	8.73
LC PET 3% - 03	3958	4353	9.98
LC PET 3% - 04	3967	4312	8.70
LC PET 3% - 05	3910	4287	9.64
LC PET 3% - 06	3924	4315	9.96
LC PET 3% - 07	3890	4291	10.31
LC PET 3% - 08	3880	4265	9.92
Absorción Promedio		Abs p :	9.68
Desviación Estándar		σ :	0.63
Absorción		Abs (%) :	9.05
Coefficiente de Variación		Cv :	6.51%

Tabla 97. Resultado del ensayo de absorción de los ladrillos PET 6%

ABSORCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 6%			
Espécimen	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción (%)
LC PET 6% - 01	3710	4111	10.81
LC PET 6% - 02	3701	4096	10.67
LC PET 6% - 03	3823	4202	9.91
LC PET 6% - 04	3774	4172	10.55
LC PET 6% - 05	3799	4145	9.11
LC PET 6% - 06	3772	4124	9.33
LC PET 6% - 07	3712	4126	11.15
LC PET 6% - 08	3727	4116	10.44
Absorción Promedio		Abs p :	10.25
Desviación Estándar		σ :	0.73
Absorción		Abs (%) :	9.52
Coefficiente de Variación		Cv :	7.09%

Tabla 98. Resultado del ensayo de absorción de los ladrillos PET 9%

ABSORCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 9%			
Espécimen	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción (%)
LC PET 9% - 01	3585	3995	11.44
LC PET 9% - 02	3662	4063	10.95
LC PET 9% - 03	3676	4081	11.02
LC PET 9% - 04	3662	4071	11.17
LC PET 9% - 05	3616	4014	11.01
LC PET 9% - 06	3687	4121	11.77
LC PET 9% - 07	3635	4034	10.98
LC PET 9% - 08	3617	4065	12.39
Absorción Promedio		Abs p :	11.34
Desviación Estándar		σ :	0.51
Absorción		Abs (%) :	10.83
Coefficiente de Variación		Cv :	4.49%

ANEXO 15. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Tabla 99. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos PET 0%

RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 0%							
Especimen	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia	
	Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	MPa
LC PET 0% - 09	219.83	129.53	87.85	284.74	47000	165.06	16.19
LC PET 0% - 10	220.24	130.75	85.76	287.95	48000	166.70	16.35
LC PET 0% - 11	219.50	129.41	87.80	284.04	49000	172.51	16.92
LC PET 0% - 12	220.28	131.50	84.64	289.67	47000	162.25	15.91
LC PET 0% - 13	219.22	129.49	87.37	283.86	50000	176.14	17.27
LC PET 0% - 14	219.41	129.74	87.50	284.66	47200	165.81	16.26
LC PET 0% - 15	220.05	130.39	87.25	286.92	47000	163.81	16.06
LC PET 0% - 16	219.72	130.01	87.18	285.65	46500	162.78	15.96
	Resistencia a compresión promedio (fb)					166.88	16.37
	Desviación estándar (σ)					4.92	0.48
	Resistencia Característica a Compresión (f'b)					161.96	15.88
	Coeficiente variación					2.95%	2.95%

Tabla 100. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos PET 3%

RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 3%							
Especimen	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia	
	Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	MPa
LC PET 3% - 09	221.10	132.58	85.26	293.13	35000	119.40	11.71
LC PET 3% - 10	220.15	132.26	87.17	291.16	40200	138.07	13.54
LC PET 3% - 11	221.35	132.05	86.24	292.29	38400	131.38	12.88
LC PET 3% - 12	220.48	131.92	87.02	290.85	42500	146.12	14.33
LC PET 3% - 13	220.00	129.89	88.69	285.76	41000	143.48	14.07
LC PET 3% - 14	220.18	131.91	86.91	290.42	37800	130.16	12.76
LC PET 3% - 15	221.08	131.70	87.87	291.16	42800	147.00	14.42
LC PET 3% - 16	220.75	131.66	87.11	290.64	39500	135.91	13.33
	Resistencia a compresión promedio (fb)					136.44	13.38
	Desviación estándar (σ)					9.36	0.92
	Resistencia Característica a Compresión (f'b)					127.08	12.46
	Coeficiente variación					6.86%	6.86%

Tabla 101. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos PET 6%

RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 6%							
Espécimen	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia	
	Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	MPa
LC PET 6% - 09	220.73	133.36	85.88	294.36	39000	132.49	12.99
LC PET 6% - 10	220.23	132.66	87.37	292.15	34000	116.38	11.41
LC PET 6% - 11	219.58	132.96	86.75	291.94	37000	126.74	12.43
LC PET 6% - 12	220.10	132.77	86.93	292.23	36500	124.90	12.25
LC PET 6% - 13	220.25	132.81	87.33	292.50	35000	119.66	11.73
LC PET 6% - 14	220.50	133.42	85.46	294.18	38600	131.21	12.87
LC PET 6% - 15	220.55	133.18	86.73	293.73	36500	124.26	12.19
LC PET 6% - 16	220.38	132.37	89.09	291.71	35000	119.98	11.77
	Resistencia a compresión promedio (fb)					124.45	12.20
	Desviación estándar (σ)					5.66	0.55
	Resistencia Característica a Compresión (f'b)					118.80	11.65
	Coeficiente variación					4.54%	4.54%

Tabla 102. Resultado del ensayo de compresión de los ladrillos PET 9%

RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO 9%							
Espécimen	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia	
	Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	MPa
LC PET 9% - 09	220.43	132.23	88.92	291.46	30500	104.65	10.26
LC PET 9% - 10	221.03	132.41	88.35	292.66	32600	111.39	10.92
LC PET 9% - 11	220.18	131.92	88.57	290.44	36000	123.95	12.16
LC PET 9% - 12	220.18	131.90	89.14	290.41	35600	122.58	12.02
LC PET 9% - 13	220.35	131.65	90.09	290.08	37000	127.55	12.51
LC PET 9% - 14	220.53	132.27	88.97	291.69	33400	114.51	11.23
LC PET 9% - 15	220.18	131.86	89.47	290.31	35500	122.28	11.99
LC PET 9% - 16	220.58	132.16	89.25	291.51	34200	117.32	11.51
	Resistencia a compresión promedio (fb)					118.03	11.57
	Desviación estándar (σ)					7.56	0.74
	Resistencia Característica a Compresión (f'b)					110.46	10.83
	Coeficiente variación					6.41%	6.41%

ANEXO 16. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL DE LAS PILAS

Tabla 103. Ensayo de compresión axial de pilas de albañilería de los ladrillos de concreto con PET (0%, 3%, 6%, 9%)

PILAS		Altura (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Área (cm ²)	Carga de rotura (Tn)	Esbeltez	FC	f _m (kg/cm ²)	f _m promedio (kg/cm ²)	Desviación Estándar	Coef. Variación	f _m (kg/cm ²)
PET 0%	P-01	392	220	130	286.00	48.00	3.02	0.911	152.90	141.65	13.09	9.24%	128.55
	P-02	390	220	130	286.00	45.50	3.00	0.910	144.77				
	P-03	390	220	130	286.00	40.00	3.00	0.910	127.27				
PET 3%	P-04	389	220	130	286.00	40.50	2.99	0.908	128.58	113.92	13.09	11.49%	100.83
	P-05	390	220	130	286.00	34.50	3.00	0.910	109.77				
	P-06	391	220	130	286.00	32.50	3.01	0.910	103.41				
PET 6%	P-07	389	220	130	286.00	32.25	2.99	0.908	102.39	90.34	10.55	11.68%	79.79
	P-08	390	220	130	286.00	26.00	3.00	0.910	82.73				
	P-09	390	220	130	286.00	27.00	3.00	0.910	85.91				
PET 9%	P-10	390	220	130	286.00	24.00	3.00	0.910	76.36	83.99	7.25	8.63%	76.75
	P-11	388	220	130	286.00	26.75	2.98	0.907	84.83				
	P-12	393	220	130	286.00	28.50	3.02	0.911	90.78				

Tabla 104. Cálculo del Módulo de Elasticidad de pilas de albañilería de los ladrillos de concreto con PET (0%, 3%, 6%, 9%)

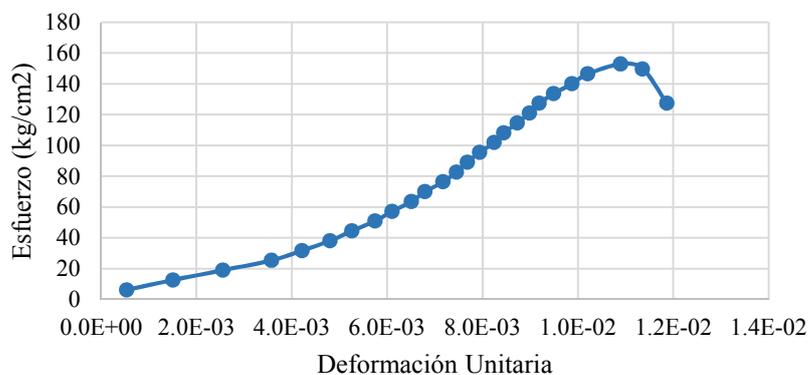
PILAS		Área (cm ²)	Carga 50% (kg)	σ' 50% (kg/cm ²)	ϵ' 50 %	Em (kg/cm ²)	Em promedio (kg/cm ²)	Desviación Estándar	Coef. Variación	E'm (kg/cm ²)
PET 0%	P-01	286	24000	83.92	0.007168	14633.8037	16086.36	1379.26	8.57%	14707.10
	P-02	286	22750	79.55	0.006120	16247.0291				
	P-03	286	20000	69.93	0.005030	17378.2480				
PET 3%	P-04	286	20250	70.80	0.003191	27735.8962	19851.79	7151.45	36.02%	12700.34
	P-05	286	17250	60.31	0.004180	18036.6882				
	P-06	286	16250	56.82	0.005153	13782.7920				
PET 0%	P-07	286	16125	56.38	0.005784	12184.7162	11918.21	455.00	3.82%	11463.21
	P-08	286	13000	45.45	0.004666	12177.0643				
	P-09	286	13500	47.20	0.005179	11392.8358				
PET 3%	P-10	286	12000	41.96	0.003333	15735.8393	15521.29	1800.42	11.60%	13720.87
	P-11	286	13375	46.77	0.004291	13623.2039				
	P-12	286	14250	49.83	0.003620	17204.8256				

ANEXO 17. DIAGRAMAS ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN DE PILAS

Tabla 105. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-01

PILA P-01 PET 0%				
	Altura (cm)	39.20	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	3.02
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.911
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.21	0.000536	6.37
4000	13.99	0.59	0.001505	12.74
6000	20.98	1.00	0.002551	19.11
8000	27.97	1.40	0.003571	25.48
10000	34.97	1.65	0.004209	31.85
12000	41.96	1.88	0.004796	38.22
14000	48.95	2.06	0.005255	44.59
16000	55.94	2.25	0.005740	50.97
18000	62.94	2.39	0.006097	57.34
20000	69.93	2.55	0.006505	63.71
22000	76.92	2.66	0.006786	70.08
24000	83.92	2.81	0.007168	76.45
26000	90.91	2.92	0.007449	82.82
28000	97.90	3.01	0.007679	89.19
30000	104.90	3.11	0.007934	95.56
32000	111.89	3.23	0.008240	101.93
34000	118.88	3.31	0.008444	108.3
36000	125.87	3.42	0.008724	114.67
38000	132.87	3.52	0.008980	121.04
40000	139.86	3.60	0.009184	127.41
42000	146.85	3.72	0.009490	133.78
44000	153.85	3.87	0.009872	140.15
46000	160.84	4.00	0.010204	146.52
48000	167.83	4.27	0.010893	152.90
47000	164.34	4.45	0.011352	149.71
40000	139.86	4.65	0.011862	127.41

Diagrama esfuerzo vs. deformación
Pila P-01



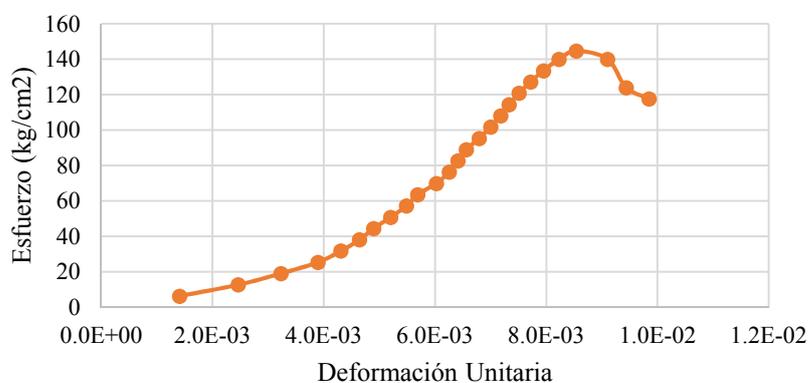
Para la pila ensayada a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 48000 Kg, teniendo una deformación de 4.27mm y un esfuerzo de rotura de 152.9 kg/cm².

Figura 32. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-01

Tabla 106. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-02

PILA P-02 PET 0%				
	Altura (cm)	39.00	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	3.00
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.910
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.55	0.001410	6.36
4000	13.99	0.96	0.002462	12.73
6000	20.98	1.26	0.003231	19.09
8000	27.97	1.52	0.003897	25.45
10000	34.97	1.68	0.004308	31.82
12000	41.96	1.81	0.004641	38.18
14000	48.95	1.91	0.004897	44.55
16000	55.94	2.03	0.005205	50.91
18000	62.94	2.14	0.005487	57.27
20000	69.93	2.22	0.005692	63.64
22000	76.92	2.35	0.006026	70
24000	83.92	2.44	0.006256	76.36
26000	90.91	2.50	0.006410	82.73
28000	97.90	2.56	0.006564	89.09
30000	104.90	2.65	0.006795	95.45
32000	111.89	2.73	0.007000	101.82
34000	118.88	2.80	0.007179	108.18
36000	125.87	2.86	0.007333	114.55
38000	132.87	2.93	0.007513	120.91
40000	139.86	3.01	0.007718	127.27
42000	146.85	3.10	0.007949	133.64
44000	153.85	3.21	0.008231	140
45500	159.09	3.33	0.008538	144.77
44000	153.85	3.55	0.009103	140
39000	136.36	3.68	0.009436	124.09
37000	129.37	3.84	0.009846	117.73

Diagrama esfuerzo vs. deformación
Pila P-02



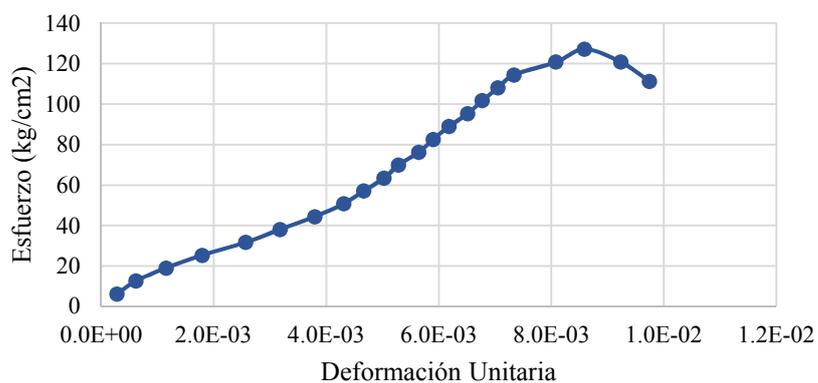
Para la pila ensayada a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 45500 Kg, teniendo una deformación de 3.33mm y un esfuerzo de rotura de 144.77 kg/cm².

Figura 33. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-02

Tabla 107. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-03

PILA P-03 PET 0%				
	Altura (cm)	39.00	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	3.00
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.910
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.11	0.000282	6.36
4000	13.99	0.24	0.000615	12.73
6000	20.98	0.45	0.001154	19.09
8000	27.97	0.70	0.001795	25.45
10000	34.97	1.00	0.002564	31.82
12000	41.96	1.24	0.003179	38.18
14000	48.95	1.48	0.003795	44.55
16000	55.94	1.68	0.004308	50.91
18000	62.94	1.82	0.004667	57.27
20000	69.93	1.96	0.005026	63.64
22000	76.92	2.06	0.005282	70
24000	83.92	2.20	0.005641	76.36
26000	90.91	2.30	0.005897	82.73
28000	97.90	2.41	0.006179	89.09
30000	104.90	2.54	0.006513	95.45
32000	111.89	2.64	0.006769	101.82
34000	118.88	2.75	0.007051	108.18
36000	125.87	2.86	0.007333	114.55
38000	132.87	3.15	0.008077	120.91
40000	139.86	3.35	0.008590	127.27
38000	132.87	3.60	0.009231	120.91
35000	122.38	3.80	0.009744	111.36

Diagrama esfuerzo vs. Deformación
Pila P-03



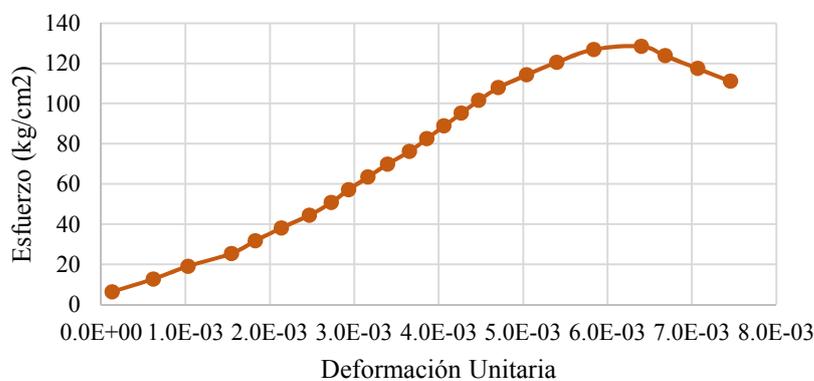
Para la pila ensayada a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 45500 Kg, teniendo una deformación de 3.33mm y un esfuerzo de rotura de 144.77 kg/cm².

Figura 34. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-03

Tabla 108. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-04

PILA P-04 PET 3%				
	Altura (cm)	38.90	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	2.99
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.908
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.05	0.000129	6.35
4000	13.99	0.24	0.000617	12.7
6000	20.98	0.40	0.001028	19.05
8000	27.97	0.60	0.001542	25.4
10000	34.97	0.71	0.001825	31.75
12000	41.96	0.83	0.002134	38.1
14000	48.95	0.96	0.002468	44.45
16000	55.94	1.06	0.002725	50.8
18000	62.94	1.14	0.002931	57.15
20000	69.93	1.23	0.003162	63.5
22000	76.92	1.32	0.003393	69.85
24000	83.92	1.42	0.003650	76.2
26000	90.91	1.50	0.003856	82.55
28000	97.90	1.58	0.004062	88.9
30000	104.90	1.66	0.004267	95.24
32000	111.89	1.74	0.004473	101.59
34000	118.88	1.83	0.004704	107.94
36000	125.87	1.96	0.005039	114.29
38000	132.87	2.10	0.005398	120.64
40000	139.86	2.27	0.005835	126.99
40500	141.61	2.49	0.006401	128.58
39000	136.36	2.60	0.006684	123.82
37000	129.37	2.75	0.007069	117.47
35000	122.38	2.90	0.007455	111.12

Diagrama esfuerzo vs. deformación
Pila P-04



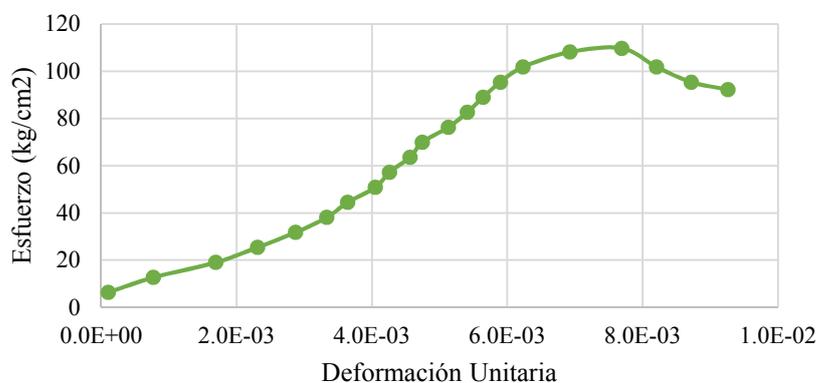
Para la pila ensayada a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 40500 Kg, teniendo una deformación de 2.49mm y un esfuerzo de rotura de 128.58 kg/cm².

Figura 35. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-04

Tabla 109. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-05

PILA P-05 PET 3%				
	Altura (cm)	39.00	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	3.00
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.910
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.04	0.000103	6.36
4000	13.99	0.30	0.000769	12.73
6000	20.98	0.66	0.001692	19.09
8000	27.97	0.90	0.002308	25.45
10000	34.97	1.12	0.002872	31.82
12000	41.96	1.30	0.003333	38.18
14000	48.95	1.42	0.003641	44.55
16000	55.94	1.58	0.004051	50.91
18000	62.94	1.66	0.004256	57.27
20000	69.93	1.78	0.004564	63.64
22000	76.92	1.85	0.004744	70
24000	83.92	2.00	0.005128	76.36
26000	90.91	2.11	0.005410	82.73
28000	97.90	2.20	0.005641	89.09
30000	104.90	2.30	0.005897	95.45
32000	111.89	2.43	0.006231	101.82
34000	118.88	2.70	0.006923	108.18
34500	120.63	3.00	0.007692	109.77
32000	111.89	3.20	0.008205	101.82
30000	104.90	3.40	0.008718	95.45
29000	101.40	3.61	0.009256	92.27

Diagrama esfuerzo vs. deformación
Pila P-05



Para la pila ensayada a los 28 días, se observa que la carga máxima es de 34500 Kg, teniendo una deformación de 3mm y un esfuerzo de rotura de 109.77 kg/cm².

Figura 36. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-05

Tabla 110. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-06

PILA P-06 PET 3%				
	Altura (cm)	39.10	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	3.01
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.910
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.30	0.000767	6.36
4000	13.99	0.64	0.001637	12.73
6000	20.98	1.00	0.002558	19.09
8000	27.97	1.30	0.003325	25.45
10000	34.97	1.55	0.003964	31.82
12000	41.96	1.74	0.004450	38.18
14000	48.95	1.90	0.004859	44.55
16000	55.94	2.00	0.005115	50.91
18000	62.94	2.12	0.005422	57.27
20000	69.93	2.24	0.005729	63.64
22000	76.92	2.40	0.006138	70
24000	83.92	2.48	0.006343	76.36
26000	90.91	2.63	0.006726	82.73
28000	97.90	2.78	0.007110	89.09
30000	104.90	2.90	0.007417	95.45
32000	111.89	3.20	0.008184	101.82
32500	113.64	3.50	0.008951	103.41
31000	108.39	3.70	0.009463	98.64
30000	104.90	3.90	0.009974	95.45
28000	97.90	4.10	0.010486	89.09

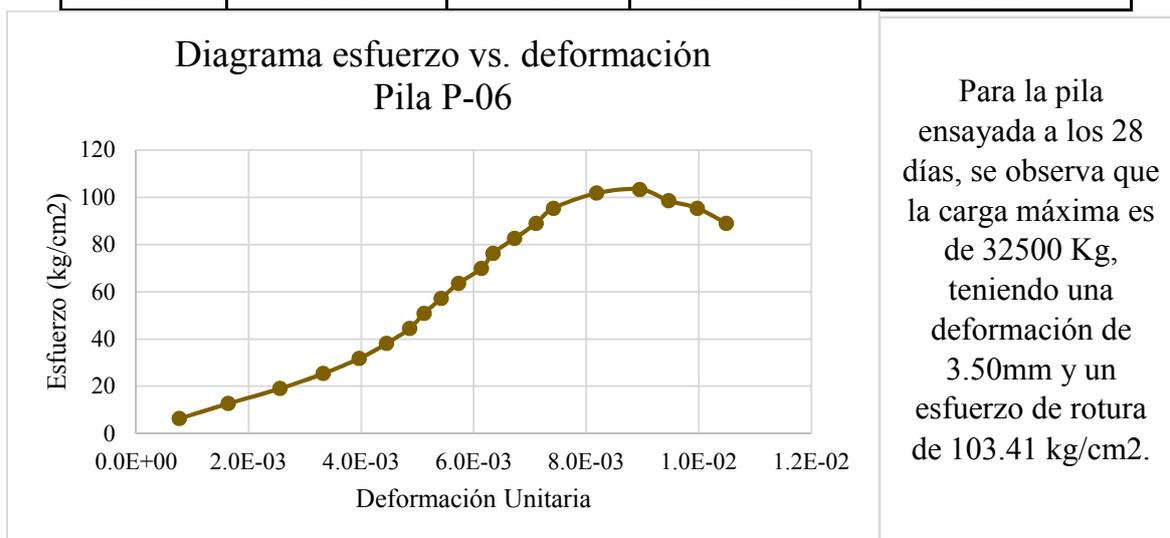


Figura 37. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-06

Tabla 111. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-07

PILA P-07 PET 6%				
	Altura (cm)	38.90	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	2.99
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.908
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.22	0.000566	6.35
4000	13.99	0.85	0.002185	12.7
6000	20.98	1.24	0.003188	19.05
8000	27.97	1.50	0.003856	25.4
10000	34.97	1.68	0.004319	31.75
12000	41.96	1.90	0.004884	38.1
14000	48.95	2.10	0.005398	44.45
16000	55.94	2.24	0.005758	50.8
18000	62.94	2.40	0.006170	57.15
20000	69.93	2.54	0.006530	63.5
22000	76.92	2.68	0.006889	69.85
24000	83.92	2.82	0.007249	76.2
26000	90.91	2.99	0.007686	82.55
28000	97.90	3.16	0.008123	88.9
30000	104.90	3.40	0.008740	95.24
32250	112.76	3.80	0.009769	102.39
31000	108.39	4.45	0.011440	98.42
28000	97.90	4.86	0.012494	88.9
26000	90.91	5.00	0.012853	82.55

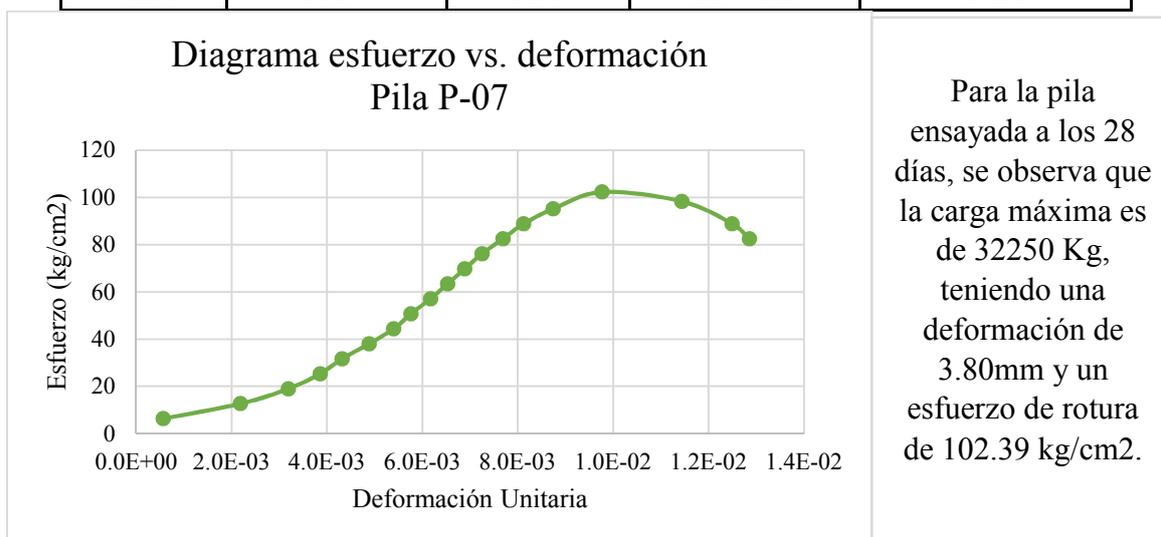


Figura 38. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-07

Tabla 112. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-08

PILA P-08 PET 6%				
	Altura (cm)	39.00	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	3.00
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.910
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.05	0.000128	6.36
4000	13.99	0.54	0.001385	12.73
6000	20.98	0.88	0.002256	19.09
8000	27.97	1.20	0.003077	25.45
10000	34.97	1.52	0.003897	31.82
12000	41.96	1.70	0.004359	38.18
14000	48.95	1.94	0.004974	44.55
16000	55.94	2.18	0.005590	50.91
18000	62.94	2.46	0.006308	57.27
20000	69.93	2.60	0.006667	63.64
22000	76.92	2.78	0.007128	70
24000	83.92	3.00	0.007692	76.36
26000	90.91	5.10	0.013077	82.73
24000	83.92	5.60	0.014359	76.36
22000	76.92	5.90	0.015128	70

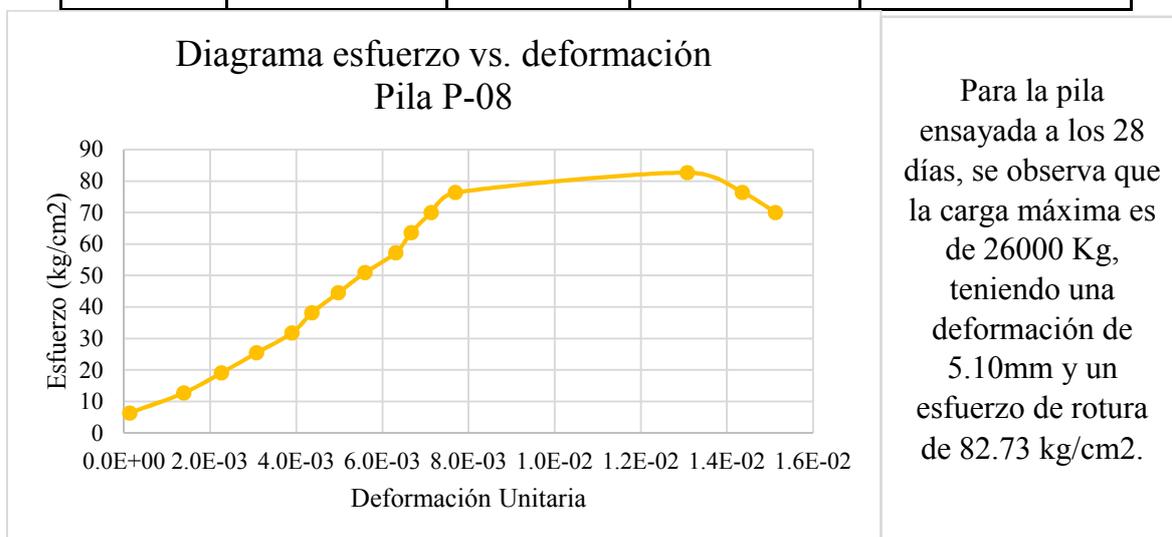


Figura 39. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-08

Tabla 113. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-09

PILA P-09 PET 6%				
	Altura (cm)	39.00	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	3.00
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.910
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.06	0.000154	6.36
4000	13.99	0.64	0.001641	12.73
6000	20.98	1.12	0.002872	19.09
8000	27.97	1.50	0.003846	25.45
10000	34.97	1.72	0.004410	31.82
12000	41.96	1.90	0.004872	38.18
14000	48.95	2.06	0.005282	44.55
16000	55.94	2.22	0.005692	50.91
18000	62.94	2.48	0.006359	57.27
20000	69.93	2.60	0.006667	63.64
22000	76.92	2.76	0.007077	70
24000	83.92	3.00	0.007692	76.36
26000	90.91	3.26	0.008359	82.73
27000	94.41	4.24	0.010872	85.91
25000	87.41	4.60	0.011795	79.55
23000	80.42	4.90	0.012564	73.18
21000	73.43	5.35	0.013718	66.82

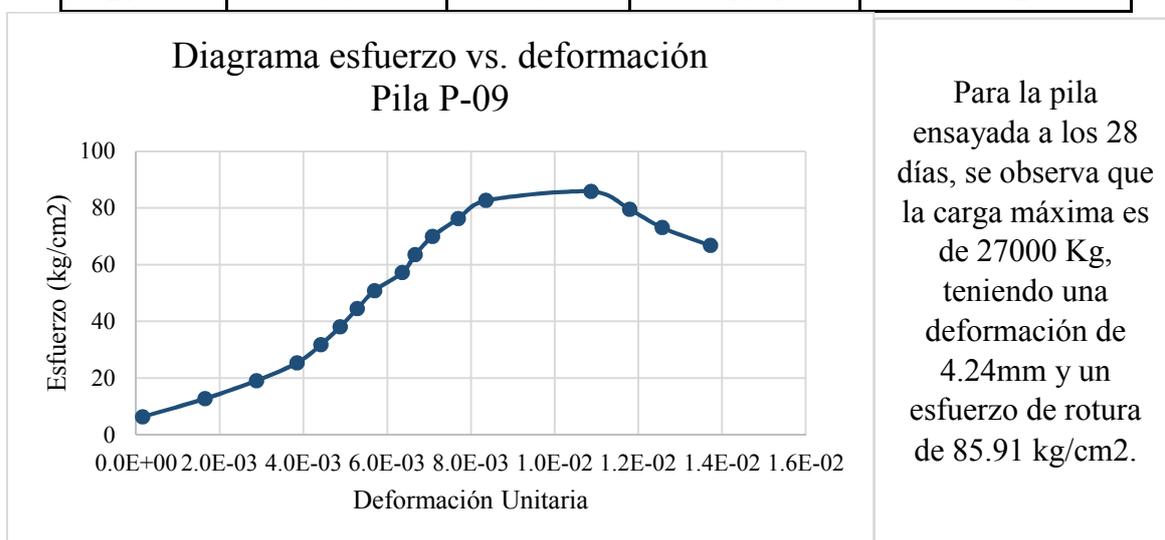


Figura 40. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-09

Tabla 114. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-10

PILA P-10 PET 9%				
	Altura (cm)	39.00	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	3.00
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.910
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.03	0.000077	6.36
4000	13.99	0.38	0.000974	12.73
6000	20.98	0.66	0.001692	19.09
8000	27.97	0.88	0.002256	25.45
10000	34.97	1.06	0.002718	31.82
12000	41.96	1.30	0.003333	38.18
14000	48.95	1.46	0.003744	44.55
16000	55.94	1.68	0.004308	50.91
18000	62.94	1.90	0.004872	57.27
20000	69.93	2.12	0.005436	63.64
22000	76.92	2.48	0.006359	70
24000	83.92	3.40	0.008718	76.36
22000	76.92	4.40	0.011282	70
21000	73.43	4.65	0.011923	66.82
20000	69.93	5.00	0.012821	63.64

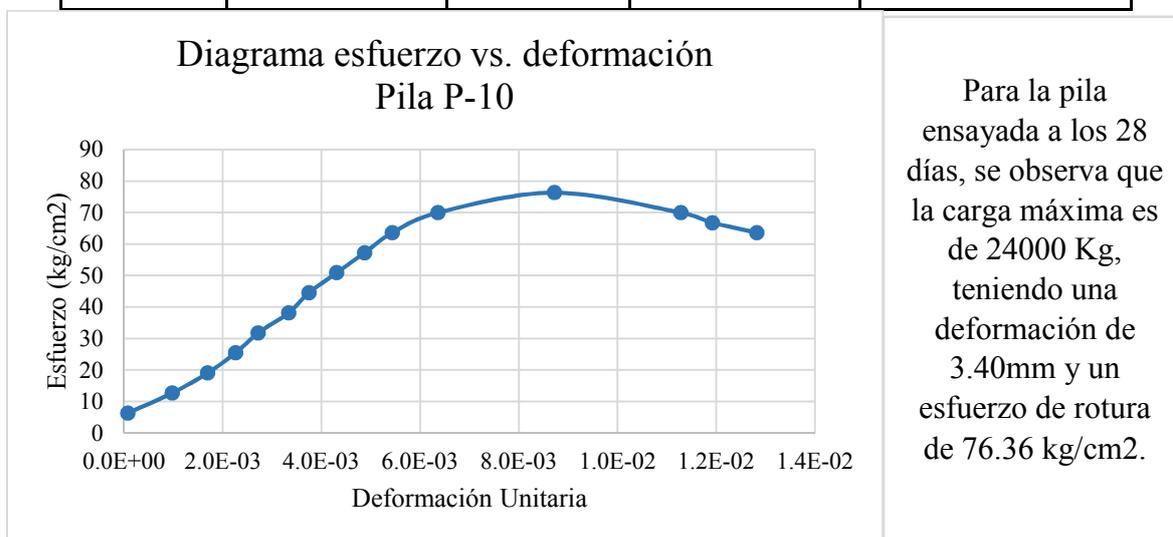


Figura 41. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-10

Tabla 115. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-11

PILA P-11 PET 9%				
	Altura (cm)	38.80	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	2.98
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.907
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.07	0.000180	6.34
4000	13.99	0.46	0.001186	12.69
6000	20.98	0.80	0.002062	19.03
8000	27.97	1.06	0.002732	25.37
10000	34.97	1.30	0.003351	31.71
12000	41.96	1.50	0.003866	38.06
14000	48.95	1.74	0.004485	44.4
16000	55.94	1.90	0.004897	50.74
18000	62.94	2.12	0.005464	57.08
20000	69.93	2.30	0.005928	63.43
22000	76.92	2.55	0.006572	69.77
24000	83.92	2.85	0.007345	76.11
26750	93.53	3.80	0.009794	84.83
25000	87.41	4.05	0.010438	79.28
24000	83.92	4.30	0.011082	76.11
20000	69.93	4.90	0.012629	63.43

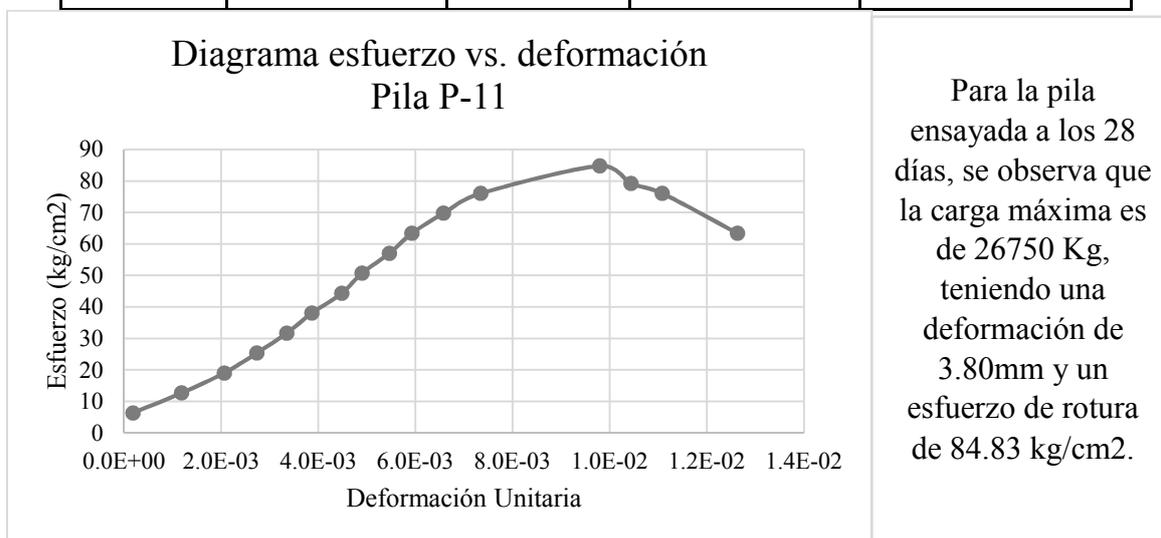


Figura 42. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-11

Tabla 116. Resultado del ensayo a compresión axial de la pila P-12

PILA P-12 PET 9%				
	Altura (cm)	39.30	Área (cm ²)	286.00
	Largo (cm)	22.00	Esbeltez	3.02
	Ancho (cm)	13.00	Factor corrección	0.911
Carga de rotura (kg)	f'm Resistencia (kg/cm ²)	Deformación (mm)	Deformación unitaria ϵ	f'm Resistencia corregida (kg/cm ²)
2000	6.99	0.08	0.000204	6.37
4000	13.99	0.32	0.000814	12.74
6000	20.98	0.50	0.001272	19.11
8000	27.97	0.75	0.001908	25.48
10000	34.97	0.96	0.002443	31.85
12000	41.96	1.14	0.002901	38.22
14000	48.95	1.40	0.003562	44.59
16000	55.94	1.58	0.004020	50.97
18000	62.94	1.77	0.004504	57.34
20000	69.93	1.96	0.004987	63.71
22000	76.92	2.20	0.005598	70.08
24000	83.92	2.45	0.006234	76.45
26000	90.91	2.70	0.006870	82.82
28000	97.90	3.13	0.007964	89.19
28500	99.65	3.70	0.009415	90.78
27000	94.41	4.10	0.010433	86
25000	87.41	4.55	0.011578	79.63
20000	69.93	5.45	0.013868	63.71

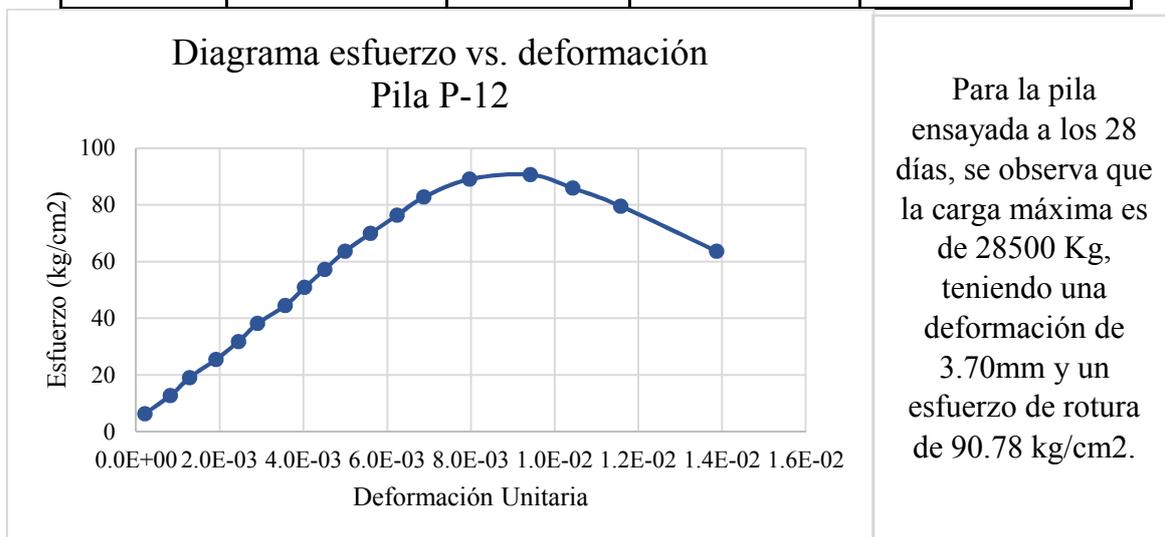
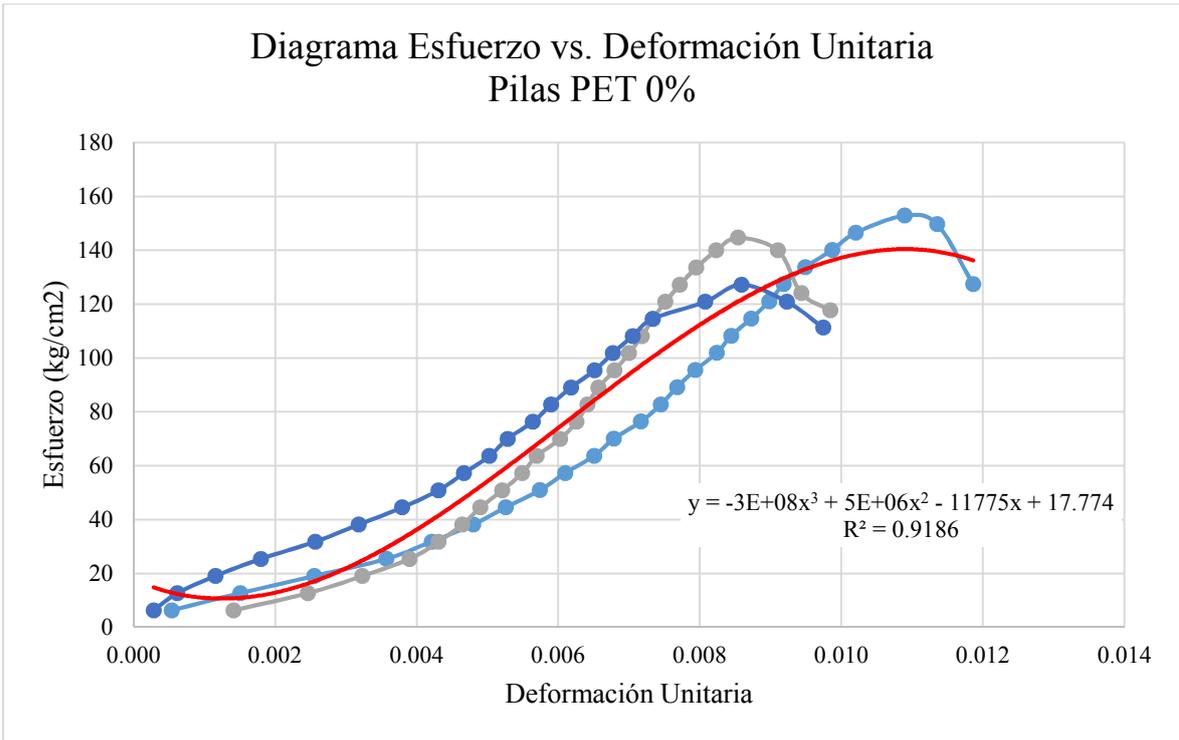
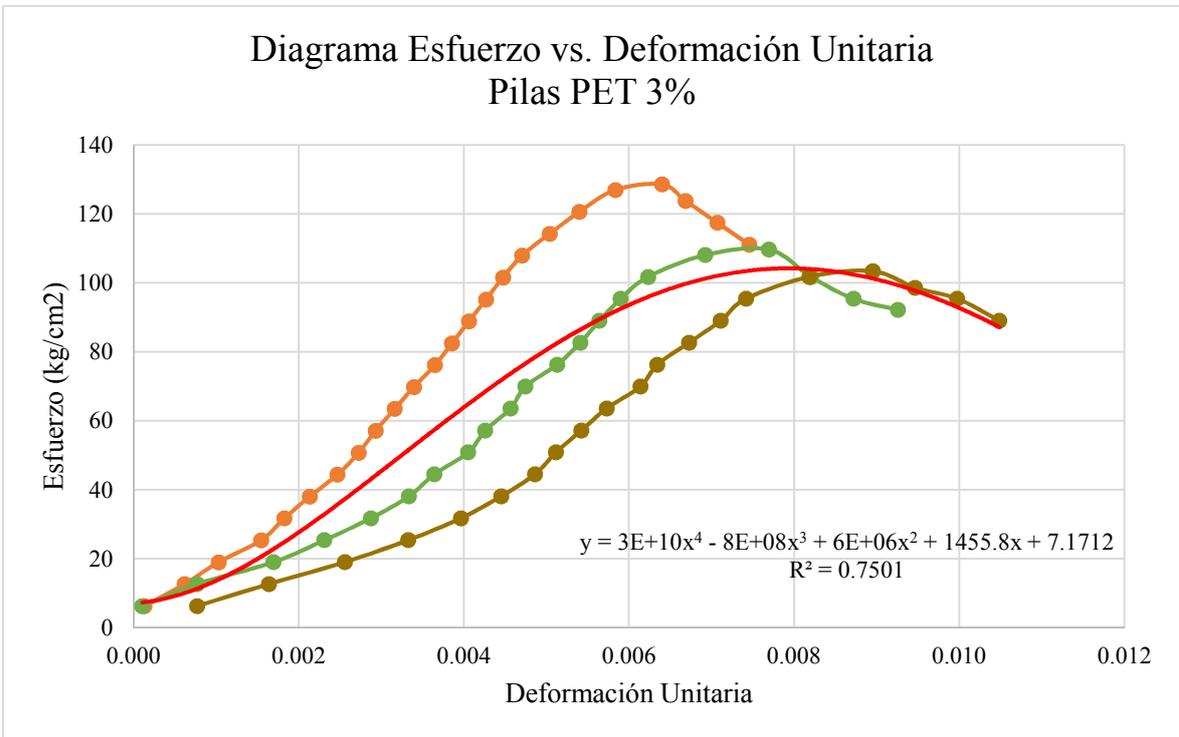


Figura 43. Diagrama esfuerzo vs. Deformación de Pila P-12



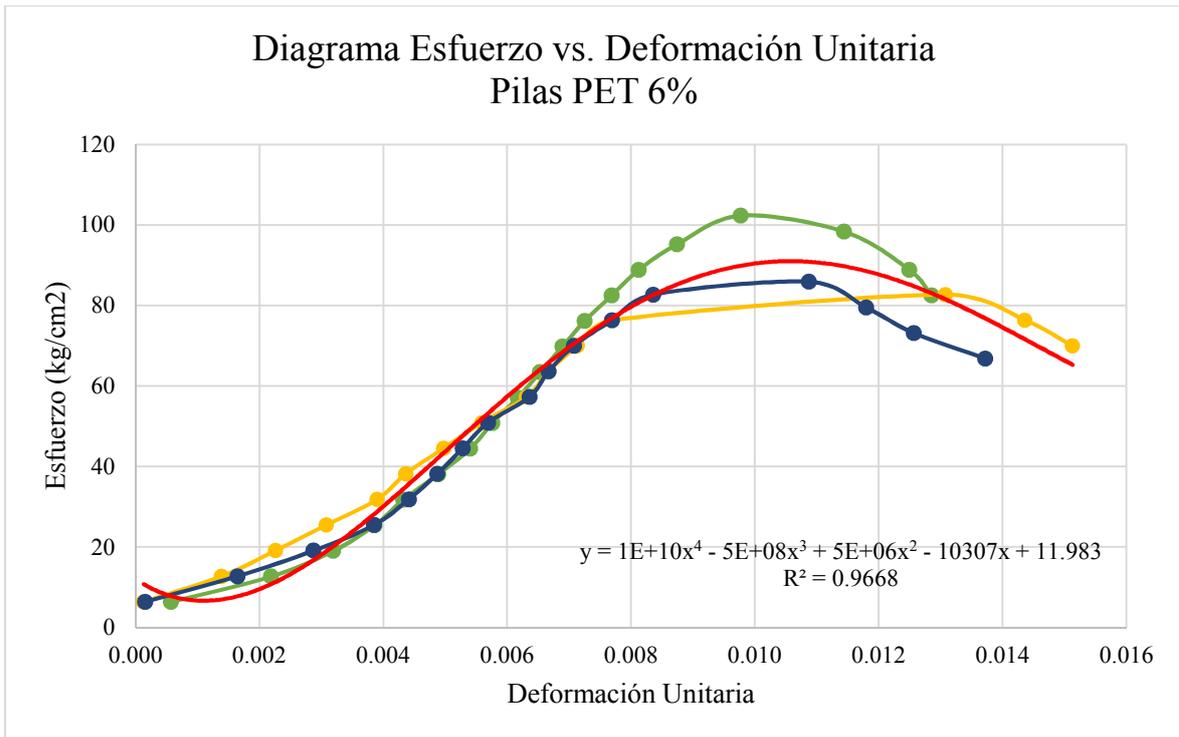
—●— PILA P-01 PET 0%
 —●— PILA P-02 PET 0%
 —●— PILA P-03 PET 0%

Figura 44. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de pilas - PET 0%



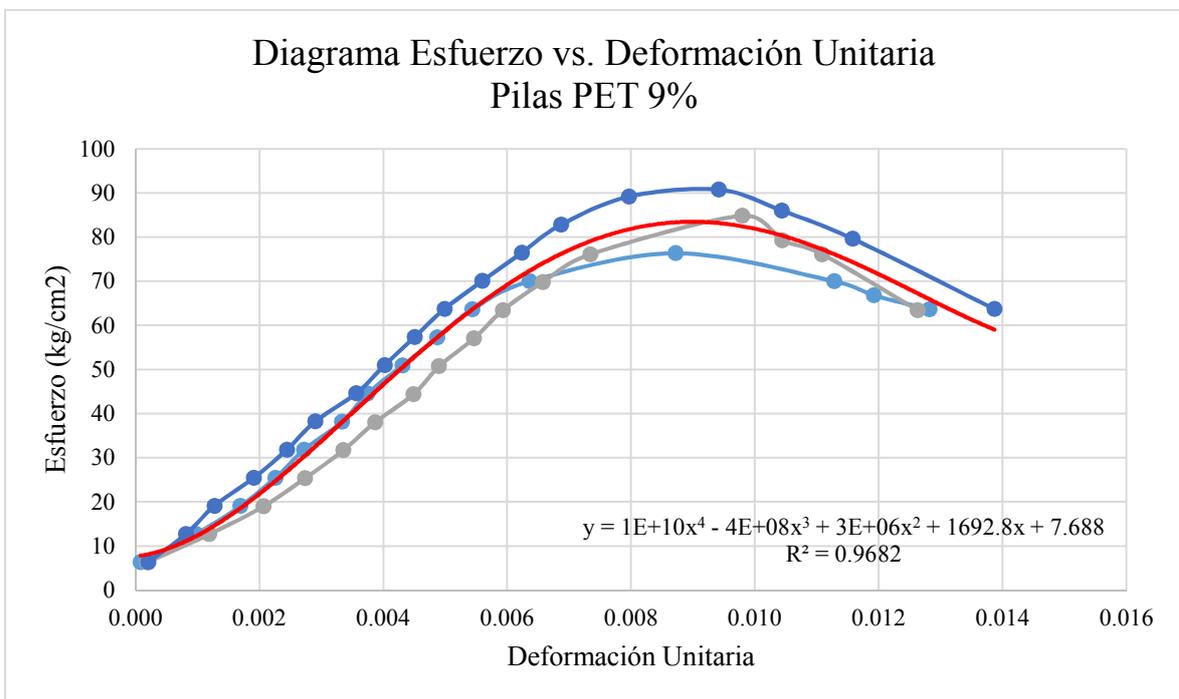
—●— PILA P-04 PET 3%
 —●— PILA P-05 PET 3%
 —●— PILA P-06 PET 3%

Figura 45. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de pilas - PET 3%



● PILA P-07 PET 6%
 ● PILA P-08 PET 6%
 ● PILA P-09 PET 6%

Figura 46. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de pilas - PET 6%



● PILA P-10 PET 9%
 ● PILA P-11 PET 9%
 ● PILA P-12 PET 9%

Figura 47. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de pilas PET - 9%

ANEXO 18. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE CORTE DE LOS MURETES

Tabla 117. Ensayo de corte en muretes de albañilería de los ladrillos de concreto con PET (0%, 3%, 6%, 9%)

MURETES		Altura (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)	Área Bruta (cm ²)	Carga Máx (kg)	V _m (kg/cm ²)	V _m Promedio (kg/cm ²)	Desviación Estándar	Coef. Variación	V' _m (kg/cm ²)
PET 0%	M-01	60	60	13	780.00	19800	17.95	19.47	3.00	15.42%	16.47
	M-02	60	60	13	780.00	19350	17.54				
	M-03	60	60	13	780.00	25300	22.93				
PET 3%	M-04	60	60	13	780.00	14550	13.19	14.14	1.31	9.27%	12.83
	M-05	60	60	13	780.00	17250	15.64				
	M-06	60	60	13	780.00	15000	13.60				
PET 6%	M-07	60	60	13	780.00	16675	15.11	14.69	1.52	10.33%	13.17
	M-08	60	60	13	780.00	17600	15.95				
	M-09	60	60	13	780.00	14350	13.01				
PET 9%	M-10	60	60	13	780.00	11500	10.42	11.11	1.15	10.36%	9.96
	M-11	60	60	13	780.00	13725	12.44				
	M-12	60	60	13	780.00	11550	10.47				

ANEXO 19. DIAGRAMAS ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN DE MURETES

Tabla 118. Resultado del ensayo a corte del murete M-01

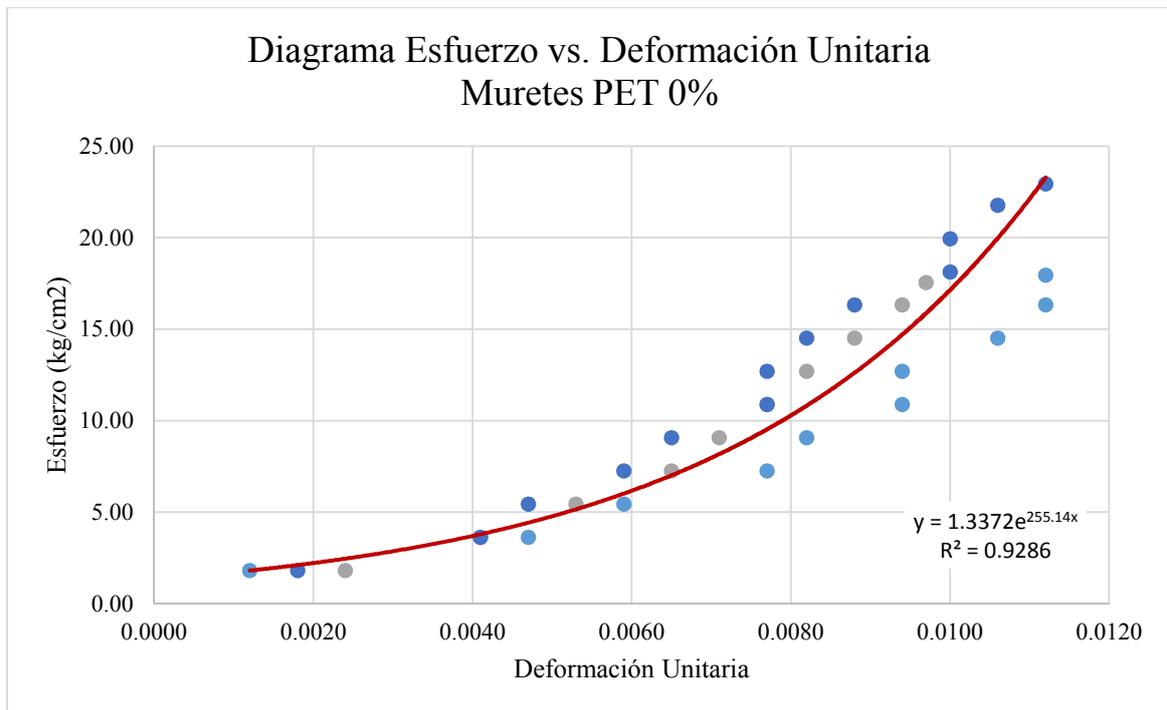
MURETE M-01 PET 0%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm²)
2000	0.10	0.0012	1.81
4000	0.40	0.0047	3.63
6000	0.50	0.0059	5.44
8000	0.65	0.0077	7.25
10000	0.70	0.0082	9.07
12000	0.80	0.0094	10.88
14000	0.80	0.0094	12.69
16000	0.90	0.0106	14.51
18000	0.95	0.0112	16.32
19800	0.95	0.0112	17.95

Tabla 119. Resultado del ensayo a corte del murete M-02

MURETE M-02 PET 0%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm²)
2000	0.20	0.0024	1.81
4000	0.35	0.0041	3.63
6000	0.45	0.0053	5.44
8000	0.55	0.0065	7.25
10000	0.60	0.0071	9.07
12000	0.65	0.0077	10.88
14000	0.70	0.0082	12.69
16000	0.75	0.0088	14.51
18000	0.80	0.0094	16.32
19350	0.82	0.0097	17.54

Tabla 120. Resultado del ensayo a corte del murete M-03

MURETE M-03 PET 0%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm ²)
2000	0.15	0.0018	1.81
4000	0.35	0.0041	3.63
6000	0.40	0.0047	5.44
8000	0.50	0.0059	7.25
10000	0.55	0.0065	9.07
12000	0.65	0.0077	10.88
14000	0.65	0.0077	12.69
16000	0.70	0.0082	14.51
18000	0.75	0.0088	16.32
20000	0.85	0.0100	18.13
22000	0.85	0.0100	19.94
24000	0.90	0.0106	21.76
25300	0.95	0.0112	22.94



● MURETE M-01 PET 0% ● MURETE M-02 PET 0% ● MURETE M-03 PET 0%

Figura 48. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de muretes - PET 0%.

Tabla 121. Resultado del ensayo a corte del murete M-04

MURETE M-04 PET 3%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm²)
2000	0.20	0.0024	1.81
4000	0.40	0.0047	3.63
6000	0.55	0.0065	5.44
8000	0.60	0.0071	7.25
10000	0.70	0.0082	9.07
12000	0.80	0.0094	10.88
14000	0.90	0.0106	12.69
14550	0.90	0.0106	13.19

Tabla 122. Resultado del ensayo a corte del murete M-05

MURETE M-05 PET 3%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm²)
2000	0.10	0.0012	1.81
4000	0.30	0.0035	3.63
6000	0.40	0.0047	5.44
8000	0.50	0.0059	7.25
10000	0.60	0.0071	9.07
12000	0.70	0.0082	10.88
14000	0.75	0.0088	12.69
16000	0.80	0.0094	14.51
17250	0.82	0.0097	15.64

Tabla 123. Resultado del ensayo a corte del murete M-06

MURETE M-06 PET 3%			
t (espesor) =	13.00 cm		D (diagonal)= 84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm ²)
2000	0.15	0.0018	1.81
4000	0.30	0.0035	3.63
6000	0.50	0.0059	5.44
8000	0.60	0.0071	7.25
10000	0.70	0.0082	9.07
12000	0.75	0.0088	10.88
14000	0.80	0.0094	12.69
15000	0.80	0.0094	13.60

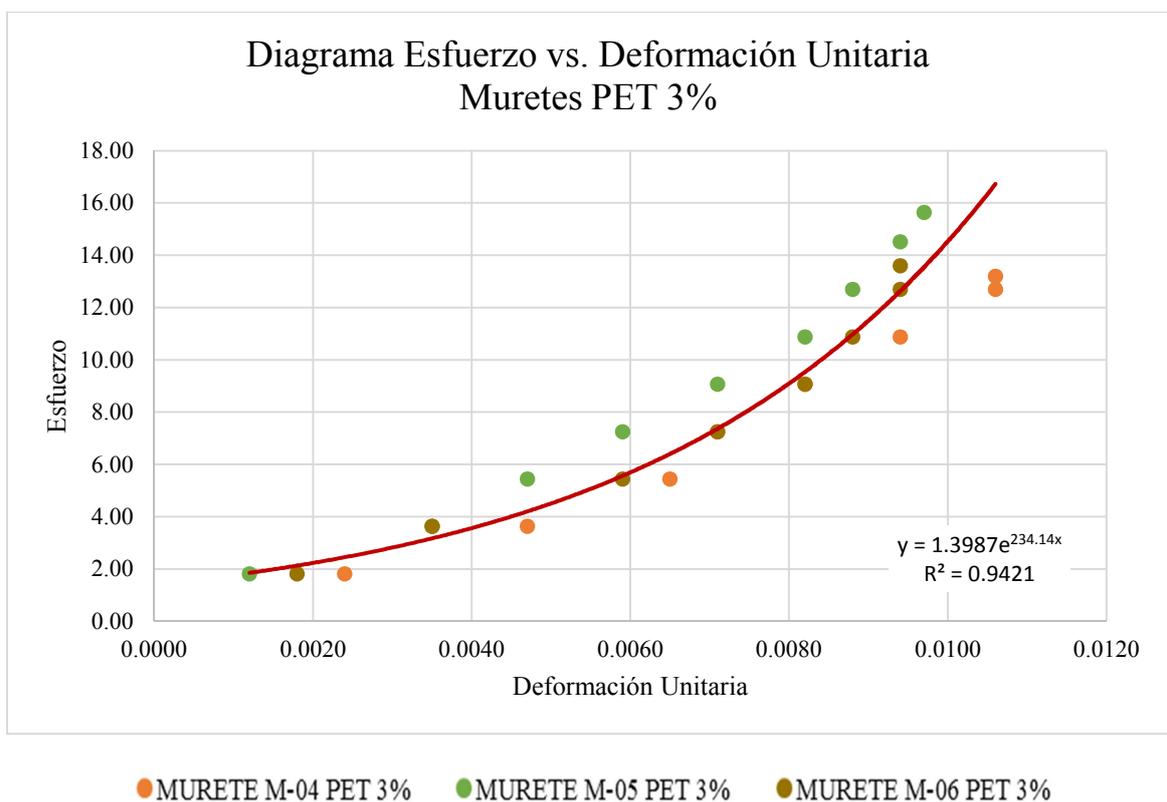


Figura 49. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de muretes - PET 3%

Tabla 124. Resultado del ensayo a corte del murete M-07

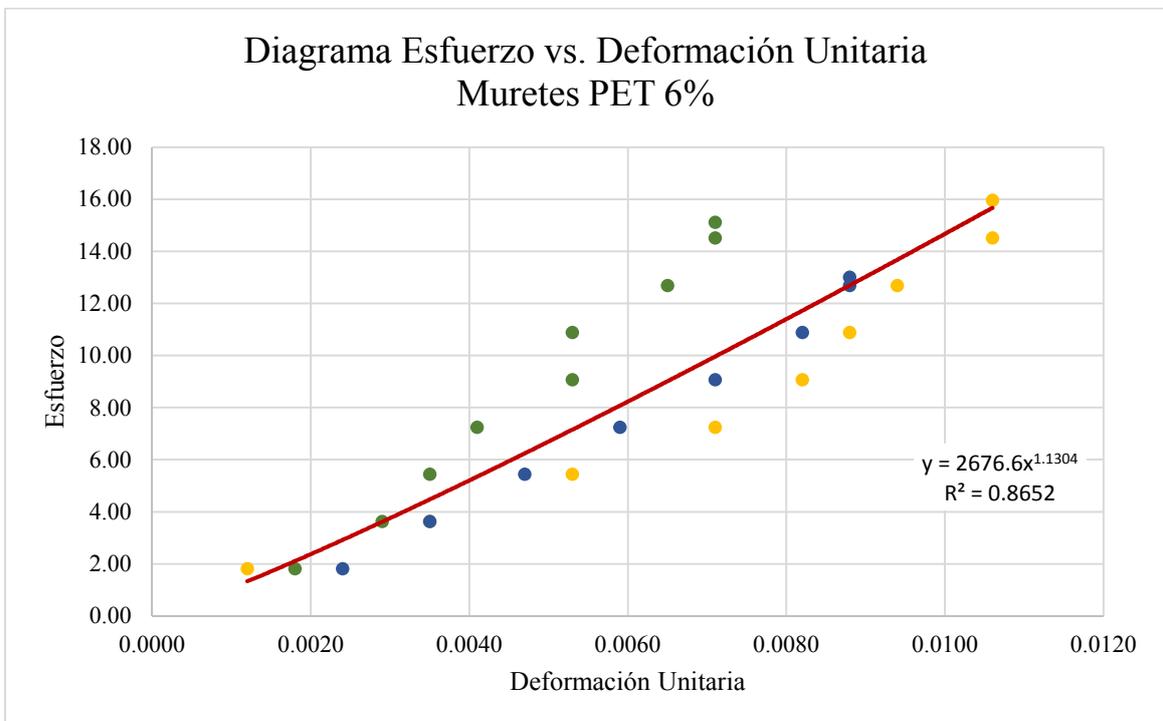
MURETE M-07 PET 6%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm²)
2000	0.15	0.0018	1.81
4000	0.25	0.0029	3.63
6000	0.30	0.0035	5.44
8000	0.35	0.0041	7.25
10000	0.45	0.0053	9.07
12000	0.45	0.0053	10.88
14000	0.55	0.0065	12.69
16000	0.60	0.0071	14.51
16675	0.60	0.01	15.12

Tabla 125. Resultado del ensayo a corte del murete M-08

MURETE M-08 PET 6%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm²)
2000	0.10	0.0012	1.81
4000	0.30	0.0035	3.63
6000	0.45	0.0053	5.44
8000	0.60	0.0071	7.25
10000	0.70	0.0082	9.07
12000	0.75	0.0088	10.88
14000	0.80	0.0094	12.69
16000	0.90	0.0106	14.51
17600	0.90	0.0106	15.96

Tabla 126. Resultado del ensayo a corte del murete M-09

MURETE M-09 PET 6%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm ²)
2000	0.20	0.0024	1.81
4000	0.30	0.0035	3.63
6000	0.40	0.0047	5.44
8000	0.50	0.0059	7.25
10000	0.60	0.0071	9.07
12000	0.70	0.0082	10.88
14000	0.75	0.0088	12.69
14350	0.75	0.0088	13.01



● MURETE M-07 PET 6% ● MURETE M-08 PET 6% ● MURETE M-09 PET 6%

Figura 50. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de muretes - PET 6%

Tabla 127. Resultado del ensayo a corte del murete M-10

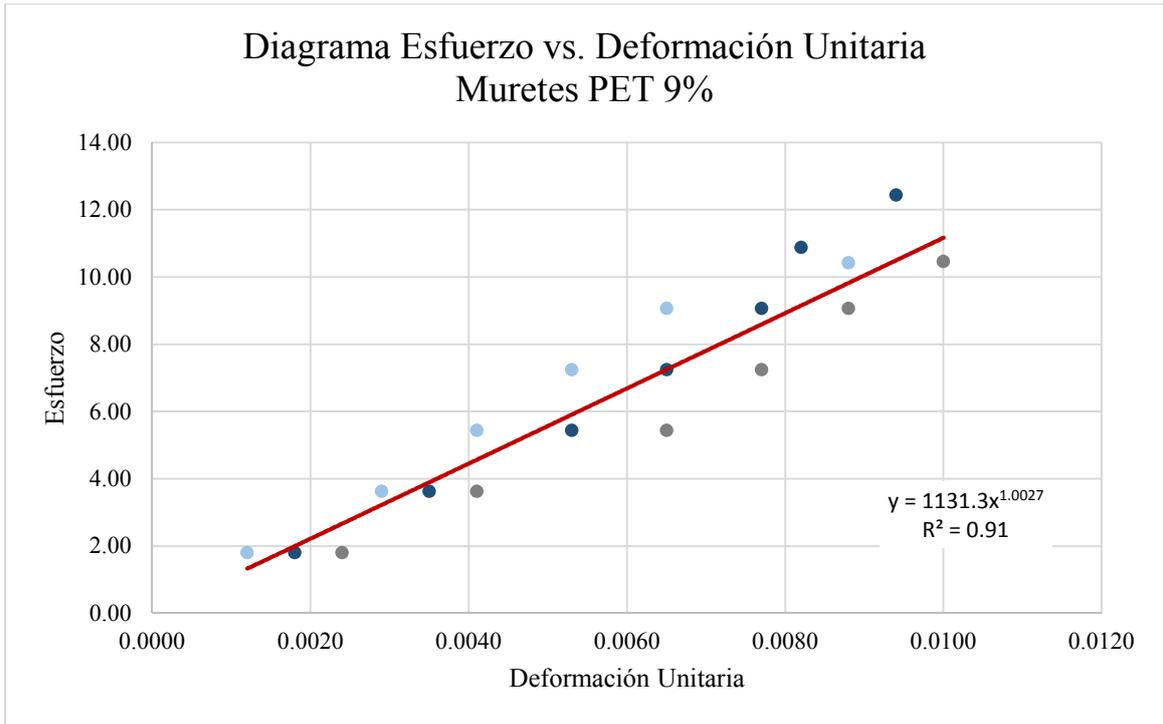
MURETE M-10 PET 9%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm²)
2000	0.10	0.0012	1.81
4000	0.25	0.0029	3.63
6000	0.35	0.0041	5.44
8000	0.45	0.0053	7.25
10000	0.55	0.0065	9.07
11500	0.75	0.0088	10.43

Tabla 128. Resultado del ensayo a corte del murete M-11

MURETE M-11 PET 9%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm²)
2000	0.15	0.0018	1.81
4000	0.30	0.0035	3.63
6000	0.45	0.0053	5.44
8000	0.55	0.0065	7.25
10000	0.65	0.0077	9.07
12000	0.70	0.0082	10.88
13725	0.80	0.0094	12.44

Tabla 129. Resultado del ensayo a corte del murete M-12

MURETE M-12 PET 9%			
t (espesor) =	13.00 cm	D (diagonal)=	84.85 cm
Carga (kg)	Deformación (cm)	Deformación unitaria ϵ	Resistencia (kg/cm²)
2000	0.20	0.0024	1.81
4000	0.35	0.0041	3.63
6000	0.55	0.0065	5.44
8000	0.65	0.0077	7.25
10000	0.75	0.0088	9.07
11550	0.85	0.0100	10.47



● MURETE M-10 PET 9% ● MURETE M-11 PET 9% ● MURETE M-12 PET 9%

Figura 51. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria de muretes - PET 9%

ANEXO 20. CERTIFICADO DE CALIDAD DEL CEMENTO



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
 Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Viviero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
 Carretera Panamericana Norte Km. 866 Pacasmayo - La Libertad
 Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
 Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
 Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3770	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	46.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	289	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016
 La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016
 (*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff V. Rojas Tello
 Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 52. Preparación de los agregados.



Figura 53. Tamices y balanza utilizados en el ensayo granulométrico



Figura 54. Agregado fino saturado superficialmente seco, frasco lleno con muestra y agua hasta la marca de 500cm³.



Figura 55. Confitillo en estado s. s. s. más canastilla sumergidos en agua.



Figura 56. Recipiente metálico: vacío, con agua, con agregado (confitillo).



Figura 57. Ensayo de abrasión en la máquina Los Ángeles.



Figura 58. Recipiente vacío, con hojuelas de PET y con hojuelas de PET más agua.



Figura 59. Recipiente metálico: vacío, con hojuelas de PET suelto y PET compactado.



Figura 60. Determinación de pesos de los agregados de las mezclas prueba.



Figura 61. Fabricación de ladrillos con las mezclas de prueba



Figura 62. Reposo y curado de los ladrillos de prueba.



Figura 63. Ensayo de compresión de los ladrillos de prueba.



Figura 64. Adición de las hojuelas de PET a la mezcla de ladrillos de concreto vibrado.



Figura 65. Mezclado de los agregados de ladrillo de concreto.



Figura 66. Consistencia de la mezcla de ladrillos de concreto, seca y húmeda.



Figura 67. Modelado de la mezcla de concreto en la mesa vibradora.



Figura 68. Desmolde y curado de los ladrillos de concreto vibrado con PET

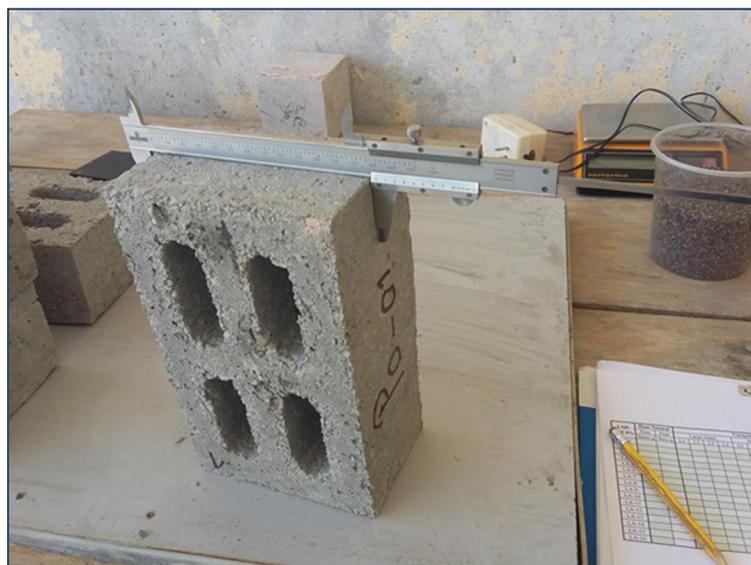


Figura 69. Medición de las dimensiones de cada ladrillo de concreto.



Figura 70. Registro del peso de cada ladrillo de concreto.

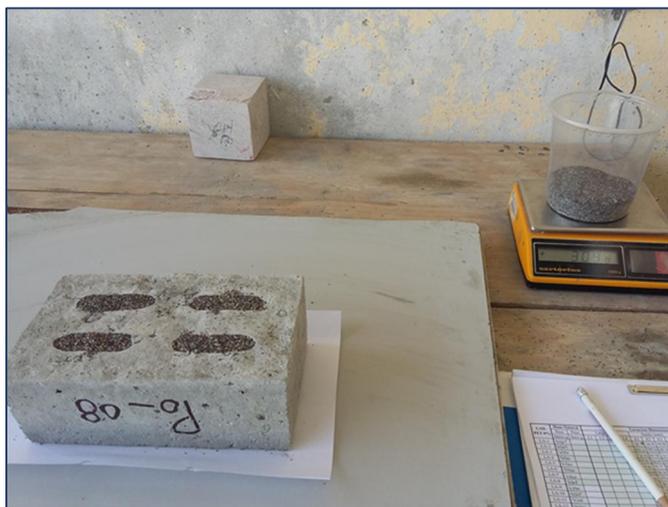


Figura 71. Arena normalizada colocada en las perforaciones del ladrillo de concreto.



Figura 72. Ladrillo de concreto sobre bandeja metálica con agua.



Figura 73. Ladrillos de concreto secados en la estufa y saturados.



Figura 74. Ensayo de resistencia a compresión de los ladrillos de concreto.



Figura 75. Construcción de pilas y muretes de albañilería simple.



Figura 76. Aplicación del capping en las pilas de albañilería.



Figura 77. Aplicación del capping en los muretes de albañilería simple.



Figura 78. Ensayo a compresión del mortero.



Figura 79. Ensayo de compresión axial de pilas de ladrillos de concreto.



Figura 80. Ensayo de corte en muretes de albañilería.



Figura 81. Ensayo de corte en murete de ladrillos con PET 0%. Falla típica.



Figura 82. Ensayo de corte en murete de ladrillos con PET 3%. Falla típica.



Figura 83. Ensayo de corte en murete de ladrillos con PET 6%. Falla típica.



Figura 84. Ensayo de corte en murete de ladrillos con PET 9%. Falla típica.