

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL LADRILLO DE CONCRETO
VIBRADO ADICIONANDO PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP) RECICLADO
EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach Ing. JOHANNES MARÍN VIGO

ASESOR:

Dr. Ing. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMÍREZ

CAJAMARCA – PERÚ

2023

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO ADICIONANDO PLÁSTICO DE POLIPROPILENO (PP) RECICLADO EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA**, realizada por el Bachiller en Ingeniería Civil **Johannes Marín Vigo** de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor Dr. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez con el software antiplagio Turnitin que identifica **20% (veinte por ciento)** de similitud, asignándole el código **oid:3117:303592805**.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 16 de enero del 2024

Documento firmado digitalmente

Dra. Yvonne Katherine Fernández León
Directora Unidad de Investigación Facultad de Ingeniería

Cc.
Archivo
c01324jm



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148258001 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 16/01/2024 11:47:57-0500

AGRADECIMIENTO

A mi padre Amadeo Marín Bolaños, mi madre Lindomera Vigo Sáenz por el apoyo incondicional brindado para mi formación, a mis abuelos, padrinos y hermanos por estar siempre presentes en mi vida.

Especialmente a mi asesor Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez por su dedicación, tiempo y conocimientos invertidos para la elaboración del presente trabajo de investigación.

A mis amigos que me apoyaron en el desarrollo de la presente investigación.

A la Universidad Nacional de Cajamarca y a los docentes que me guiaron en toda mi vida universitaria para poder cumplir una de mis metas.

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos, abuelos, padrinos y tíos por su constante motivación para seguir mejorando.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA.....	ii
CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES	17
1.4.1 Variable Independiente	17
1.4.2 Variables Dependientes	17
1.5 OBJETIVOS	17
1.5.1 Objetivo general:	17
1.5.2 Objetivos específicos:	17
1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.7 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
LIMITACIONES.....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	19
2.1.1 Antecedentes Internacionales	19
2.1.2 Antecedentes Nacionales	19
2.1.3 Antecedentes Locales	20
2.2 BASES TEÓRICAS	21
2.2.1 PLÁSTICOS.....	21
2.2.2 PLÁSTICO DE POLIPROPILENO	21
2.2.3 PROPIEDADES DEL PLÁSTICO DE POLIPROPILENO	22
2.2.4 RECICLAJE DE PLÁSTICO	22
2.2.5 ALBAÑILERÍA O MAMPOSTERÍA.....	23

2.2.6	UNIDAD DE ALBAÑILERÍA.....	23
2.2.7	LADRILLO	23
2.2.8	CLASIFICACIÓN PARA FINES ESTRUCTURALES	24
2.2.9	ENSAYOS DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO.....	24
2.2.10	LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO	25
2.2.11	LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO CON ADICIÓN DE PLÁSTICO DE POLIPROPILENO	25
2.2.12	MORTERO	25
2.2.13	CURADO.....	27
2.2.14	MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	27
2.2.15	COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS DE ALBAÑILERÍA (NTP 399.605:2018)	27
2.2.16	COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERÍA (NTP 399.621:2004 revisada el 2015).....	29
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		31
3.1	LOCALIZACIÓN	31
3.2	TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	31
3.2.1	Tipo de Investigación	31
3.2.2	Nivel de Investigación	31
3.2.3	Diseño de Investigación	31
3.2.4	Método de Investigación	32
3.3	POBLACIÓN DE ESTUDIO	33
3.4	MUESTRA.....	33
3.5	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	33
3.6	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	33
3.7	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	33
3.8	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	34
3.9	MATERIALES Y EQUIPO	34
3.9.1	MATERIALES.....	34
3.9.2	EQUIPO	34
3.10	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	35
3.10.1	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	35
3.10.2	GRANULOMETRÍA.....	36

3.10.3	PESO UNITARIO.....	37
3.10.4	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	39
3.11	PROPIEDADES FÍSICAS DEL PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP)	42
3.11.1	GRANULOMETRÍA.....	42
3.11.2	PESO UNITARIO.....	42
3.11.3	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	43
3.12	LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO ADICIONANDO PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP) RECICLADO	43
3.12.1	MEDIDAS O LONGITUDES DEL LADRILLO	43
3.12.2	PROPORCIÓN DEL LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO PATRÓN.....	43
3.12.3	PROPORCIÓN DEL LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO ADICIONANDO PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP) RECICLADO.....	43
3.12.4	MÉTODO DE LA ELABORACIÓN DE LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO	44
3.13	CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO	45
3.13.1	VARIACIÓN DIMENSIONAL.....	45
3.13.2	ALABEO.....	46
3.13.3	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	46
3.13.4	ABSORCIÓN	47
3.13.5	SUCCIÓN	48
3.14	PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO ADICIONANDO PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP) RECICLADO	49
3.14.1	VARIACIÓN DIMENSIONAL.....	49
3.14.2	ALABEO.....	49
3.14.3	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	49
3.14.4	ABSORCIÓN	49
3.14.5	SUCCIÓN	49
3.15	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO.....	49
3.16	RESISTENCIA DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA.....	50
3.16.1	COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS DE ALBAÑILERÍA (NTP 399.605:2018)	50
3.16.2	COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERÍA (NTP 399.621:2004 revisada el 2015).....	51
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		53
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
4.1.1	RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	53

4.1.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO	56
4.1.3	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO	59
4.1.4	RESISTENCIA DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA	60
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
4.3	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	62
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		63
5.1	CONCLUSIONES	63
5.2	RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		65
ANEXOS.....		67
Anexo A: Constancia de laboratorio		67
Anexo B: Ensayos de las propiedades físico mecánicas del agregado fino.....		68
Anexo C: Ensayo de las propiedades físico mecánicas de la gravilla		74
Anexo D: Ensayo de las propiedades físico mecánicas de arena gruesa		79
Anexo E: Ensayo de las propiedades físico mecánicas del polipropileno.....		84
Anexo F: Diseño de mezcla de ladrillos de concreto vibrado		89
Anexo G: Diseño de mezcla del mortero.		93
Anexo H: Resistencia a compresión de los cubos del mortero.		94
Anexo I: Propiedades del ladrillo de concreto vibrado.		95
Anexo J: Ensayo de compresión axial de pilas.		107
Anexo K: Ensayo de compresión diagonal de muretes		124
Anexo L: Ficha técnica del Cemento Portland Tipo Prefabricado.....		135
Anexo M: Ficha técnica de Cemento Portland Tipo I.		136
Anexo N: Figuras y tablas de las bases teóricas.		137
Anexo Ñ: Panel fotográfico.		142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades del plástico de polipropileno.</i>	22
Tabla 2 <i>Muestra de la investigación.</i>	33
Tabla 3 <i>Propiedades del agregado fino utilizado para la elaboración del ladrillo.</i>	53
Tabla 4 <i>Propiedades del agregado grueso: gravilla utilizada para la elaboración del ladrillo.</i> ...	54
Tabla 5 <i>Propiedades del polipropileno que se utilizó para la elaboración del ladrillo.</i>	54
Tabla 6 <i>Propiedades de la arena gruesa que se utilizó para la elaboración del mortero.</i>	55
Tabla 7 <i>Variación dimensional de cada tipo de ladrillo.</i>	56
Tabla 8 <i>Alabeo de cada tipo de ladrillo.</i>	56
Tabla 9 <i>Peso de cada tipo de ladrillo.</i>	57
Tabla 10 <i>Resistencia a la compresión de cada tipo de ladrillo.</i>	57
Tabla 11 <i>Absorción de cada tipo de ladrillo.</i>	58
Tabla 12 <i>Succión de cada tipo de ladrillo.</i>	58
Tabla 13 <i>Clase de cada tipo de ladrillo.</i>	59
Tabla 14 <i>Resistencia a compresión del mortero.</i>	59
Tabla 15 <i>Resistencia a compresión axial característica de las pilas para cada tipo de ladrillo.</i> ...	60
Tabla 16 <i>Módulo de elasticidad de las pilas para cada tipo de ladrillo.</i>	60
Tabla 17 <i>Resistencia a compresión diagonal característica de los muretes para cada tipo de ladrillo.</i>	61
Tabla 18 <i>Contenido de humedad del agregado fino.</i>	68
Tabla 19 <i>Granulometría del agregado fino, ensayo N° 1.</i>	68
Tabla 20 <i>Granulometría del agregado fino, ensayo N° 2.</i>	69
Tabla 21 <i>Granulometría del agregado fino, ensayo N° 3.</i>	70
Tabla 22 <i>Peso específico del agua.</i>	71
Tabla 23 <i>Calculo para la determinación del volumen del recipiente.</i>	72
Tabla 24 <i>Peso unitario seco compactado del agregado fino.</i>	72
Tabla 25 <i>Peso unitario suelto seco del agregado fino.</i>	72
Tabla 26 <i>Peso específico y absorción del agregado fino.</i>	73
Tabla 27 <i>Contenido de humedad de la gravilla.</i>	74
Tabla 28 <i>Granulometría de la gravilla, ensayo N° 1.</i>	74
Tabla 29 <i>Granulometría de la gravilla, ensayo N° 2.</i>	75
Tabla 30 <i>Granulometría de la gravilla, ensayo N° 3.</i>	76
Tabla 31 <i>Peso unitario seco compactado de la gravilla.</i>	77
Tabla 32 <i>Peso unitario suelto seco de la gravilla.</i>	78

Tabla 33 <i>Peso específico y absorción de la gravilla.</i>	78
Tabla 34 <i>Contenido de humedad de la arena gruesa.</i>	79
Tabla 35 <i>Granulometría de la arena gruesa, ensayo N° 1.</i>	79
Tabla 36 <i>Granulometría de la arena gruesa, ensayo N° 2.</i>	80
Tabla 37 <i>Granulometría de la arena gruesa, ensayo N° 3.</i>	81
Tabla 38 <i>Peso unitario seco compactado de la arena gruesa.</i>	82
Tabla 39 <i>Peso unitario suelto seco de la arena gruesa.</i>	83
Tabla 40 <i>Peso específico y absorción de la arena gruesa.</i>	83
Tabla 41 <i>Granulometría del plástico de polipropileno, ensayo N° 1.</i>	84
Tabla 42 <i>Granulometría del plástico de polipropileno, ensayo N° 2.</i>	84
Tabla 43 <i>Granulometría del plástico de polipropileno, ensayo N° 3.</i>	85
Tabla 44 <i>Peso unitario seco compactado del plástico de polipropileno.</i>	87
Tabla 45 <i>Peso unitario suelto seco del plástico de polipropileno.</i>	87
Tabla 46 <i>Peso específico y absorción del plástico de polipropileno.</i>	88
Tabla 47 <i>Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado patrón.</i>	89
Tabla 48 <i>Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con adición del 2% de polipropileno.</i>	90
Tabla 49 <i>Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con adición del 4% de polipropileno.</i>	91
Tabla 50 <i>Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con adición del 6% de polipropileno.</i>	92
Tabla 51 <i>Diseño de mezcla del mortero.</i>	93
Tabla 52 <i>Resistencia a compresión de los cubos del mortero.</i>	94
Tabla 53 <i>Variación Dimensional de los ladrillos de concreto vibrado patrón.</i>	95
Tabla 54 <i>Variación Dimensional de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.</i>	96
Tabla 55 <i>Variación Dimensional de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.</i>	97
Tabla 56 <i>Variación Dimensional de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.</i>	98
Tabla 57 <i>Alabeo de los ladrillos de concreto vibrado patrón.</i>	99
Tabla 58 <i>Alabeo de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.</i>	99
Tabla 59 <i>Alabeo de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.</i>	99

Tabla 60 <i>Alabeo de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.</i>	100
Tabla 61 <i>Pesos de los cuatro tipos de ladrillos de concreto vibrado.</i>	100
Tabla 62 <i>Resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto vibrado patrón.</i>	101
Tabla 63 <i>Resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.</i>	101
Tabla 64 <i>Resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.</i>	102
Tabla 65 <i>Resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.</i>	102
Tabla 66 <i>Absorción de los ladrillos de concreto vibrado patrón.</i>	103
Tabla 67 <i>Absorción de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.</i>	103
Tabla 68 <i>Absorción de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.</i>	104
Tabla 69 <i>Absorción de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.</i>	104
Tabla 70 <i>Succión de los ladrillos de concreto vibrado patrón.</i>	105
Tabla 71 <i>Succión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.</i>	105
Tabla 72 <i>Succión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.</i>	106
Tabla 73 <i>Succión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.</i>	106
Tabla 74 <i>Medidas de las pilas de ladrillos de concreto vibrado.</i>	107
Tabla 75 <i>Resistencia a compresión axial de las pilas patrón.</i>	108
Tabla 76 <i>Resistencia a compresión axial de las pilas con adición de 2% de plástico de polipropileno.</i>	109
Tabla 77 <i>Resistencia a compresión axial de las pilas con adición de 4% de plástico de polipropileno.</i>	110
Tabla 78 <i>Resistencia a compresión axial de las pilas con adición de 6% de plástico de polipropileno.</i>	111
Tabla 79 <i>Esfuerzo y deformación pila N° 1 P.</i>	112
Tabla 80 <i>Esfuerzo y deformación pila N° 2 P.</i>	112
Tabla 81 <i>Esfuerzo y deformación pila N° 3 P.</i>	113

Tabla 82 <i>Esfuerzo y deformación pila N° 4 P.</i>	113
Tabla 83 <i>Módulo de elasticidad de los ladrillos de concreto vibrado patrón.</i>	114
Tabla 84 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 1 + 2% PP.</i>	115
Tabla 85 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 2 + 2% PP.</i>	115
Tabla 86 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 3 + 2% PP.</i>	116
Tabla 87 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 4 + 2% PP.</i>	116
Tabla 88 <i>Módulo de elasticidad de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.</i>	117
Tabla 89 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 1 + 4% PP.</i>	118
Tabla 90 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 2 + 4% PP.</i>	118
Tabla 91 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 3 + 4% PP.</i>	119
Tabla 92 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 4 + 4% PP.</i>	119
Tabla 93 <i>Módulo de elasticidad de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.</i>	120
Tabla 94 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 1 + 6% PP.</i>	121
Tabla 95 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 2 + 6% PP.</i>	121
Tabla 96 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 3 + 6% PP.</i>	122
Tabla 97 <i>Esfuerzo y deformación de la pila N° 4 + 6% PP.</i>	122
Tabla 98 <i>Módulo de elasticidad de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.</i>	123
Tabla 99 <i>Medidas de los muretes de ladrillos de concreto vibrado.</i>	124
Tabla 100 <i>Resistencia a compresión diagonal de los muretes patrón.</i>	125
Tabla 101 <i>Resistencia a compresión diagonal de los muretes con adición de 2% de plástico de polipropileno.</i>	126
Tabla 102 <i>Resistencia a compresión diagonal de los muretes con adición de 4% de plástico de polipropileno.</i>	127
Tabla 103 <i>Resistencia a compresión diagonal de los muretes con adición de 6% de plástico de polipropileno.</i>	128
Tabla 104 <i>Esfuerzo y deformación murete N° 1 P.</i>	129
Tabla 105 <i>Esfuerzo y deformación murete N° 2 P.</i>	129
Tabla 106 <i>Esfuerzo y deformación murete N° 3 P.</i>	129
Tabla 107 <i>Esfuerzo y deformación murete N° 4 P.</i>	129
Tabla 108 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 1 + 2% PP.</i>	130
Tabla 109 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 2 + 2% PP.</i>	130
Tabla 110 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 3 + 2% PP.</i>	131

Tabla 111 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 4 + 2% PP.</i>	131
Tabla 112 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 1 + 4% PP.</i>	132
Tabla 113 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 2 + 4% PP.</i>	132
Tabla 114 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 3 + 4% PP.</i>	132
Tabla 115 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 4 + 4% PP.</i>	132
Tabla 116 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 1 + 6% PP.</i>	133
Tabla 117 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 2 + 6% PP.</i>	133
Tabla 118 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 3 + 6% PP.</i>	134
Tabla 119 <i>Esfuerzo y deformación del murete N° 4 + 6% PP.</i>	134
Tabla 120 <i>Clases de ladrillos para fines estructurales.</i>	137
Tabla 121 <i>Tipos de morteros.</i>	138
Tabla 122 <i>Factores de corrección altura/espesor para la resistencia en compresión de prismas de albañilería.</i>	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva granulométrica del agregado fino, ensayo N° 1.	69
Figura 2 Curva granulométrica del agregado fino, ensayo N° 2.	70
Figura 3 Curva granulométrica del agregado fino, ensayo N° 3.	71
Figura 4 Curva granulométrica de la gravilla, ensayo N° 1.	75
Figura 5 Curva granulométrica de la gravilla, ensayo N° 2.	76
Figura 6 Curva granulométrica de la gravilla, ensayo N° 3.	77
Figura 7 Curva granulométrica de la arena gruesa, ensayo N° 1.	80
Figura 8 Curva granulométrica de la arena gruesa, ensayo N° 2.	81
Figura 9 Curva granulométrica de la arena gruesa, ensayo N° 3.	82
Figura 10 Curva granulométrica del plástico de polipropileno, ensayo N° 1.	84
Figura 11 Curva granulométrica del plástico de polipropileno, ensayo N° 2.	85
Figura 12 Curva granulométrica del plástico de polipropileno, ensayo N° 3.	86
Figura 13 Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de las pilas patrón.	114
Figura 14 Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de las pilas con adición de 2% de polipropileno.	117
Figura 15 Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de las pilas con adición de 4% de polipropileno.	120
Figura 16 Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de las pilas con adición de 6% de polipropileno.	123
Figura 17 Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de los muretes patrón.	130
Figura 18 Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de los muretes con adición de 2% de polipropileno.	131
Figura 19 Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de los muretes con adición de 4% de polipropileno.	133
Figura 20 Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de los muretes con adición de 6% de polipropileno.	134
Figura 21 Ficha técnica cemento Pacasmayo Tipo Prefabricado.	135
Figura 22 Ficha técnica cemento Pacasmayo Tipo I.	136
Figura 23 Símbolo del plástico de polipropileno.	137
Figura 24 Falla ideal en pilas de albañilería.	138
Figura 25 Falla por trituración en pilas de albañilería.	138
Figura 26 Falla por aplastamiento local en pilas de albañilería.	139
Figura 27 Falla por aplastamiento por pandeo en pilas de albañilería.	139

Figura 28 <i>Falla por tracción diagonal en muretes de albañilería.</i>	139
Figura 29 <i>Falla escalonada en muretes de albañilería.</i>	139
Figura 30 <i>Falla mixta en muretes de albañilería.</i>	140
Figura 31 <i>Falla por deslizamiento en muretes de albañilería.</i>	140
Figura 32 <i>Falla por trituración local en muretes de albañilería.</i>	140
Figura 33 <i>Ubicación de las mediciones en el prisma.</i>	141
Figura 34 <i>Triturado de plástico de polipropileno.</i>	142
Figura 35 <i>Ensayo de peso unitario del plástico de polipropileno.</i>	142
Figura 36 <i>Secado de plástico de polipropileno hasta llegar al estado saturado superficialmente seco.</i>	142
Figura 37 <i>Fiola de 500 cm³ con agua y plástico de polipropileno, ensayo de peso específico.</i> ..	143
Figura 38 <i>Granulometría de la arena gruesa.</i>	143
Figura 39 <i>Ensayo de peso unitario de la arena gruesa.</i>	144
Figura 40 <i>Peso unitario seco compactado de la arena gruesa.</i>	144
Figura 41 <i>Peso unitario suelto seco de la arena gruesa.</i>	144
Figura 42 <i>Arena gruesa en estado saturado superficialmente seco.</i>	144
Figura 43 <i>Fiola de 500 cm³ con agua y arena gruesa, ensayo de peso específico.</i>	145
Figura 44 <i>Mezclado de materiales para elaboración de ladrillos de concreto vibrado con adición de 2%, 4% y 6% de plástico de polipropileno.</i>	145
Figura 45 <i>Medición de alabeo de los ladrillos de concreto vibrado.</i>	146
Figura 46 <i>Ensayo de compresión de los ladrillos de concreto vibrado con adición de 6% de plástico de polipropileno.</i>	146
Figura 47 <i>Ladrillos de concreto vibrado saturados por 24 horas para ensayo de absorción.</i>	147
Figura 48 <i>Ladrillos de concreto vibrado 24 horas en la estufa para ensayo de absorción.</i>	147
Figura 49 <i>Ladrillos de concreto vibrado secos para ensayo de succión.</i>	147
Figura 50 <i>Ensayo de succión de los ladrillos de concreto vibrado.</i>	147
Figura 51 <i>Ensayo de compresión axial de las pilas con adición de 6% de plástico de polipropileno.</i>	148
Figura 52 <i>Fallas de la pila con adición de 6% de plástico de polipropileno.</i>	148
Figura 53 <i>Ensayo de compresión diagonal de los muretes con adición de 4% de plástico de polipropileno.</i>	149
Figura 54 <i>Medición de los cubos de mortero.</i>	149
Figura 55 <i>Ensayo de compresión de los cubos de mortero.</i>	150
Figura 56 <i>Cubos de mortero ensayados a compresión.</i>	150

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades físico mecánicas del ladrillo de concreto vibrado con adición de plástico de polipropileno reciclado, se realizaron los ensayos que indica la norma E.070 para determinar las propiedades de los ladrillos de concreto vibrado convencional (patrón o P) y de los ladrillos de concreto vibrado con adición de plástico de polipropileno reciclado (2%, 4% y 6%), de los 4 tipos de ladrillos que se obtuvieron, la resistencia a compresión en las unidades que alcanzó el ladrillo patrón fue de $f'_b = 102.17 \text{ kg/cm}^2$ y de los ladrillos con adición de polipropileno de $f'_b = 110.77 \text{ kg/cm}^2$ para el 2%, $f'_b = 105.47 \text{ kg/cm}^2$ para el 4% y $f'_b = 103.69 \text{ kg/cm}^2$ para el 6%. La resistencia a compresión axial de las pilas del ladrillo patrón fue de $f'_m = 56.73 \text{ kg/cm}^2$ y de las pilas elaboradas con los ladrillos con adición de polipropileno de $f'_m = 62.31 \text{ kg/cm}^2$, $f'_m = 64.63 \text{ kg/cm}^2$, $f'_m = 60.55 \text{ kg/cm}^2$ para las adiciones de 2%, 4% y 6% respectivamente. La resistencia a compresión diagonal de los muretes del ladrillo patrón fue de $V'_m = 9.81 \text{ kg/cm}^2$ y de los muretes elaborados con los ladrillos con adición de polipropileno, el 2% obtuvo una resistencia de $V'_m = 10.34 \text{ kg/cm}^2$, el 4% resistió $V'_m = 10.22 \text{ kg/cm}^2$ y el 6% resistió $V'_m = 10.09 \text{ kg/cm}^2$. De los resultados obtenidos se concluye que adicionar polipropileno a los ladrillos de concreto vibrados en bajos porcentajes incrementa la resistencia a la compresión de la unidad en 8.42% cuando se le adiciona 2% de polipropileno y 1.49% cuando se le adiciona 6% de polipropileno.

Palabras Clave: Ladrillo, polipropileno, albañilería, resistencia a la compresión axial, resistencia a la compresión diagonal.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the physical-mechanical properties of vibrated concrete bricks with the addition of recycled polypropylene plastic. The tests indicated in standard E.070 were carried out to determine the properties of conventional vibrated concrete bricks (pattern or P) and the vibrated concrete bricks with the addition of recycled polypropylene plastic (2%, 4% and 6%), of the 4 types of bricks that were obtained, the compressive strength in the units reached by the pattern brick was $f'_b = 102.17 \text{ kg/cm}^2$ and for bricks with the addition of polypropylene of $f'_b = 110.77 \text{ kg/cm}^2$ for 2%, $f'_b = 105.47 \text{ kg/cm}^2$ for 4% and $f'_b = 103.69 \text{ kg/cm}^2$ for 6%. The axial compression resistance of the piles of the pattern brick was $f'_m = 56.73 \text{ kg/cm}^2$ and of the piles made with the bricks with the addition of polypropylene was $f'_m = 62.31 \text{ kg/cm}^2$, $f'_m = 64.63 \text{ kg/cm}^2$, $f'_m = 60.55 \text{ kg/cm}^2$ for the additions of 2%, 4% and 6% respectively. The diagonal compression resistance of the walls of the pattern brick was $V'_m = 9.81 \text{ kg/cm}^2$ and of the walls made with bricks with the addition of polypropylene, 2% obtained a resistance of $V'_m = 10.34 \text{ kg/cm}^2$, 4% resisted $V'_m = 10.22 \text{ kg/cm}^2$ and 6% resisted $V'_m = 10.09 \text{ kg/cm}^2$. From the results obtained, it is concluded that adding polypropylene to the vibrated concrete bricks in low percentages increases the compressive strength of the unit by 8.42% when 2% of polypropylene is added and 1.49% when 6% of polypropylene is added.

Keywords: Brick, polypropylene, masonry, resistance to axial compression, resistance to diagonal compression.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es importante conocer las propiedades físico mecánicas del ladrillo de concreto vibrado debido a que existe un gran porcentaje de viviendas en el mundo que son construidas con este material, el ladrillo es utilizado principalmente en la albañilería confinada y la albañilería armada. Siendo la Universidad Autónoma de México quien ha ido impulsando su uso.

Las estructuras de albañilería son económicas y sencillas de aplicar, nos ayudan a reducir el alto déficit habitacional, realizando la construcción de edificios de mediana altura se aprovecha el área del terreno (San Bartolomé et al., 2018).

El censo nacional realizado por el INEI en el Perú el 2017 reveló que las viviendas particulares tienen en sus paredes exteriores como material predominante el ladrillo o bloque de cemento con un 55.8% del total de las viviendas. En el departamento de Cajamarca el 22.2% de viviendas tiene paredes exteriores de ladrillos o bloques de cemento, en comparación con el censo del 2007 se observa un incremento del 78.1% de viviendas con paredes exteriores de ladrillos o bloques de cemento, este porcentaje es elevado si lo comparamos con el incremento que tuvieron las viviendas con paredes de adobe o tapial el cual fue de 5.9%.

En Cajamarca las edificaciones familiares y multifamiliares de albañilería elaboradas con ladrillo de concreto vibrado han ido aumentando con el paso de los años, pero no se conoce de manera técnica sus propiedades físico mecánicas, por lo tanto, es importante investigar dichas propiedades al adicionar plástico de polipropileno, como aporte de la Universidad Nacional de Cajamarca para una mayor resistencia de la unidad de albañilería.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo influye la adición de plástico de polipropileno reciclado en las propiedades físico mecánicas de los ladrillos de concreto vibrado, respecto al ladrillo convencional?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La adición de plástico de polipropileno reciclado a los ladrillos de concreto vibrado reduce el valor de las propiedades físicas e incrementa el valor de la propiedad mecánica de las unidades, la resistencia a la compresión axial de las pilas y la resistencia a la compresión diagonal de los muretes, respecto a los ladrillos, pilas y muretes convencionales.

1.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.4.1 Variable Independiente

- Polipropileno reciclado.

1.4.2 Variables Dependientes

- Propiedades físico mecánicas de la unidad (ladrillo).
- Resistencia a la compresión axial de las pilas.
- Resistencia a la compresión diagonal de los muretes.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general:

Determinar las propiedades físico mecánicas del ladrillo de concreto vibrado adicionando plástico polipropileno (PP) reciclado en la ciudad de Cajamarca.

1.5.2 Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físicas y mecánica de la unidad de ladrillo de concreto vibrado convencional y de los ladrillos con adición de plástico de polipropileno.
- Determinar la resistencia a compresión de las pilas elaboradas con los ladrillos de concreto vibrado convencional y de los ladrillos con adición de plástico de polipropileno.

- Determinar la resistencia a compresión diagonal de los muretes elaborados con los ladrillos de concreto vibrado convencional y de los ladrillos con adición de plástico de polipropileno.

1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación obtuvo un ladrillo más resistente y ligero que puede ser utilizado en las construcciones de albañilería, estas características generaran estructuras con menor peso que sean capaces de soportar mayores cargas.

1.7 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los porcentajes de plástico de polipropileno (PP) reciclado que se adicionó a los ladrillos de concreto vibrado fueron de 2%, 4% y 6% en relación al volumen de la mezcla.

Los agregados fueron de la cantera “El Gavilán” de la ciudad de Cajamarca.

El plástico de polipropileno reciclado utilizado proviene de sillas y baldes triturados.

El cemento que se utilizó para el ladrillo fue Cemento Portland Tipo Prefabricados Pacasmayo.

El cemento que se utilizó para el mortero fue el Cemento Portland Tipo I Pacasmayo.

Las juntas tuvieron un espesor de 13 mm.

La proporción en volumen usado para el mortero fue de 1:5 (cemento: arena).

Se elaboraron 4 muretes y 4 pilas para cada variación de porcentaje de PP planteado y el convencional.

LIMITACIONES

Obtención del plástico de polipropileno reciclado triturado debido a que pocas recicladoras hacen el triturado de plásticos y los datos son válidos para los ladrillos que sean fabricados con materiales similares.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Piñeros M. y Herrera R. (2018), en su investigación: “Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados a la construcción de vivienda”, realizado en la Universidad Católica de Colombia; concluyen que de acuerdo a lo que dicta su norma y a la verificación que hacen el laboratorio observan que los ladrillos de concreto con agregados de PET, que tienen porcentajes de 10%, 20% y 25%, cumplen con la resistencia específica requerida, mientras que el 30%, 35%, 40%, 50%, 60%, 70% y 80% se encuentran por debajo de la resistencia, por lo cual descartan estas muestras.

Infante J. y Valderrama C. (2019), en su investigación: “Análisis técnico, económico y medioambiental de la fabricación de bloques de hormigón con polietileno tereftalato reciclado (PET)”, realizado en la Pontificia Universidad Católica de Chile; señalan que los ladrillos de hormigón con adición de PET logran ser más económicos que un ladrillo convencional y resulta ser un material adecuado para utilizarlo en albañilería, con una resistencia mecánica a compresión mayor a 20 MPa con lo cual cumple las normas chilenas de ladrillos que exigen 7 MPa.

Acevedo A. y Posada J. (2019), en su investigación “Polietileno tereftalato como remplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto”, realizado en la Universidad Eafit, Medellín, Colombia; indican que la resistencia a compresión a los 28 días, para el remplazo del 5% de arena por PET, la reducción de la resistencia fue mínima de 3.7 % con respecto a la mezcla de referencia.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Quinto N. (2019), en su investigación: “Evaluación de las propiedades físicas mecánicas del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, adicionando plástico “PET” reciclado en el Distrito de Yanacancha, Provincia y Región de Pasco – 2019”, realizada en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; indica que a los testigos de concreto que se les adicionó 5% y 10% de PET cumplieron con el Slump del diseño de mezcla

establecido, mientras que a partir del 15% no cumplían con el Slump en ninguno de los diseños de mezcla realizados, mientras mayor sea la proporción de PET adicionado al concreto, ocasionara que el concreto no se conglomerara de manera correcta y la resistencia a la compresión se verá reducida.

Márquez P. (2019), en su investigación: “Estudio del comportamiento del concreto con adición de plástico reciclado en la Ciudad de Arequipa”, realizada en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa; elabora probetas de concreto adicionando plástico en porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5%, estos porcentajes estarán relacionados con el peso del cemento del diseño de la mezcla patrón, concluye que la dosificación más favorable para la adición de polipropileno es de 1.5% con la que alcanza una resistencia a la compresión de 11.3% mayor a la del concreto patrón.

Ramos I. y Sáenz H. (2021), en su investigación: “Plástico PEAD reciclado molido como agregado fino para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ” realizada en la Universidad Nacional de Huancavelica; hacen probetas de diferentes tipos, la primera fue la muestra patrón esta no incluye PEAD, la segunda muestra se puso la misma proporción de plástico PEAD y agregado fino, la tercera muestra tuvo 5% menos de plástico PEAD, la cuarta muestra tuvo 5% más de plástico PEAD y la quinta muestra tuvo 10% más de plástico PEAD, los autores indican que el mejor resultado se obtuvo con el diseño de mezcla que lleva la misma proporción de agregado fino y plástico PEAD pero la resistencia decae en un 27.4%.

2.1.3 Antecedentes Locales

Intor C. (2015), en su investigación: “Resistencia a la compresión del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con fibras de polipropileno”, realizada en la Universidad Nacional de Cajamarca; se plantea comparar la influencia de las fibras de polipropileno al 0.25%, 0.60% y 1.0% del peso de cemento de diseño, al finalizar los ensayos y procesar los datos obtiene que el incremento de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con fibras de polipropileno de 0.25%, 0.60% y 1.00% comparados a los 28 días con la mezcla patrón fue de 1.59%, 4.19% y 6.02% respectivamente.

Echeverría E. (2017), en su investigación: “Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado”, realizada en la Universidad Nacional de Cajamarca; señala que los ladrillos de concreto – PET (3%, 6%, 9% PET) se clasifican como ladrillos Clase III, mientras que el ladrillo patrón (0% PET) se clasifica como ladrillo Clase IV según sus propiedades, todos pueden ser utilizados estructuralmente.

Vasquez A. (2021), en su investigación: “Efecto de las adiciones de plástico reciclado en diferentes porcentajes, en las propiedades mecánicas del concreto, acorde a los resultados obtenidos en anteriores investigaciones, Cajamarca 2021”, realizada en la Universidad Privada del Norte; llega a la conclusión que el plástico de polipropileno reciclado adicionado al concreto, genera efectos positivos, los resultados de las investigaciones obtuvieron que la resistencia a compresión fueron más del 70% viables; la resistencia a la flexión en un 100% y slump en un 60% del total de ensayos.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 PLÁSTICOS

Cuando se habla de plásticos se hace referencia a los polímeros que se utilizan en la fabricación de artículos. Los polímeros tienen varios usos por la facilidad con la que se puede fabricar materiales a la medida deseada, debido a que su variedad de propiedades le permite ser moldeado y adaptado a distintas formas para satisfacer las necesidades (López, 2015).

2.2.2 PLÁSTICO DE POLIPROPILENO

Es un material resistente al calor y no deja pasar la humedad, la grasa o los productos químicos. Por estas propiedades se lo utiliza para la elaboración de envases de mantequilla, yogures, tapas, envases industriales, tuberías para agua caliente, cajones para bebidas, baldes, parachoques y autopartes. Puede ser reciclado como cajas de baterías para automóviles. Se puede reutilizar (Freinkel, 2012). Su simbología se muestra en la Figura 23.

2.2.3 PROPIEDADES DEL PLÁSTICO DE POLIPROPILENO

Tabla 1

Propiedades del plástico de polipropileno.

Propiedades	PP	Unidades
Densidad	0.89 - 0.91	g/cm ³
Módulo de Elasticidad	9136.6912 - 15805.66	Kg/cm ²
Coefficiente de Poisson	0.405 - 0.427	-
Resistencia mecánica a la Compresión	255.95 - 562.89	Kg/cm ²
Resistencia mecánica a la Tracción	281.44 - 422.16	Kg/cm ²
Dureza T _{amb}	6.2 - 11.2	HV
Temperatura de transición vítrea	(-25.2) - (-15.2)	°C
Temperatura de Fusión	150 - 175	°C
Índice de refracción	1.48 - 1.5	-
Temperatura mínima de utilización	(-123) - (-73.2)	°C
Temperatura máxima de utilización	100 - 115	°C
Resistencia a los ácidos	Tiene muy buena resistencia a los ácidos fuertes y débiles.	
Resistencia a los álcalis	Tiene muy buena resistencia a los álcalis fuertes y débiles.	
Resistencia a los disolventes orgánicos	Tiene muy buena resistencia a los disolventes orgánicos.	

Fuente: Universidad de Barcelona.

2.2.4 RECICLAJE DE PLÁSTICO

El reciclaje es un proceso que se utiliza para recuperar los materiales plásticos ya usados, con el objetivo de minimizar su impacto en el ambiente y reducir el consumo de energía que se requiere para la generación de nuevos productos de consumo. El reciclaje de plástico, en la actualidad está enmarcado en proyectos de desarrollo sostenible, donde se busca: la conservación del medio ambiente, reducir o retardar el agotamiento de los recursos naturales y desarrollar conciencia, para así poder generar un ambiente amigable en nuestro entorno, existen varios procesos de reciclaje, pero los principales son el reciclado mecánico y el reciclado químico.

- **Reciclaje Mecánico:** Es un proceso que somete al material a reciclar, a diferentes etapas de transformación de forma, hasta lograr un producto que pueda ser empleado por las industrias. En este proceso no hay rotura de macromoléculas, sino la aplicación de calor para el cambio de forma del material plástico.
- **Reciclaje Químico:** En este proceso se aplica calor y catalizadores a los materiales plásticos, para alterar la longitud de las cadenas moleculares que lo componen, con el fin de que se obtengan moléculas más cortas para producir otros tipos de plásticos. (Rubiano et al., 2011).

2.2.5 ALBAÑILERÍA O MAMPOSTERÍA

La albañilería es definida como unidades trabadas entre sí o adheridas por algún material, como el mortero que estará hecho de barro o cemento. Las unidades pueden ser elaboradas como el adobe, tapias, ladrillos y bloques o extraídas directamente de la naturaleza como las piedras (San Bartolomé et al., 2018).

2.2.6 UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

La Norma E.070 se refiere como unidad de albañilería a los ladrillos y bloques para los cuales se utilizará como materia prima arcilla, sílice-cal o concreto. Estas unidades pueden ser fabricadas de manera artesanal o industrial, además serán de tipo sólidas, huecas, alveolares o tubulares.

2.2.7 LADRILLO

Según San Bartolomé et al. (2018), denomina al ladrillo como la unidad que tiene forma ortoédrica, y sus dimensiones comunes son: ancho de 11 a 14 cm, largo de 23 a 29 cm, altura de 6 a 9 cm y su peso oscila entre 3 y 6 kg; son usados en la construcción de albañilería confinada y fabricados de manera artesanal o industrial.

- **Sólida:** Es cuando la sección transversal en cualquier plano a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor al 70% del área bruta en el mismo plano.

2.2.8 CLASIFICACIÓN PARA FINES ESTRUCTURALES

Para el diseño estructural, las unidades de albañilería deben cumplir con requisitos de variación dimensional, alabeo y resistencia característica a la compresión. Se clasifican según la Tabla 120.

2.2.9 ENSAYOS DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE CONCRETO

La Norma de albañilería E.070 establece el procedimiento para el muestreo y ensayos a los que serán sometidos las unidades de albañilería de concreto:

- **MUESTREO:** Para determinar la resistencia a la compresión, la absorción y el contenido de humedad, de cada lote de 10 000 unidades o menos, se elegirán seis unidades y de cada lote de más de 10 000 y menos de 100 000 unidades, se elegirán doce unidades. Para lotes mayores de 100 000 unidades, se elegirán seis unidades por cada 50 000 unidades o fracción, Los especímenes adicionales pueden tomarse por acuerdo del comprador y el vendedor, según lo indica la NTP 399.604:2002 (revisada el 2015).
- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:** Se realizarán los ensayos de laboratorio correspondientes, conforme lo indica la NTP 339.604. La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería se conseguirá restando la desviación estándar al valor promedio de la muestra.
- **VARIACIÓN DIMENSIONAL:** Para determinar de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento de la NTP 399.604.
- **ALABEO:** Para determinar del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento de la NTP 399.613.
- **ABSORCIÓN:** Se harán los ensayos de absorción de acuerdo a lo indicado en la NTP 399.604.
- **SUCCIÓN:** Se harán los ensayos de succión conforme lo indica la NTP 399.613.

2.2.10 LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO

El equipo que se necesitara para elaborar los bloques de concreto vibrado será una pequeña mesa vibratoria y el molde metálico, los materiales que se utilizaran serán cemento Portland tipo I, agregados que cumplan con las propiedades necesarias para concretos convencionales, la relación a/c deberá ser mínima para obtener características de durabilidad e impermeabilidad. La vibración con la mesa duplica la resistencia de las unidades con respecto a la compactación en forma manual. La mesa vibratoria también permite fabricar unidades que cumplen con las tolerancias dimensionales, en caso de que se presenten deformaciones en los bloques será responsabilidad solo de la mano de obra utilizada (Arrieta y Peñaherrera, 2001).

2.2.11 LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO CON ADICIÓN DE PLÁSTICO DE POLIPROPILENO

Los bloques huecos de concreto vibrado cuando se le añade fibras de polipropileno a la mezcla, incrementan su resistencia a la compresión. Con la adición de fibra pueden ser clasificados como bloques tipo P. Tener bloques que logren trabajar de manera estructural, podría cambiar los procedimientos constructivos que conocemos, mejorar la distribución de ambiente y reducir los costos de ejecución de obra (Castro y Sovero, 2018).

2.2.12 MORTERO

La Norma E.070 define al mortero como una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los que se les agregara la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación de agregados. Para elaborar el mortero que será utilizado en obras de albañilería, se revisará lo indicado en las Normas NTP 399.607 y 399.610.

La Norma E.070 clasifica a los morteros en: tipo P, los cuales serán empleados en la construcción de muros portantes; y tipo NP, los que serán utilizados en muros no portantes. La Norma también nos indica que los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas (en estado suelto) como se muestra en la Tabla 121, se podrá

emplear composiciones diferentes a la tabla, siempre y cuando los ensayos de pilas y muretes proporcionen resistencias iguales o mayores a las especificadas en el plano.

2.2.12.1 COMPONENTES DEL MORTERO

Según San Bartolomé et al. (2018), el mortero está compuesto por:

- **CEMENTO:** Se utiliza cemento Portland tipo I; en casos excepcionales cuando exista presencia de sulfatos se usa el cemento Portland tipo II.
- **ARENA GRUESA:** Se recomienda arena gruesa, con granos redondeados y que en la granulometría las partículas tengan variedad de tamaños, para que puedan llenar los espacios vacíos con el material cementante, formando así un mortero resistente a la intemperie y denso.
- **AGUA:** Deberá evitarse el uso del agua del mar ya que produce eflorescencia en el mortero debido a las sales que contiene y corroerá el refuerzo en caso que lleve. El agua deberá ser potable, libre de materia orgánica y de sustancias como aceites y ácidos.

2.2.12.2 ESPESOR DE LA JUNTA DE MORTERO

Según la Norma E.070 en la albañilería cuando las unidades son asentadas con mortero, todas las juntas horizontales y verticales deberán quedar completamente llenas de mortero. El espesor de estas juntas será como mínimo 10 mm y máximo 15 mm o dos veces la tolerancia dimensional en la altura de la unidad de albañilería más 4 mm, lo que sea mayor. En las juntas que contengan refuerzo horizontal, el espesor mínimo de la junta será 6 mm más el diámetro de la barra.

2.2.12.3 TIPOS DE MORTEROS

Tenemos 2 tipos de morteros el artesanal y el industrial. El artesanal es preparado en obra, mezclando los componentes solidos del mortero, hasta que se obtenga un color uniforme. En cambio, el industrial tiene dos formas la que se vende en bolsas listo para agregar agua o el premezclado que viene listo para su aplicación (San Bartolomé et al., 2018).

2.2.13 CURADO

Para un buen curado se deberá mantener los bloques húmedos para favorecer a la reacción química del cemento, y así poder lograr una buena calidad y resistencia. Los bloques serán apilados en un máximo de 4 unidades y se deberá dejar una separación horizontal de dos centímetros entre ellas como mínimo, para que permita humedecer completamente todos los lados y pueda circular el aire. Para curar los bloques se deberá regar periódicamente con agua durante siete días. Se humedecen los bloques al menos tres veces al día o la cantidad que sea necesaria para que no se comiencen a secar los bordes, también se los puede cubrir con plástico, papeles o costales húmedos para evitar que el agua se evapore fácilmente (Arrieta y Peñaherrera, 2001).

2.2.14 MÓDULO DE ELASTICIDAD

Según Gallegos H. y Casabonne C. (2005), para la albañilería el módulo de elasticidad se obtiene, normalmente, al 50% del valor de la resistencia última, de este modo se tendrá en consideración el comportamiento no lineal de la materia. En este caso E_m será obtenido por la siguiente formula:

$$E_m = 1.25 \frac{\sigma'}{\epsilon'} \quad (1)$$

2.2.15 COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS DE ALBAÑILERÍA (NTP

399.605:2018)

Esta norma nos ayuda a verificar que los materiales utilizados en la albañilería cumplen con la resistencia a compresión especificada, según la Norma Técnica Peruana una muestra está formada de por lo menos tres prismas contruidos del mismo material y ensayados a la misma edad aplicándoles una carga axial. Se deberá construir una muestra de prismas para cada combinación de materiales y cada edad de ensayo que se desee determinar la resistencia en compresión de la albañilería, los prismas serán fabricados con una altura mínima de dos unidades y su relación alto – espesor estará entre 1,3 y 5,0.

2.2.15.1 Tipos de falla:

Según San Bartolomé et al. (2018), el tipo de falla y modo en que se comportan las pilas ante cargas axiales es influenciado por la interacción que se genera entre las caras de asentado de la unidad y el mortero. Al tener diferente rigidez las unidades y el mortero, cuando son sometidos al mismo esfuerzo normal, al estar unidos los materiales, el material que menos se deforma (usualmente las unidades) restringe las deformaciones transversales del material más deformable (mortero), introduciéndole esfuerzos de compresión en dirección transversal, estos generan tracciones laterales en la unidad y grietas verticales.

- **Falla Ideal:** Es cuando se genera una grieta vertical en la cara de menor dimensión (ancho), dicha grieta corta unidades y mortero como se muestra en la Figura 24, esta falla es producida por la tracción que genera la expansión lateral causada por la compresión axial aplicada a la pila.
- **Falla por trituración:** Estas fallas no son deseables porque son frágiles y explosivas, este tipo de falla se da generalmente en unidades huecas, la falla por trituración se muestra en la Figura 25.
- **Falla por aplastamiento local:** Este tipo de falla se da generalmente por aplastamiento local de las unidades, la falla por aplastamiento local se muestra en la Figura 26.
- **Falla por aplastamiento en una zona localizada de la pila o aplastamiento por pandeo de la pila:** Esta falla puede generarse cuando existen efectos distintos a los de compresión pura, usualmente cuando aparecen componentes de flexión, suelen darse por: imperfección en la construcción la cual se aprecia en la configuración geométrica del espécimen, por falta en el paralelismo entre las caras de asiento extremas, o por falta de alineamiento entre el eje de carga y el eje longitudinal de la pila, la falla por aplastamiento por pandeo en pilas se muestra en la Figura 27.

2.2.16 COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERÍA (NTP 399.621:2004 revisada el 2015)

Este método se desarrolló para poder medir con la mayor precisión posible, la resistencia a compresión diagonal (corte) de la albañilería. Para el espécimen se eligió el menor tamaño que sería razonablemente representativo de un muro de albañilería y pueda permitir el uso de máquinas de ensayo, que se emplean en los laboratorios. Los especímenes serán muretes cuadrados de 600 mm x 600 mm, tendrán por lo menos dos unidades enteras de albañilería por hilada, por el espesor del tipo de muro que está siendo ensayado. Los ensayos requerirán de por lo menos tres muretes iguales a los que se les aplicara una carga de compresión en una de sus diagonales.

2.2.16.1 Tipos de falla

Según San Bartolomé et al. (2018), la resistencia de los muretes al corte puro y la forma de la falla estará relacionada a la adherencia entre la unidad y el mortero. Los resultados obtenidos en el ensayo de compresión diagonal de los muretes, permitirá predecir la resistencia a fuerza cortante y la forma de falla que se generará en los muros de escala natural.

- Falla por tracción diagonal: Esta falla se da cuando la adherencia entre la unidad y el mortero es óptima y se genera a través de las unidades y el mortero como se muestra en la Figura 28, logrando maximizar la resistencia a fuerza cortante del murete.
- Falla escalonada: Esta falla se da cuando la adherencia entre la unidad y el mortero lograda no es óptima y se genera de forma escalonada a través de las juntas, la falla escalonada en muretes se muestra en la Figura 29.
- Falla mixta: Se genera de forma escalonada y corta las unidades como se muestra en la Figura 30.
- Falla por deslizamiento: Esta falla se da cuando la adherencia entre la unidad y el mortero de la junta horizontal es muy débil y se genera a través de las unidades y el mortero como se muestra en la Figura 31.

- Falla por trituración local de la unidad: Esta falla se da cuando la unidad que está en contacto con el cabezal angular del equipo es triturada este tipo de falla es común en los ladrillos huecos, la falla por trituración local en muretes se muestra en la Figura 32.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Plástico de polipropileno reciclado: Son polímeros resistentes al calor, no dejan pasar la humedad y han cumplido su función para la que fueron elaborados por consiguiente son triturados.

Ladrillo de concreto vibrado: Mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, elaborado sobre una mesa vibratoria para una mejor organización de sus partículas.

Ladrillo de concreto vibrado con adición de plástico de polipropileno: Mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, polipropileno triturado y agua, para el cual se adicionó 2%, 4% y 6% de polipropileno del volumen de la mezcla.

Prismas de albañilería: Son especímenes pequeños denominados pilas y muretes, los ensayos realizados a las pilas permite determinar la resistencia característica a compresión ($f'm$) y a los muretes permite determinar la resistencia característica al corte ($v'm$) de la albañilería.

Propiedades físico mecánicas: Son las propiedades que tienen los materiales tales como la variación dimensional, alabeo, absorción, succión y resistencia a la compresión.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 LOCALIZACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de Cajamarca, provincia y departamento del mismo nombre. Los ensayos se desarrollaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “M. en I. Carlos Esparza Díaz”, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.

La cantera “El Gavilán” está ubicada en la carretera hacia la costa, sector guitarrero.

3.2 TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Tipo de Investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que buscó incrementar la resistencia a compresión de los ladrillos de concreto vibrado al adicionar plástico de polipropileno, centrándose en la exploración y consolidación del conocimiento para su aplicación.

3.2.2 Nivel de Investigación

El nivel de la investigación es experimental, porque se adicionó tres porcentajes diferentes de polipropileno a los ladrillos de concreto vibrado para determinar la relación que existe con las propiedades físico mecánicas de la unidad, la resistencia a compresión axial de las pilas y la resistencia a compresión diagonal de los muretes.

3.2.3 Diseño de Investigación

La presente investigación es de corte transversal, porque los datos fueron obtenidos una sola vez y tiene enfoque de tipo experimental, pues se manipuló la variable independiente (polipropileno reciclado) para observar sus efectos en las variables dependientes (propiedades físico mecánicas de la unidad, resistencia a la compresión axial de las pilas y resistencia a la compresión diagonal de los

muretes), es decir, los resultados obtenidos en las variables dependientes están en función al porcentaje de polipropileno.

3.2.4 Método de Investigación

La presente investigación utilizará el método hipotético deductivo, porque se elaboró la hipótesis considerando que la resistencia a compresión de las unidades, la resistencia a la compresión axial de las pilas y la resistencia a compresión diagonal de los muretes dependen de la adición de plástico de polipropileno y se infiere que las resistencias a compresión son mayores cuando se adiciona el plástico de polipropileno a los ladrillos de concreto vibrado. Esta investigación nos permitió adquirir nuevos conocimientos, los que se obtuvieron a partir de la observación, medición y experimentación.

Procedimiento:

- Se visitó la planta de reciclaje, donde se compró el plástico de polipropileno necesario para la elaboración de los ladrillos de concreto.
- Se determinó las propiedades de los agregados y del plástico de polipropileno triturado tales como el contenido de humedad, módulo de fineza, peso unitario seco compactado, peso unitario suelto seco, peso específico y absorción.
- Se acudió a la ladrillera para la elaboración de los ladrillos de concreto vibrado convencional y con adición de 2%, 4% y 6% de polipropileno.
- Luego se trasladaron los ladrillos al laboratorio con la finalidad de realizar los diferentes ensayos físico y mecánicos.
- Para las unidades se realizaron los ensayos de variación dimensional, alabeo, absorción, succión y resistencia a la compresión como lo indica la NTP 339.604 y NTP 339.613.
- Se elaboraron 4 pilas y 4 muretes para cada variación de polipropileno (2%, 4% y 6%) y el convencional, usando la metodología establecida en las NTP 339.605 y NTP 399.621, y fueron ensayados a los 28 días.
- Luego se realizó el trabajo de gabinete el cual se presentó en el informe final.

3.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio está conformada por los ladrillos, pilas y muretes de concreto vibrado con adición (2%, 4% y 6%) de polipropileno y el convencional.

3.4 MUESTRA

La muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia y estuvo conformada por 100 ladrillos, 16 Pilas y 16 Muretes.

Tabla 2

Muestra de la investigación.

Especímenes	Porcentajes de adición de polipropileno				Sub total
	P	2%	4%	6%	
Ladrillos	25	25	25	25	100
Pilas	4	4	4	4	16
Muretes	4	4	4	4	16
Total de especímenes	33	33	33	33	132

3.5 UNIDAD DE ANÁLISIS

Propiedades físico mecánicas de los ladrillos de concreto vibrado con adición de plástico polipropileno reciclado.

3.6 UNIDAD DE OBSERVACIÓN

La unidad de observación corresponde a cada ladrillo, pila y murete (con adición de 2%, 4%, 6% de polipropileno y el convencional).

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Observación directa: se observó los ensayos de laboratorio y se registró la información.

Mediante el estudio experimental se controló la adición de polipropileno reciclado y se determinó como influye en las propiedades físico mecánicas de la unidad, la resistencia a compresión axial de las pilas y la resistencia a compresión diagonal de los muretes.

Instrumentos: Formatos para registrar datos de los ensayos de laboratorio, prensa hidráulica para compresión, marco de carga vertical, nivel de ingeniero y deformímetro.

3.8 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Se utilizó la estadística descriptiva para realizar la recopilación, el ordenamiento y procesamiento de los datos en tablas y gráficos, y la estadística inferencial para el análisis, la explicación e interpretación.

Instrumentos: Excel, Word.

3.9 MATERIALES Y EQUIPO

3.9.1 MATERIALES

- Cemento portland tipo I, de Pacasmayo.
- Cemento portland tipo Prefabricados, de Pacasmayo.
- Plástico de polipropileno triturado, de Inversiones JHONLULI E.I.R.L.
- Agregado para elaboración de ladrillo de la cantera el Gavilán de la ciudad de Cajamarca.
- Arena gruesa para la elaboración del mortero de la cantera el Gavilán de la ciudad de Cajamarca.
- Agua de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.9.2 EQUIPO

- Molde de metálico para ladrillos de concreto vibrado con largo de 23 cm, ancho de 12.1 cm y alto de 9.70 cm.
- Regla metálica graduada a 1 mm.
- Vernier.
- Fiola 500 ml.
- Sombrero metálico para PU.
- Varilla metálica lisa de diámetro de 16 mm y longitud de 600 mm.

- Cucharon metálico.
- Molde metálico con forma de cono truncado con diámetro mayor de 90 mm, diámetro menor de 42 mm y altura de 75 mm.
- Pisón metálico.
- Tamices ASTM (1/2, 3/8, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200)
- Mesa vibratoria para elaborar bloques de concreto con motor de 2 HP de potencia, monofásico 220V, 60 Hz, 1.5 Kw y 1740 rpm (KAILI KL-1125, KMM-4).
- Balanza con precisión de 1 g, capacidad de 30 kg.
- Estufa con termostato.
- Deformímetro Mitutoyo No.2046S, numero de revoluciones 10, cada revolución equivale a 1mm.
- Nivel de ingeniero.
- Prensa hidráulica para compresión con capacidad de 200 Tn.
- Marco de carga vertical con capacidad de 20 Tn.

3.10 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Las propiedades físicas nos ayudan a predecir el comportamiento de los elementos que se fabricaron con dichos materiales, para los agregados los ensayos que se realizaron son: contenido de humedad, granulometría, módulo de finura, peso unitario suelto, peso unitario compactado, peso específico y absorción.

3.10.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

Para determinar el contenido de humedad del material se siguió el método que indica la NTP 399.185:2013 (revisada el 2018).

- Se realizó el cuarteo sobre una superficie horizontal, sobre la superficie se tendió un plástico limpio y sobre este se puso la muestra, la misma que se la mezcló de forma homogénea y se distribuyó en forma de círculo, el cual se dividió en 4 partes iguales, se eligió una parte y junto con la opuesta

diagonalmente fueron desechadas. Este proceso se repitió hasta lograr reducir la muestra a la cantidad deseada.

- Se utilizó una muestra de 500 g con su humedad natural.
- La muestra fue colocada en un recipiente metálico y se anotó la masa del recipiente más la muestra.
- Se llevó la muestra a la estufa a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 h.
- Se anotó la masa del recipiente más la muestra seca después de que se enfrió lo suficiente para no dañar la balanza.
- Se determinó el contenido de humedad con la fórmula 2.

$$P = \left(\frac{W - D}{D} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje.

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos.

D = Masa de la muestra seca en gramos.

3.10.2 GRANULOMETRÍA

Para determinar la granulometría del material se siguió el método que indica la NTP 400.012:2013 (revisada el 2018).

- Se realizó el cuarteo.
- Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 h.
- Se ordenó los tamices de acuerdo a su abertura en forma decreciente, se colocó la muestra sobre el tamiz superior y se procedió con el tamizado manual.
- Se tamizó hasta que la cantidad que pasó por el tamiz en un tiempo de un minuto no sea mayor al 1% de la masa que se retiene en el tamiz, una vez que se cumplió este requisito se dejó de tamizar.
- Se registró la masa que se retuvo en cada tamiz.
- Para el cálculo de módulo de fineza (M.F.) se sumaron los porcentajes retenidos acumulados de cada uno de los siguientes tamices N° 100, N° 50,

N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", y mayores; de forma que se incrementen en relación de 1 a 2.

3.10.3 PESO UNITARIO

Para la determinación del peso unitario del material se siguió el método indicado en la NTP 400.017:2011.

- Se determinó la masa de la placa de vidrio y del recipiente.
- Se llenó el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubrió con la placa de vidrio eliminando las burbujas y el exceso de agua.
- Se obtuvo la masa del agua, del recipiente y la placa de vidrio
- Se procedió a calcular el volumen del recipiente con la fórmula 3.

$$V = \frac{W - M}{D} \quad (3)$$

Donde:

V = Volumen del recipiente, m³.

W = Masa del agua, placa de vidrio y recipiente, kg.

M = Masa de la placa de vidrio y recipiente, kg.

D = Densidad del agua para la temperatura medida, kg/m³.

3.10.3.1 *Peso unitario compactado.*

- Se realizó el cuarteo.
- La muestra fue de 125% a 200% de la cantidad que se necesitó para llenar el recipiente metálico, y se manipuló con cuidado para evitar la segregación.
- Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, por 24 h.
- Se anotó la masa del recipiente vacío.
- Se llenó el recipiente hasta una tercera parte y se niveló la superficie con los dedos. Se apisono la capa del agregado con 25 golpes con la varilla, los golpes fueron distribuir uniformemente sobre toda la superficie, evitando golpear el fondo del recipiente con la varilla.

- Se llenó el recipiente hasta las dos terceras partes. Se repitió la nivelación y el apisonado como en el guion anterior, evitando que la varilla penetre la capa previa del agregado.
- Se llenó el recipiente de tal forma que el material sobrepasara el borde superior, se repitió el apisonado.
- Se niveló la superficie del agregado con los dedos o una espátula.
- Se anotó la masa del recipiente más la muestra.
- Se determinó el peso unitario compactado con la fórmula 4.

$$P. U. C = \frac{G - T}{V} \quad (4)$$

Donde:

P.U.C = Peso unitario compactado, kg/m³.

G = Masa del recipiente más la muestra, kg.

T = Masa del recipiente, kg.

V = Volumen del recipiente, m³.

3.10.3.2 *Peso unitario suelto.*

- Se realizó el cuarteo.
- La muestra fue de 125% a 200% de la cantidad que se necesitó para llenar el recipiente metálico, y se manipuló con cuidado para evitar la segregación.
- Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, por 24 h.
- Se anotó la masa del recipiente vacío.
- Se llenó el recipiente hasta el reboce con un cucharón a una altura que no exceda los 5 cm sobre el borde superior, y se manipuló con cuidado para evitar la segregación de la muestra.
- Se niveló la superficie del agregado con los dedos o una espátula.
- Se anotó la masa del recipiente más la muestra.
- Se determinó el peso unitario suelto con la fórmula 5.

$$P.U.S = \frac{G - T}{V} \quad (5)$$

Donde:

P.U.S = Peso unitario suelto, kg/m³.

G = Masa del recipiente más la muestra, kg.

T = Masa del recipiente, kg.

V = Volumen del recipiente, m³.

3.10.4 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

3.10.4.1 *Densidad, Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.*

La norma NTP 400.021:2013 (revisada el 2018), establece el método para determinar la densidad, peso específico y absorción del agregado grueso.

- Se realizó el cuarteo.
- Se procedió a sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente por un tiempo de 24 h.
- Se sacó la muestra del agua y se hizo rodar sobre un paño absorbente grande, hasta eliminar las partículas de agua visibles. Se limpiaron de una por una las partículas más grandes. En el secado superficial se deberá tener cuidado para evitar que se evapore el agua de los poros de los agregados. Se procedió a pesar la muestra del ensayo, en condición de saturada superficialmente seca.
- Luego de haber determinado la masa en aire de la muestra, colocamos inmediatamente la muestra saturada superficialmente seca en la canastilla (Se sumergió hasta que sea cubierta la canastilla y también la muestra) y se determinó su masa aparente en agua a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Se agitó el recipiente mientras estuvo sumergido para eliminar el aire, y se determinó la masa.
- Se secó la muestra en la estufa a una temperatura de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, por 24 h, se dejó enfriar a temperatura ambiente, de 1 h a 3 h, o hasta que el agregado tenga una temperatura que permita manipular (aproximadamente $50 \text{ }^\circ\text{C}$) y se determinó la masa.

$$Pe (OD) = \frac{A}{B - C} \quad (6)$$

$$Pe (SSD) = \frac{B}{B - C} \quad (7)$$

$$Pea = \frac{A}{A - C} \quad (8)$$

$$Ab\% = \left(\frac{B - A}{A} \right) \times 100 \quad (9)$$

Donde:

Pe (OD) = Peso específico secado al horno.

Pe (SSD) = Peso específico saturado superficialmente seco.

Pea = Peso específico aparente.

Ab% = Absorción.

A = Masa de la muestra secada al horno en aire, g.

B = Masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire, g.

C = Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g.

3.10.4.2 Densidad, Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.

La norma NTP 400.022:2013, establece el método para determinar la densidad, peso específico y absorción del agregado grueso.

- Se realizó el cuarteo.
- Se procedió a cubrir el agregado en agua por un tiempo de 24 h.
- Se eliminó el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, se extrajo la muestra y se extendió sobre una superficie plana que no sea absorbente, se dejó secar a temperatura ambiente y se movió constantemente para obtener un secado homogéneo.
- Para saber si la muestra está en estado saturada superficialmente seca, se colocó el molde cónico (diámetro interior menor de 40 mm ± 3 mm, diámetro interior mayor de 90 mm ± 3 mm y una altura de 75 mm ± 3 mm) sobre una superficie no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo. Se relleno con la

muestra del agregado fino suelto parcialmente seco el molde, se llenó hasta el tope y agrego material adicional que fue sujetado con los dedos de la mano que sostenía el molde. Se apisono ligeramente el agregado fino que se encuentra en el molde con 25 golpes con la barra compactadora. Cada golpe fue aproximadamente a 5 mm. por encima de la superficie superior de la muestra. La barra compactadora fue soltada libremente sin ejercer fuerza adicional a la altura antes mencionada, ajustando la altura después de cada golpe y distribuyendo los golpes sobre la superficie. Al finalizar los golpes se niveló el material de la parte superior del molde, se retiró la muestra que haya caído a la base y se levantó el molde verticalmente. Si la muestra conservaba la forma moldeada se encontraba aun superficialmente húmeda. La ligera caída de la muestra moldeada indicó que se encontraba en un estado superficialmente seco.

- Se hizo el ensayo del guion anterior cuando todavía existía un poco de agua superficial en la muestra. Se fue secando con movimientos constantes y ensayando frecuentemente hasta que la prueba indico que la muestra se encontraba saturada superficialmente seca.
- Se procedió a llenar parcialmente el picnómetro con agua, se introdujo 500 g de agregado fino en estado saturado superficialmente seco, y se agregó agua al picnómetro hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Se agitó el picnómetro para eliminar las burbujas de aire visibles.
- Una vez que se eliminaron las burbujas de aire, se llenó el picnómetro con agua hasta su nivel de calibración, se determinó la masa total del picnómetro, la muestra y el agua.
- Se extrajo la muestra del picnómetro, y se secó en la estufa a una temperatura $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 h, se dejó enfriar a temperatura ambiente de $1\text{ h} \pm \frac{1}{2}\text{ h}$, y se determinó la masa.
- Se determinó la masa del picnómetro lleno con agua ($23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) a su capacidad de calibración.

$$Pe(OD) = \frac{A}{B + S - C} \quad (10)$$

$$Pe (SSD) = \frac{S}{B + S - C} \quad (11)$$

$$Pea = \frac{A}{B + A - C} \quad (12)$$

$$Ab\% = \left(\frac{S - A}{A} \right) \times 100 \quad (13)$$

Donde:

Pe (OD) = Peso específico secado al horno.

Pe (SSD) = Peso específico saturado superficialmente seco.

Pea = Peso específico aparente.

Ab% = Absorción.

A = Masa de la muestra seca al horno, g.

B = Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g.

C = Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g.

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g.

3.11 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP)

3.11.1 GRANULOMETRÍA

Norma NTP 400.012:2013 (revisada el 2018).

- Se siguieron los procedimientos y se usaron las fórmulas del ítem 3.10.2.

3.11.2 PESO UNITARIO

Norma NTP 400.017:2011.

- Se siguieron los procedimientos y se usaron las fórmulas del ítem 3.10.3.

3.11.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Normas NTP 400.022:2013.

- Se siguieron los procedimientos y se usaron las fórmulas del ítem 3.10.4.2.

3.12 LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO ADICIONANDO PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP) RECICLADO

3.12.1 MEDIDAS O LONGITUDES DEL LADRILLO

Las medidas aproximadas de los ladrillos son 23.0 cm × 12.1 cm × 9.3 cm, estas medidas son las que se encuentran habitualmente en el mercado y corresponden al largo, ancho y alto respectivamente. Los ladrillos son comúnmente usados en construcciones de edificaciones y tiene una resistencia superior a la de los ladrillos de arcilla artesanales.

3.12.2 PROPORCIÓN DEL LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO PATRÓN

La dosificación en volumen utilizada fue 1 de cemento: 9 de arena gruesa: 6.5 de gravilla, la misma que se realiza habitualmente en la ladrillera “CACHI” y una relación $a/c=0.75$.

3.12.3 PROPORCIÓN DEL LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO ADICIONANDO PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP) RECICLADO

La dosificación en volumen utilizada para los ladrillos de concreto vibrado con adición de plástico de polipropileno reciclado fue:

1 de cemento: 9 de arena gruesa: 6.5 de gravilla + 2% PP.

1 de cemento: 9 de arena gruesa: 6.5 de gravilla + 4% PP.

1 de cemento: 9 de arena gruesa: 6.5 de gravilla + 6% PP.

El porcentaje de PP está en relación al volumen por lo que se mantiene la dosificación del ladrillo patrón, se obtuvieron 150 unidades de cada tipo, las cuales se utilizaron para la realización de los ensayos y la elaboración de las pilas y muretes.

3.12.4 MÉTODO DE LA ELABORACIÓN DE LADRILLO DE CONCRETO

VIBRADO

3.12.4.1 *Fabricación*

Se calcularon los pesos de los materiales necesarios para la mezcla.

Se pesaron las cantidades necesarias de los materiales: agregado fino, gravilla, plástico polipropileno reciclado, cemento y agua, para la elaboración de la mezcla.

Se designó un lugar donde se elaboraron las mezclas, se puso un material sobre otro primero el agregado fino, segundo la gravilla, tercero el plástico de polipropileno triturado y cuarto el cemento, se comenzó a mezclar con la palana hasta lograr una mezcla uniforme de los materiales.

En la mezcla se realizó un hueco en el centro donde se agregó el agua para iniciar con el proceso de hidratación del cemento, una vez agregada el agua se procedió con el mezclado, removiendo nuevamente todos los materiales de tal manera que el material que se encuentra seco se humedezca, se continuó con el mezclado hasta lograr una mezcla uniforme.

Una vez que se logró una mezcla uniforme se comenzó a poner la mezcla en el molde metálico que se encuentra sobre la mesa vibradora, se vibró por un periodo de 21 segundos, este tiempo fue medido desde la primera palanada hasta que el molde fue levantado de la mesa vibratoria, donde se incluyó el enrasado y el acabado con unas almohadillas de jebe de la parte posterior de los ladrillos.

Se levanto el molde de la mesa y se lo llevó al área donde fue desmoldado.

Para el desmoldado se tuvo un área preparada, se ubicó el molde y se extrajo de forma vertical.

3.12.4.2 *Curado*

Una vez que transcurrieron 24 horas de la elaboración de los ladrillos se inició con el curado.

El curado se realizó 3 veces al día por 4 días con el fin de mantener húmedos los ladrillos y ayudar en el proceso de endurecimiento del ladrillo de concreto vibrado.

3.12.4.3 *Traslado y acopio*

A los 7 días se trasladaron los ladrillos de la ladrillera CACHI al laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

El almacenamiento se realizó en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca de tal forma que los ladrillos estén apilados un máximo de 4 unidades.

3.13 CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO

La norma NTP 399.604:2002 (revisada el 2015) establece los ensayos que se realizarán a las unidades de albañilería de concreto y los procedimientos que se deberán seguir.

3.13.1 VARIACIÓN DIMENSIONAL

- Se eligió 5 unidades al azar para cada tipo de ladrillo.
- Cada unidad fue medida en la longitud media de cada cara, se tomaron cuatro medidas para cada lado: ancho (A), alto (H) y longitud (L).
- Se registró las medidas de la unidad con aproximación de 1 mm y se promediaron las cuatro medidas correspondientes a cada cara.
- Se procedió a calcular el promedio del ancho, largo y alto de cada espécimen ensayado.
- Se registró las medidas de fabricación.

$$V (\%) = \frac{D_f - D_p}{D_f} \times 100 \quad (14)$$

Donde:

V = Variación dimensional (%).

Df = Dimensión de fabricación (mm).

Dp = Dimensión promedio (mm).

3.13.2 ALABEO

- Se eligió 5 unidades al azar para cada tipo de ladrillo.
- Con una escobilla se eliminó el polvo adherido a la superficie de los especímenes.
- Cuando la distorsión es de superficie cóncava se colocó la varilla diagonalmente a lo largo de la superficie a medir, se escogió la mayor distancia que se encuentre desde la superficie del espécimen hasta la varilla de borde recto. Se usó la cuña para medir la distancia con aproximación a 1 mm y se registró la medida como distorsión cóncava de la superficie.
- Cuando la distorsión es de superficie convexa se colocó el espécimen con la superficie convexa sobre una superficie plana y con las esquinas a una distancia aproximadamente igual de la superficie. Se usó la cuña para medir la distancia con aproximación a 1 mm de cada una de las cuatro esquinas desde la superficie plana y se registró el promedio de las medidas como distorsión convexa del espécimen.
- Se registró todas las medidas de distorsión de cada espécimen ensayado.

3.13.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

- Se eligió 5 unidades al azar para cada tipo de ladrillo.
- Al llegar los especímenes al laboratorio se almacenaron 72 horas, no estuvieron apilados y fueron separados 5 cm de sus lados.
- Cuando los especímenes fueron ensayados estuvieron libres de humedad visible o manchas de humedad.
- Se midieron las caras que estarían en contacto con las placas.
- Se hizo el refrendado de los especímenes.
- Se ubicó el espécimen con las caras de mayor área en contacto con las placas.
- Se centró el espécimen en la máquina.

- La carga fue aplicada a una velocidad de 0.1 MPa/seg hasta las 14 Tn, luego se ajustó los controles de la máquina para tener una velocidad de 0.06 MPa/seg.
- Se registró la carga de compresión máxima.

$$A_g = L_g \times W_g \quad (15)$$

$$f_b = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_g} \quad (16)$$

Donde:

A_g = Área bruta del espécimen, mm².

f_b = Esfuerzo a compresión, MPa.

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga de compresión máxima, N.

L_g = Longitud promedio del espécimen, mm.

W_g = Anchura promedio del espécimen, mm.

3.13.4 ABSORCIÓN

- Se eligió 5 unidades al azar para cada tipo de ladrillo.
- Se sumergió el espécimen en agua a una temperatura de 15.6 °C a 26.7 °C por 24 horas.
- Se extrajo los especímenes del agua y se los colocó sobre una malla de alambre grueso por 1 minuto para permitir el drenado.
- Con un paño húmedo se retiró el agua superficial visible, se pesó y se registró como W_s (peso saturado).
- Se llevaron los especímenes saturados a la estufa a una temperatura de 110 °C \pm 5 °C por 24 horas
- Se pesó y registró los pesos de los ladrillos hasta que dos pesadas sucesivas en intervalo de 2 horas muestren una variación del 0.2% del peso ultimo anteriormente determinado.
- Se registró los pesos de los especímenes secados W_d (peso secado al horno).

$$Ab\% = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (17)$$

Donde:

Ab% = Absorción.

Ws = Peso saturado del espécimen, kg.

Wd = Peso seco al horno del espécimen, kg.

3.13.5 SUCCIÓN

- Se eligió 5 unidades al azar para cada tipo de ladrillo.
- Se secó en el horno a una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ por 24 horas.
- Se pesó y registró los pesos de los ladrillos hasta que dos pesadas sucesivas en intervalo de 2 horas muestren una variación del 0.2% del peso ultimo anteriormente determinado.
- Se midió la superficie plana, el largo y el ancho.
- Se ubicó sobre una superficie plana la bandeja y se niveló la base para el ensayo, se colocó los soportes y con un nivel de burbuja se verificó que se encuentre nivelado.
- Sobre los soportes se colocó el ladrillo de referencia saturado, se agregó agua hasta que el nivel se encuentre $3\text{ mm} \pm 0.25\text{ mm}$ por encima de los soportes.
- Se retiró el ladrillo de referencia y se colocó el ladrillo de prueba, cuando el ladrillo hizo contacto con el agua se dio inicio al cronometro, al haber transcurrido 1 min, se retiró el ladrillo, se secó con un paño húmedo el agua superficial y se registró el peso.

$$X = \frac{200 \times W}{L \times B} \quad (18)$$

Donde:

X = Diferencia de pesos corregida, sobre la base de 200 cm^2 .

W = Diferencia de pesos del espécimen, g.

L = Longitud del espécimen, cm.

B = Ancho del espécimen, cm.

3.14 PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO ADICIONANDO PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP) RECICLADO

Ante la falta de métodos para determinarlas propiedades de los ladrillos de concreto vibrado adicionando plástico polipropileno usaremos la norma NTP 399.604:2002 (revisada el 2015), la que indica los ensayos que se realizarán a las unidades de albañilería de concreto y los procedimientos que se deberán seguir.

3.14.1 VARIACIÓN DIMENSIONAL

Se siguieron los procedimientos y se usaron las fórmulas del ítem 3.13.1.

3.14.2 ALABEO

Se siguieron los procedimientos y se usaron las fórmulas del ítem 3.13.2.

3.14.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se siguieron los procedimientos y se usaron las fórmulas del ítem 3.13.3.

3.14.4 ABSORCIÓN

Se siguieron los procedimientos y se usaron las fórmulas del ítem 3.13.4.

3.14.5 SUCCIÓN

Se siguieron los procedimientos y se usaron las fórmulas del ítem 3.13.5.

3.15 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO

Según la NTP 399.621:2018 nos indica que deberán realizar 3 cubos de 50 mm para poder determinar la resistencia a compresión del mortero con el que elabora los muretes. Los cubos deberán ser almacenados en las mismas condiciones a la de los muretes a los que son asociados y serán ensayados el mismo día que son ensayados los muretes.

3.16 RESISTENCIA DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

- Las NTP establecen los procedimientos para la elaboración y ensayos de los prismas.

3.16.1 COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS DE ALBAÑILERÍA (NTP 399.605:2018)

Según la NTP 399.605:2018 nos indica el ensayo que se debe realizar con las pilas, el cual nos servirá para determinar la resistencia en compresión.

- Las pilas fueron realizadas con una altura tres unidades, y cumplen con la relación de alto – espesor, h_p/t_p , que se debe encontrar entre 1.3 y 5.0.
- Se tomaron las medidas del prisma con aproximación de 1mm como se muestra en la Figura 33.
- Se refrendaron las pilas.
- Cuando las pilas fueron ensayadas se verificó que estuvieran libres de humedad.
- Las pilas se ensayaron a la edad de 28 días.
- Se aplicó carga al espécimen hasta que el modo de falla se pueda identificar.
- Se registró la carga máxima.
- Se obtuvo la resistencia del prisma de albañilería, dividiendo la carga máxima que soportó el espécimen entre su área bruta.
- Se calculó la resistencia a compresión de albañilería f_{mt} , multiplicando por F_c el cual depende de h_p/t_p , el F_c se calculó interpolando los datos de la Tabla 122.
- Para finalizar se calculó la resistencia a compresión de albañilería, f_{mt} , para cada conjunto de pilas promediando los datos obtenidos.

$$A_g = L_g \times W_g \quad (19)$$

$$f_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_g} \quad (20)$$

$$f_{mt} = f_m * F_c \quad (21)$$

Donde:

A_g = Área bruta del espécimen, mm².

f_m = Resistencia específica en compresión de albañilería, MPa.

f_{mt} = Resistencia del prisma de albañilería, MPa.

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga de compresión máxima, N.

L_g = Longitud promedio del espécimen, mm.

W_g = Anchura promedio del espécimen, mm.

F_c = Factor de corrección.

3.16.2 COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERÍA (NTP 399.621:2004 revisada el 2015)

La NTP 399.621:2004 (revisada el 2015) establece el ensayo para determinar la resistencia a compresión diagonal, de los muretes de albañilería aplicándoles una carga de compresión en la diagonal, la cual originara que el espécimen tenga una falla paralela a la dirección de la carga.

- Los muretes fueron cuadrados y tuvieron una dimensión 61.7cm × 61.7 cm.
- Los muretes no fueron movidos hasta que pasaron los 7 días de su construcción.
- Se hicieron cubos de 50 mm para determinar la resistencia a compresión del mortero, se realizaron tres cubos por cada tanda de mortero empleada para construir los muretes. Los cubos fueron almacenados junto con los muretes a los que estaban asociados para que estén en las mismas condiciones. Los cubos fueron ensayados el mismo día que los muretes.
- Se refrendaron los muretes.

- Se ubicaron las escuadras de carga superior e inferior de tal forma que queden centradas con las respectivas superficies de carga de la maquina donde se realizó el ensayo.
- Se colocó el espécimen centrado y a plomo, haciendo contacto las esquinas refrendadas con las escuadra inferior y superior de carga.
- Se midió el acortamiento de la diagonal vertical bajo la acción de la carga a la que fue sometido el murete.
- Los incrementos de carga fueron cada 1 Tn-f.

$$V_m = \frac{0.707 \times P}{A_b} \quad (22)$$

$$A_b = \frac{l + h}{2} t \quad (23)$$

Donde:

V_m = Esfuerzo cortante sobre el área bruta, en MPa.

P = Carga aplicada, en N.

A_b = Área bruta del espécimen, en mm^2 .

l = Largo del murete, en mm.

h = Altura del murete, en mm.

t = Espesor total del murete, en mm.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

4.1.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS PARA EL LADRILLO

4.1.1.1.1 *Propiedades físicas del agregado fino.*

Tabla 3

Propiedades del agregado fino utilizado para la elaboración del ladrillo.

Propiedades agregado fino	Resultados	Unidad
Contenido de humedad	2.110	%
Módulo de fineza	2.328	adimensional
Peso unitario seco compactado	1.83800	g/cm ³
Peso unitario suelto seco	1.46418	g/cm ³
Peso específico (OD)	2.521	g/cm ³
Peso específico (SSD)	2.569	g/cm ³
Peso específico aparente	2.647	g/cm ³
Absorción	1.902	%

Según la Tabla 3, se determinó que los valores de las propiedades del agregado fino, se encuentran dentro de los límites que indica la NTP 400.037:2018.

4.1.1.1.2 *Propiedades físicas del agregado grueso: gravilla*

Tabla 4

Propiedades del agregado grueso: gravilla utilizada para la elaboración del ladrillo.

Propiedades agregado grueso	Resultados	Unidad
Contenido de humedad	1.902	%
Módulo de fineza	6.093	adimensional
Peso unitario seco compactado	1.77296	g/cm ³
Peso unitario suelto seco	1.56560	g/cm ³
Peso específico (OD)	2.059	g/cm ³
Peso específico (SSD)	2.096	g/cm ³
Peso específico aparente	2.138	g/cm ³
Absorción	1.798	%

Con los datos de la Tabla 4, se verificó que los valores de las propiedades del agregado grueso, se encuentran dentro de los límites que indica la NTP 400.037:2018.

4.1.1.1.3 *Propiedades físicas del PP*

Tabla 5

Propiedades del polipropileno que se utilizó para la elaboración del ladrillo.

Propiedades del polipropileno	Resultados	Unidad
Contenido de humedad	0.00	%
Módulo de fineza	5.806	adimensional
Peso unitario seco compactado	0.37503	g/cm ³
Peso unitario suelto seco	0.30756	g/cm ³
Peso específico (OD)	0.898	g/cm ³
Peso específico (SSD)	0.904	g/cm ³
Peso específico aparente	0.903	g/cm ³
Absorción	0.671	%

La Tabla 5, muestra las propiedades de plástico de polipropileno reciclado, se obtuvo un peso específico de 0.898, encontrándose entre 0.89 y 0.91 que indican sus propiedades y un peso unitario suelto seco menor a los componentes del concreto esto redujo el peso en los ladrillos.

4.1.1.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO UTILIZADO PARA EL MORTERO

4.1.1.2.1 Propiedades físicas de la arena gruesa.

Tabla 6

Propiedades de la arena gruesa que se utilizó para la elaboración del mortero.

Propiedades	Resultados	Unidad
Contenido de humedad	2.95	%
Módulo de fineza	1.997	adimensional
Peso unitario seco compactado	1.90061	g/cm ³
Peso unitario suelto seco	1.72225	g/cm ³
Peso específico (OD)	2.624	g/cm ³
Peso específico (SSD)	2.636	g/cm ³
Peso específico aparente	2.657	g/cm ³
Absorción	0.469	%

Según la Tabla 6, los valores de las propiedades de la arena gruesa para la elaboración del mortero, cumplen con los requisitos de la norma E.070, teniendo un módulo de fineza de 1.997, encontrándose entre el 1.6 y 2.5 que indican la norma, al tener el contenido de humedad mayor a la absorción, el agregado proporciona agua a la mezcla.

4.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO VIBRADO

4.1.2.1 VARIACION DIMENSIONAL

Tabla 7

Variación dimensional de cada tipo de ladrillo.

Tipo	Lp (cm)	V _{Lp} %	Ap (cm)	V _{Ap} %	Hp (cm)	V _{Hp} %	Clase
P	23.04	-0.17	12.06	0.35	9.30	-0.02	V
2%	22.89	0.49	12.09	0.07	9.19	1.16	V
4%	22.80	0.89	12.12	-0.20	9.29	0.13	V
6%	22.92	0.33	12.06	0.35	9.27	0.37	V

En la Tabla 7, se observa que la variación dimensional de los cuatro tipos de ladrillos es baja, siendo la mayor variación de 1.16% y la norma indica que para una longitud menor a 100 mm puede tener una variación de $\pm 3\%$, los ladrillos se clasifican como clase V según la norma E.070.

4.1.2.2 ALABEO

Tabla 8

Alabeo de cada tipo de ladrillo.

Tipo	Alabeo (mm)	Clase
P	1.10	V
2%	0.60	V
4%	0.70	V
6%	0.80	V

La Tabla 8, muestra el alabeo de ladrillo de concreto vibrado, todos los tipos de ladrillo tienen una variación menor a 2 mm, por eso son clasificados como clase V según la norma E.070.

4.1.2.3 PESO

Tabla 9

Peso de cada tipo de ladrillo.

Tipo	Peso (g)
P	5020.35
2%	4886.91
4%	4858.24
6%	4710.38

Según la Tabla 9, los pesos que se obtuvieron en los ladrillos de concreto vibrado fueron decreciendo conforme iba aumentando la adición de polipropileno, esto permitirá reducir los pesos de las estructuras de albañilería.

4.1.2.4 RESITENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla 10

Resistencia a la compresión de cada tipo de ladrillo.

Tipo	f_b (kg/cm ²)	σ	f'_b (kg/cm ²)	Clase
P	105.48	3.31	102.17	III
2%	113.84	3.06	110.77	III
4%	108.91	3.44	105.47	III
6%	106.72	3.02	103.69	III

La Tabla 10, muestra que el ladrillo de concreto vibrado con adición de 2% de polipropileno logran una mayor resistencia a la compresión y va decreciendo conforme se le agrega más porcentaje hasta llegar al ladrillo con adición del 6% que logra una resistencia cercana al ladrillo patrón. Los cuatro tipos de ladrillo tiene una resistencia superior a los 95 kg/cm² por eso clasifican como clase III según la norma E.070.

4.1.2.5 ABSORCIÓN

Tabla 11

Absorción de cada tipo de ladrillo.

Tipo	Absorción %
P	6.96
2%	6.83
4%	7.05
6%	7.02

En la Tabla 11, los porcentajes de absorción de los ladrillos de concreto vibrado son similares en los cuatro tipos de ladrillos y tienen una absorción menor al 12% que indica la norma E.070.

4.1.2.6 SUCCIÓN

Tabla 12

Succión de cada tipo de ladrillo.

Tipo	Succión (g/200 cm ² - min)
P	17.59
2%	12.10
4%	15.48
6%	13.37

Los resultados de la Tabla 12, indican que la succión de los ladrillos de concreto con adición de plástico de polipropileno no tiene un orden que permita predecir que sucede cuando se agrega más plástico de polipropileno, sin embargo, los tres tipos de ladrillo con adición de polipropileno logran una succión menor a la de los ladrillos convencionales. Los cuatro tipos de ladrillo se encuentran entre los 10 – 20 g/(200 cm² – min) de succión que debe tener un ladrillo de concreto según San Bartolomé.

4.1.2.7 CLASIFICACIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

Tabla 13

Clase de cada tipo de ladrillo.

Tipo	Variación dimensional	Alabeo	Resistencia a la compresión	Ladrillo clase
P	V	V	III	III
2%	V	V	III	III
4%	V	V	III	III
6%	V	V	III	III

Según la Tabla 13, la clasificación de las unidades con fines estructurales fue determinada por el resultado más desfavorable de los ensayos de variación dimensional, alabeo y resistencia a la compresión. Los cuatro tipos de ladrillo en estudio pertenecen a la clase III.

4.1.3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO

Tabla 14

Resistencia a compresión del mortero.

Tipo	f_c (kg/cm ²)	σ	f'_c (kg/cm ²)
Mortero	114.68	3.99	110.69

La Tabla 14, muestra que el mortero de tipo P2 con proporción 1:5 (cemento: arena) logra una resistencia característica a compresión de 110.69 kg/cm² esta resistencia es cercana a la resistencia que alcanzan los ladrillos por lo que se obtuvo una falla de mortero unidad.

4.1.4 RESISTENCIA DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA

4.1.4.1 COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS DE ALBAÑILERÍA

Tabla 15

Resistencia a compresión axial característica de las pilas para cada tipo de ladrillo.

Tipo	f'm (kg/cm ²)	f'm (MPa)
P	56.73	5.56
2%	62.31	6.11
4%	64.63	6.34
6%	60.55	5.94

Como se aprecia en la Tabla 15, las pilas que tuvieron mayor resistencia a compresión axial fueron las que se elaboraron con los ladrillos con adición del 4% de polipropileno y va decreciendo en el siguiente orden 2%, 6% y finalmente las pilas patrón.

Tabla 16

Módulo de elasticidad de las pilas para cada tipo de ladrillo.

Tipo	E'm (kg/cm ²)	E'm (MPa)
P	9448.28	926.56
2%	12051.76	1181.87
4%	18432.82	1807.64
6%	14031.76	1376.05

La Tabla 16, presenta los módulos de elasticidad de las pilas, se observa que adicionar plástico de polipropileno a los ladrillos de concreto vibrado incrementa el módulo de elasticidad, esto indica que los ladrillos de concreto vibrado con adición de polipropileno son capaces de soportar mayor carga con una menor deformación.

4.1.4.2 COMPRESIÓN DIAGONAL DE MURETES DE ALBAÑILERÍA

Tabla 17

Resistencia a compresión diagonal característica de los muretes para cada tipo de ladrillo.

Tipo	V'm (kg/cm ²)	V'm (MPa)
P	9.82	0.96
2%	10.34	1.01
4%	10.22	1.00
6%	10.09	0.99

En la Tabla 17, se muestra que los muretes con mayor resistencia a la compresión diagonal fueron los que se elaboraron con los ladrillos de adición de 2% de polipropileno, y fue decreciendo conforme se les iba agregando más porcentaje de polipropileno, sin embargo, los 3 tipos lograron una resistencia mayor a los muretes patrón.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la investigación realizada por Intor C. en el 2015 obtiene que adicionar fibras de polipropileno al concreto en porcentajes de 0.25%, 0.60% y 1.00% comparados a los 28 días con la mezcla patrón incrementa la resistencia a compresión en 1.59%, 4.19% y 6.02% respectivamente, Márquez P. en el 2019 obtiene que al adicionar 1.5% de polipropileno al concreto su resistencia a compresión se ve incrementada en un 11.3% en relación al concreto patrón, al igual que sucede en el presente estudio, en el cual se agrega 2%, 4% y 6% de plástico de polipropileno triturado y al ser comparados con el ladrillo patrón se obtiene un incremento en la resistencia a compresión de 8.42%, 3.23% y 1.49% respectivamente. Donde se aprecia la mayor resistencia para los ladrillos con adición de polipropileno de 2%.

De los resultados obtenidos se aprecia que la adición de polipropileno en bajos porcentajes mejoran la propiedad de la resistencia a compresión de los ladrillos de concreto vibrado (Tabla 10) hasta un 8.42%, siendo la adición de 2% de polipropileno la que tiene mayor resistencia y pesando 133.44 gramos menos que el ladrillo patrón, el

ladrillo con adición de 6% de polipropileno tiene una resistencia levemente mayor a la del ladrillo patrón, sin embargo, pesa 309.97 gramos menos.

Los ladrillos de concreto vibrado con adición de polipropileno y los patrones tienen una variación dimensional (Tabla 7) y alabeo (Tabla 8) que difieren levemente debido a que estas propiedades dependen de la geometría, en la cual influye la mano de obra y el molde, los que se mantuvieron constantes en todo el proceso de fabricación. Las propiedades físicas como la absorción (Tabla 11) y succión (Tabla 12), se observó que existe diferencias en los resultados siendo difícil predecir una relación.

Los muretes tuvieron fallas por compresión diagonal y fallas mixtas, la resistencia a compresión diagonal de los muretes (Tabla 17) muestra que los muretes con mayor resistencia fueron los que se elaboraron con los ladrillos de adición de 2%.

La resistencia a compresión de las unidades y los muretes tuvieron el mismo orden, pero en las pilas cambio el orden, las que fueron elaboradas con adición del 4% el polipropileno, fueron las que tuvieron mayor resistencia, esto nos lleva a considerar que el porcentaje óptimo de adición de polipropileno se encuentra entre el 2% y el 4%.

4.3 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ladrillos de concreto vibrado en los ensayos realizados a las unidades y prismas, se observa que adicionar hasta el 6% de polipropileno a los ladrillos de concreto vibrado reducen su peso en 6.17% e incrementan la absorción en 0.06%, la resistencia a compresión en 1.49%, la resistencia a compresión axial de las pilas en 3.10% y la resistencia al corte de los muretes hasta 2.75% en relación a los ladrillos, pilas y muretes patrón.

Se validó la hipótesis porque la adición de polipropileno a los ladrillos de concreto vibrado mejoró las propiedades físico mecánicas de los ladrillos, la resistencia a compresión axial de las pilas y la resistencia a compresión diagonal de los muretes.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La adición de plástico de polipropileno reciclado a los ladrillos de concreto vibrado incrementó el valor de la propiedad mecánica y redujo los valores de las propiedades físicas a excepción de la absorción que se incrementó cuando se adiciono 4% y 6% de polipropileno.
- Los ladrillos de concreto vibrado con adición de plástico de polipropileno obtuvieron una resistencia a compresión de 110.77 kg/cm² y un peso de 4886.91 gramos para los ladrillos con adición de 2% de polipropileno, los ladrillos con adición de 4% de polipropileno alcanzaron una resistencia a compresión de 105.47 kg/cm² y un peso de 4858.24 gramos y los ladrillos con adición de 6% de polipropileno lograron una resistencia a compresión de 103.69 kg/cm² y un peso de 4710.38 gramos.
- La resistencia característica a compresión obtenida del ladrillo patrón (P) fue de 102.17 kg/cm² y de los ladrillos con adición de plástico de polipropileno de 110.77 kg/cm², 105.47 kg/cm², 103.69 kg/cm² para 2%, 4% y 6% respectivamente, siendo los ladrillos con adición de plástico de polipropileno más resistentes que los ladrillos patrón en 8.42%, 3.23% y 1.49% respectivamente para 2%, 4% y 6%.
- La resistencia característica a compresión axial de las pilas elaboradas con los ladrillos patrón (P) fue de 56.73 kg/cm² y de las pilas elaboradas con los ladrillos con adición de plástico de polipropileno fue de 62.31 kg/cm² para el 2%, 64.63 kg/cm² para el 4% y 60.55 kg/cm² para 6%, las pilas elaboradas con los ladrillos con adición de plástico de polipropileno tuvieron una resistencia a compresión axial mayor a las pilas elaboradas con los ladrillos patrón en 6.10%, 10.05% y 3.10% respectivamente para 2%, 4% y 6%.
- La resistencia característica al corte de los muretes elaborados con los ladrillos patrón (P) fue de 9.82 kg/cm² y de los muretes elaborados con los ladrillos con adición de plástico de polipropileno, el 2% alcanzó una resistencia de 10.34 kg/cm², el 4% resistió 10.22 kg/cm² y el 6% resistió 10.09 kg/cm², los muretes elaborados con los ladrillos con adición de plástico de polipropileno lograron una resistencia a compresión diagonal superior a los muretes elaborados con los ladrillos patrón en 5.30%, 4.07% y 2.75% respectivamente para 2%, 4% y 6%.

5.2 RECOMENDACIONES

- Investigar los ladrillos de concreto vibrado con adición de polipropileno de 1%, 3%, 5%, 7% y 9%.
- Realizar investigación para elaborar ladrillos de concreto vibrado con diferentes relaciones de agua – cemento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Jaramillo, A. B., & Posada Franco, J. E. (2019). *Polietileno tereftalato como remplazo parcial del agregado fino en mezcla de concreto*. Universidad Eafit, Medellín, Colombia.
- Arrieta Freyre, J., & Peñaherrera Deza, E. (2001). *Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibratoria*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Castro Atao, M., & Sovero Ancheyta, S. K. (2018). *Resistencia a la compresión axial simple de bloques huecos de concreto elaborados con fibras de polipropileno*. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Comité Técnico de Normalización. (2015). Norma Técnica Peruana. *NTP 399.604:2002 (revisada el 2015) UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. INACAL, Lima, Perú.
- Comité Técnico de Normalización. (2015). Norma Técnica Peruana. *NTP 399.621:2004 (revisada el 2015) UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería*. INACAL, Lima, Perú.
- Comité Técnico de Normalización. (2018). Norma Técnica Peruana. *NTP 399.605:2018 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería*. INACAL, Lima, Perú.
- Comité Técnico de Normalización. (2018). Norma Técnica Peruana. *NTP 399.185:2013 (revisada el 2018) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. INACAL, Lima, Perú.
- Comité Técnico de Normalización. (2018). Norma Técnica Peruana. *NTP 400.021:2013 (revisada el 2018) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*. INACAL, Lima, Perú.
- Comité Técnico de Normalización. (2018). Norma Técnica Peruana. *NTP 400.012:2013 (revisada el 2018) AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. INACAL, Lima, Perú.
- Comité Técnico de Normalización. (2018). Norma Técnica Peruana. *NTP 400.037:2018 AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos*. INACAL, Lima, Perú.
- Echeverría Garro, E. R. (2017). *Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- envaselia. (2018). *Tipos de plástico*. Obtenido de envaselia:
<https://www.envaselia.com/blog/tipos-de-plastico-id7.htm>
- Freinkel, S. (2012). *Plástico: Un idilio tóxico*. Barcelona, España: Tusquets Editores S.A.
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería estructural*. Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- INEI. (2018). *Censos Nacionales 2017*. Lima, Perú.

- Infante Alcalde, J., & Valderrama Ulloa, C. (2019). *Análisis técnico, económico y medioambiental de la fabricación de bloques de hormigón con polietileno Tereftalato reciclado (PET)*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Intor Vásquez, C. E. (2015). *Resistencia a la compresión del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con fibras de polipropileno*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- López Serrano Ramos, F., & Mendizábal Mijares, E. (2015). *Introducción a la ciencia de los polímeros*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.
- Márquez Herrera, P. E. (2019). *Estudio del comportamiento del concreto con adición de plástico reciclado en la Ciudad de Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). Reglamento Nacional de Edificaciones. *Norma E.070 Albañilería*. Lima, Perú.
- Piñeros Moreno, M. E., & Herrera Muriel, D. J. (2018). *Proyecto de factibilidad económica de bloques con agregado de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Quinto Robles, N. Z. (2019). *Evaluación de las propiedades físicas mecánicas del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, adicionando plástico "PET" reciclado en el Distrito de Yanacancha, Provincia y Región de Pasco – 2019*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Cerro de Pasco, Perú.
- Quiñones, L. (05 de Junio de 2018). *O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta*. Obtenido de Naciones Unidas:
<https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111#:~:text=Am%C3%A9rica%2C%20Jap%C3%B3n%20y%20la%20Uni%C3%B3n,el%20mundo%20ha%20sido%20reciclado>.
- Ramos Gonzales, I. D., & Sáenz Acosta, H. R. (2021). *Plástico PEAD reciclado molido como agregado fino para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$* . Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Rubiano Fernández, J. L., Pérez Silva, M. A., Barrera Valero, O. A., Orozco, W., Quesada, F., Diaz, M. Á., & Gaviria, L. A. (2011). *Manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades*. Universidad Antonio Nariño, Colombia.
- San Bartolomé Ramos, Á., Quiun Wong, D., & Silva, W. (2018). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería*. Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Universidad de Barcelona. (s.f.). *Materials*. Obtenido de Universidad de Barcelona:
<http://www.ub.edu/cmematerials/es>
- Vasquez Rivasplata, A. M. (2021). *Efecto de las adiciones de plástico reciclado en diferentes porcentajes, en las propiedades mecánicas del concreto, acorde a los resultados obtenidos en anteriores investigaciones, Cajamarca 2021*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

ANEXOS

Anexo A: Constancia de laboratorio



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



EL JEFE DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA:

CONSTANCIA

Consta por el presente que el **Bach. MARÍN VIGO, JOHANNES**, Exalumno de la Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca ha realizado en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales "Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz" las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo resistencia a compresión en unidades de albañilería.
02	Ensayos resistencia a compresión en pilas de albañilería.
03	Ensayo compresión diagonal en muretes.
04	Ensayos de absorción, succión, alabeo y variación dimensional en unidades de albañilería.

Para la Tesis Titulada: "PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO ADICIONANDO PLÁSTICO POLIPROPILENO (PP) RECICLADO EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA". Dichas actividades se desarrollaron entre el 03/01/2023 al 29/05/2023.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 05 de junio de 2023.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Mauro Cepeda Vargas
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

c.c. a:
_Archivo

Anexo B: Ensayos de las propiedades físico mecánicas del agregado fino

- **Contenido de humedad del agregado fino, NTP 399.185:2013 (revisada el 2018).**

Tabla 18

Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso de la tara	g	55	56	55
Peso de la muestra humedad más la tara	g	555	556	555
Peso de la muestra seca más la tara	g	545	546	544
Peso del agua	g	10	10	11
Peso de la muestra seca	g	490	490	489
Contenido de humedad	%	2.04	2.04	2.25
PROMEDIO	%	2.110		

- **Granulometría del agregado fino, NTP 400.012:2013 (revisada el 2018).**

Tabla 19

Granulometría del agregado fino, ensayo N° 1.

N°	Malla	PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
	abertura (mm)				
N° 4	4.750	0	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	54	18.00	18.00	82.00
N° 16	1.180	50	16.67	34.67	65.33
N° 30	0.600	29	9.67	44.33	55.67
N° 50	0.300	40	13.33	57.67	42.33
N° 100	0.150	65	21.67	79.33	20.67
N° 200	0.075	37	12.33	91.67	8.33
Cazoleta		25	8.33	100.00	0.00
Total		300	100.00		
Módulo de Fineza					2.340

Figura 1

Curva granulométrica del agregado fino, ensayo N° 1.

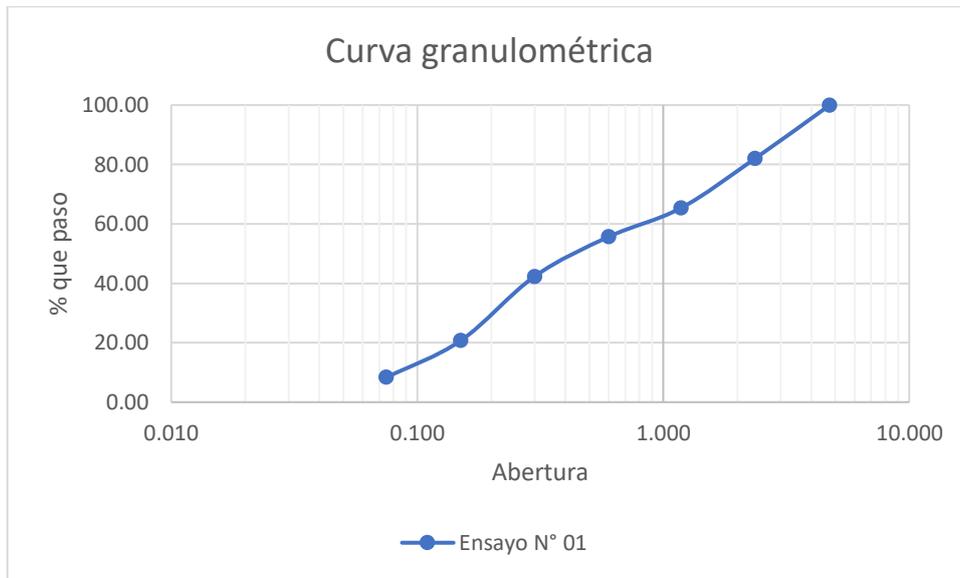


Tabla 20

Granulometría del agregado fino, ensayo N° 2.

Malla		PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
N°	abertura (mm)				
N° 4	4.750	0	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	53	17.67	17.67	82.33
N° 16	1.180	49	16.33	34.00	66.00
N° 30	0.600	31	10.33	44.33	55.67
N° 50	0.300	39	13.00	57.33	42.67
N° 100	0.150	65	21.67	79.00	21.00
N° 200	0.075	37	12.33	91.33	8.67
Cazoleta		26	8.67	100.00	0.00
Total		300	100.00		
Módulo de Fineza					2.323

Figura 2

Curva granulométrica del agregado fino, ensayo N° 2.

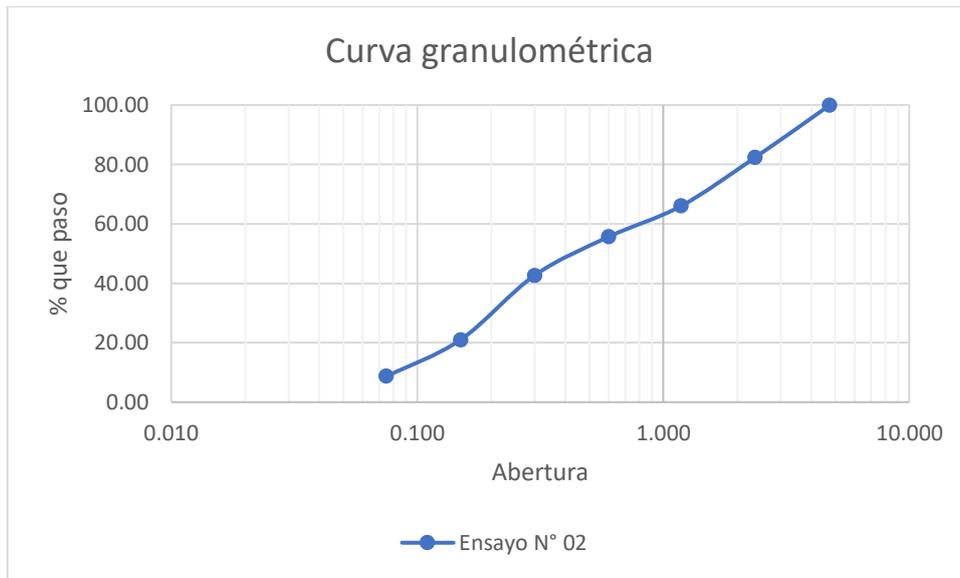


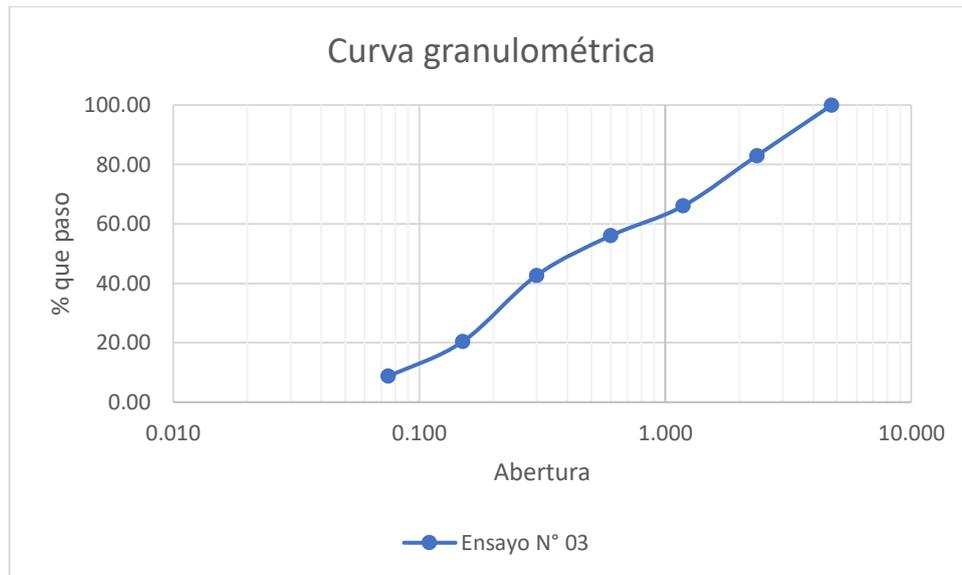
Tabla 21

Granulometría del agregado fino, ensayo N° 3.

Malla		PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
N°	abertura (mm)				
N° 4	4.750	0	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	51	17.00	17.00	83.00
N° 16	1.180	51	17.00	34.00	66.00
N° 30	0.600	30	10.00	44.00	56.00
N° 50	0.300	40	13.33	57.33	42.67
N° 100	0.150	67	22.33	79.67	20.33
N° 200	0.075	35	11.67	91.33	8.67
Cazoleta		26	8.67	100.00	0.00
Total		300	100.00		
<u>Módulo de Fineza</u>					<u>2.320</u>

Figura 3

Curva granulométrica del agregado fino, ensayo N° 3.



- **Peso unitario del agregado fino, NTP 400.017:2011.**

Tabla 22

Peso específico del agua.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso de la fiola	g	176	176	176
Peso de la fiola más agua	g	674	674	674
Peso del agua	g	498	498	498
Volumen del agua	cm ³	500	500	500
Peso específico del agua	g/cm ³	0.996	0.996	0.996
PROMEDIO	g/cm ³		0.996	

Tabla 23*Calculo para la determinación del volumen del recipiente.*

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente más vidrio	g	4406	4406	4406
Peso del recipiente más agua más vidrio	g	7420	7416	7417
Peso del agua	g	3014	3010	3011
Peso específico del agua	g/cm ³	0.996	0.996	0.996
Volumen del recipiente	cm ³	3026.10	3022.09	3023.09
PROMEDIO	cm ³		3023.76	

Tabla 24*Peso unitario seco compactado del agregado fino.*

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	3876	3876	3876
Peso del recipiente más agregado	g	9437	9428	9436
Peso del agregado	g	5561	5552	5560
Volumen del recipiente	cm ³	3023.76	3023.76	3023.76
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	1.83910	1.83612	1.83877
PROMEDIO	g/cm ³		1.83800	

Tabla 25*Peso unitario suelto seco del agregado fino.*

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	3876	3876	3876
Peso del recipiente más agregado	g	8278	8301	8331
Peso del agregado	g	4402	4425	4455
Volumen del recipiente	cm ³	3023.76	3023.76	3023.76
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	1.45580	1.46341	1.47333
PROMEDIO	g/cm ³		1.46418	

- **Peso específico y absorción del agregado fino, NTP 400.022:2013.**

Tabla 26

Peso específico y absorción del agregado fino.

Descripción	Unidad	Ensayo			Promedio
		N° 1	N° 2	N° 3	
Peso de la muestra secada al horno	g	490	491	491	-
Peso de la fiola más agua	g	674	674	674	-
Peso de la fiola más material más agua	g	979	980	979	-
Volumen de la fiola	cm ³	500	500	500	-
Peso de la muestra saturada con superficie seca	g	500	500	500	-
Peso específico (OD)	g/cm ³	2.513	2.531	2.518	2.521
Peso específico (SSD)	g/cm ³	2.564	2.577	2.564	2.569
Peso específico aparente	g/cm ³	2.649	2.654	2.640	2.647
Absorción	%	2.041	1.833	1.833	1.902

Anexo C: Ensayo de las propiedades físico mecánicas de la gravilla

- **Contenido de humedad de la gravilla. NTP 399.185:2013 (revisada el 2018).**

Tabla 27

Contenido de humedad de la gravilla.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso de la tara	g	52	54	55
Peso de la muestra humedad más la tara	g	552	554	555
Peso de la muestra seca más la tara	g	543	544	546
Peso del agua	g	9	10	9
Peso de la muestra seca	g	491	490	491
Contenido de humedad	%	1.83	2.04	1.83
PROMEDIO	%	1.902		

- **Granulometría de la gravilla. NTP 400.012:2013 (revisada el 2018).**

Tabla 28

Granulometría de la gravilla, ensayo N° 1.

N°	Malla	PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
	abertura (mm)				
3/4"	19.000	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	54	2.70	2.70	97.30
3/8"	9.500	133	6.65	9.35	90.65
N° 4	4.750	1813	90.65	100.00	0.00
Cazoleta			0.00	100.00	0.00
Total		2000	100.00		
Módulo de Fineza					6.094

Figura 4

Curva granulométrica de la gravilla, ensayo N° 1.

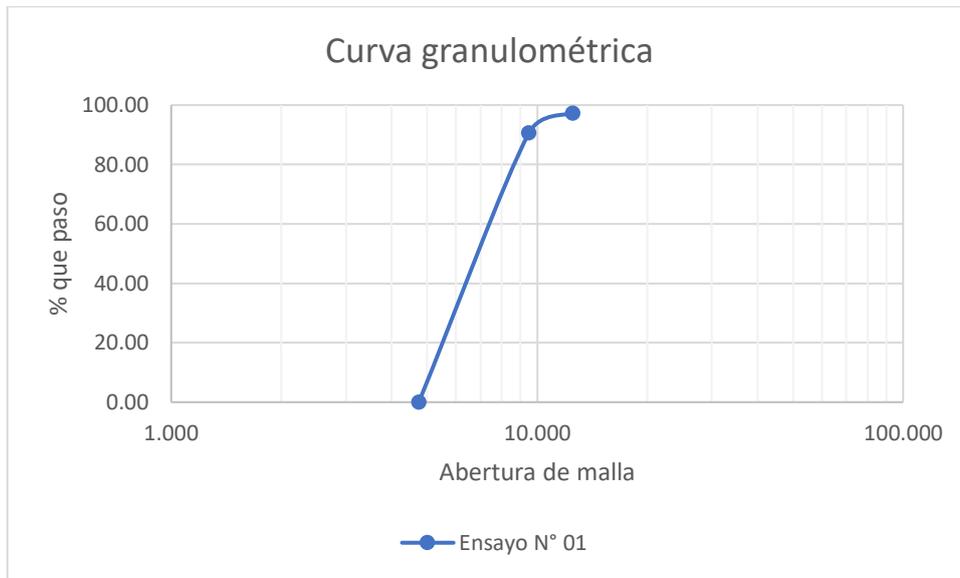


Tabla 29

Granulometría de la gravilla, ensayo N° 2.

Malla		PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
N°	abertura (mm)				
3/4"	19.000	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	48	2.40	2.40	97.60
3/8"	9.500	132	6.60	9.00	91.00
N° 4	4.750	1820	91.00	100.00	0.00
Cazoleta			0.00	100.00	0.00
Total		2000	100.00		
Módulo de Fineza					6.090

Figura 5

Curva granulométrica de la gravilla, ensayo N° 2.

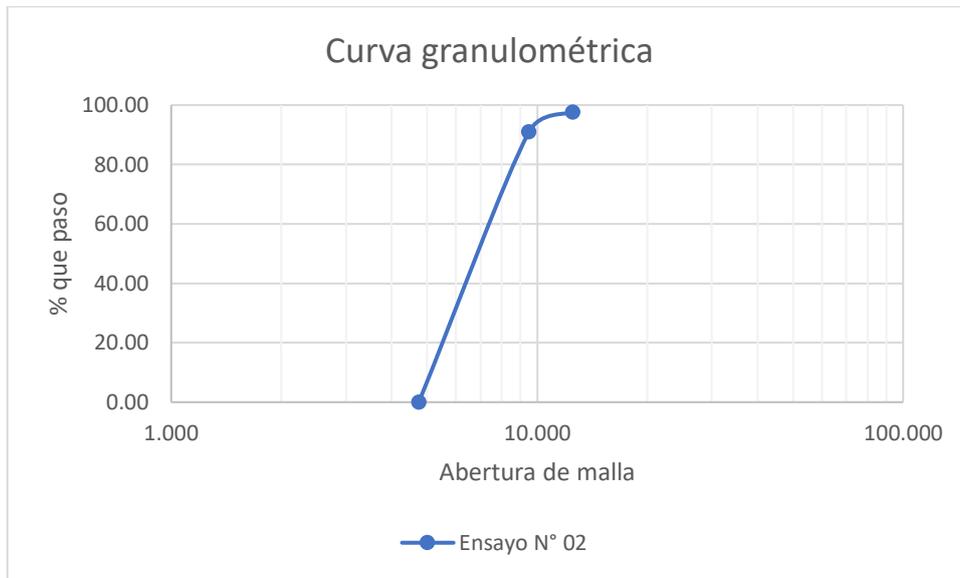


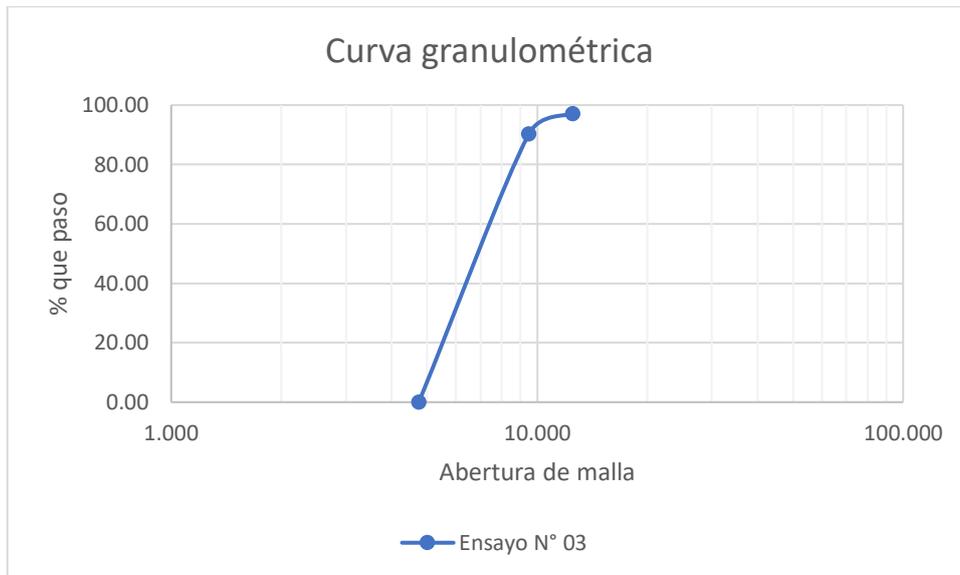
Tabla 30

Granulometría de la gravilla, ensayo N° 3.

Malla		PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
N°	abertura (mm)				
3/4"	19.000	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	58	2.90	2.90	97.10
3/8"	9.500	135	6.75	9.65	90.35
N° 4	4.750	1807	90.35	100.00	0.00
Cazoleta			0.00	100.00	0.00
Total		2000	100.00		
Módulo de Fineza					6.097

Figura 6

Curva granulométrica de la gravilla, ensayo N° 3.



- **Peso unitario de la gravilla, NTP 400.017:2011.**

Tabla 31

Peso unitario seco compactado de la gravilla.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	3876	3876	3876
Peso del recipiente más agregado	g	9233	9210	9268
Peso del agregado	g	5357	5334	5392
Volumen del recipiente	cm ³	3023.76	3023.76	3023.76
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	1.77163	1.76403	1.78321
PROMEDIO	g/cm ³		1.77296	

Tabla 32*Peso unitario suelto seco de la gravilla.*

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	3876	3876	3876
Peso del recipiente más agregado	g	8582	8631	8617
Peso del agregado	g	4706	4755	4741
Volumen del recipiente	cm ³	3023.76	3023.76	3023.76
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	1.55634	1.57254	1.56791
PROMEDIO	g/cm ³		1.56560	

- **Peso específico y absorción de la gravilla, NTP 400.021:2013 (revisada el 2018).**

Tabla 33*Peso específico y absorción de la gravilla.*

Descripción	Unidad	Ensayo			Promedio
		N° 1	N° 2	N° 3	
Peso de la muestra secada al horno	g	1965	1963	1966	-
Peso de la muestra saturada con superficie seca en aire	g	2000	2000	2000	-
Peso de la muestra saturada en agua	g	1044	1056	1037	-
Peso específico (OD)	g/cm ³	2.055	2.079	2.042	2.059
Peso específico (SSD)	g/cm ³	2.092	2.119	2.077	2.096
Peso específico aparente	g/cm ³	2.134	2.164	2.116	2.138
Absorción	%	1.781	1.885	1.729	1.798

Anexo D: Ensayo de las propiedades físico mecánicas de arena gruesa

- **Contenido de humedad de la arena gruesa, NTP 399.185:2013 (revisada el 2018).**

Tabla 34

Contenido de humedad de la arena gruesa.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso de la tara	g	52	54	55
Peso de la muestra humedad más la tara	g	552	554	555
Peso de la muestra seca más la tara	g	538	539	541
Peso del agua	g	14	15	14
Peso de la muestra seca	g	486	485	486
Contenido de humedad	%	2.88	3.09	2.88
PROMEDIO	%	2.95		

- **Granulometría de la arena gruesa. NTP 400.012:2013 (revisada el 2018).**

Tabla 35

Granulometría de la arena gruesa, ensayo N° 1.

N°	Malla	PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
	abertura (mm)				
N° 4	4.750	0	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	47	15.67	15.67	84.33
N° 16	1.180	29	9.67	25.33	74.67
N° 30	0.600	19	6.33	31.67	68.33
N° 50	0.300	55	18.33	50.00	50.00
N° 100	0.150	78	26.00	76.00	24.00
N° 200	0.075	40	13.33	89.33	10.67
Cazoleta		32	10.67	100.00	0.00
Total		300	100.00		
Módulo de Fineza					1.987

Figura 7

Curva granulométrica de la arena gruesa, ensayo N° 1.

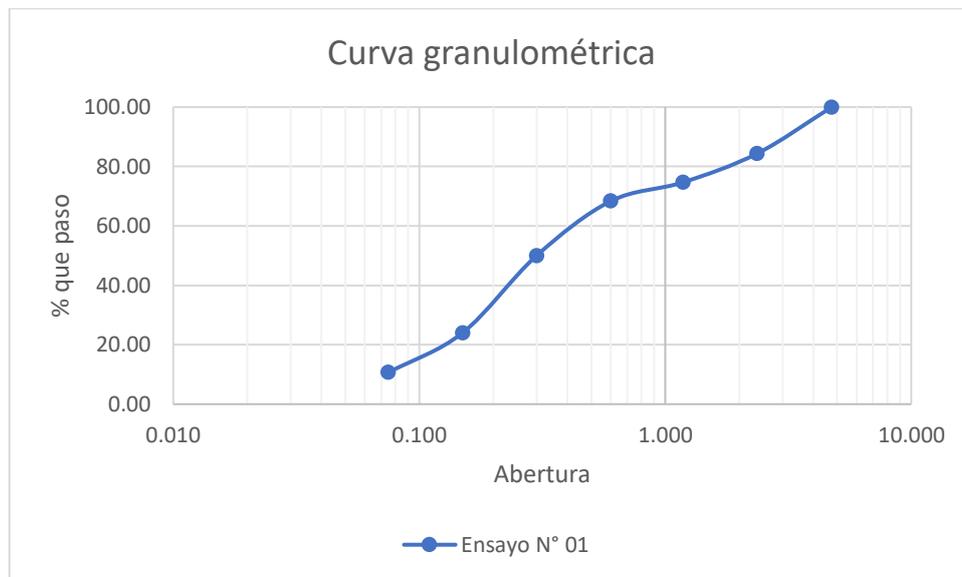


Tabla 36

Granulometría de la arena gruesa, ensayo N° 2.

Malla		PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
N°	abertura (mm)				
N° 4	4.750	0	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	46	15.33	15.33	84.67
N° 16	1.180	29	9.67	25.00	75.00
N° 30	0.600	20	6.67	31.67	68.33
N° 50	0.300	58	19.33	51.00	49.00
N° 100	0.150	75	25.00	76.00	24.00
N° 200	0.075	43	14.33	90.33	9.67
Cazoleta		29	9.67	100.00	0.00
Total		300	100.00		
Módulo de Fineza					1.990

Figura 8

Curva granulométrica de la arena gruesa, ensayo N° 2.

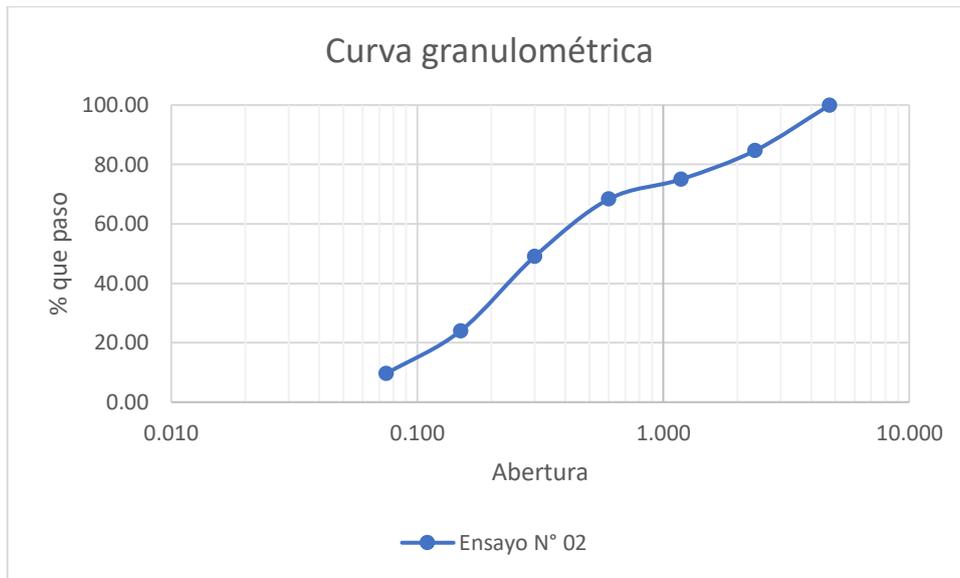


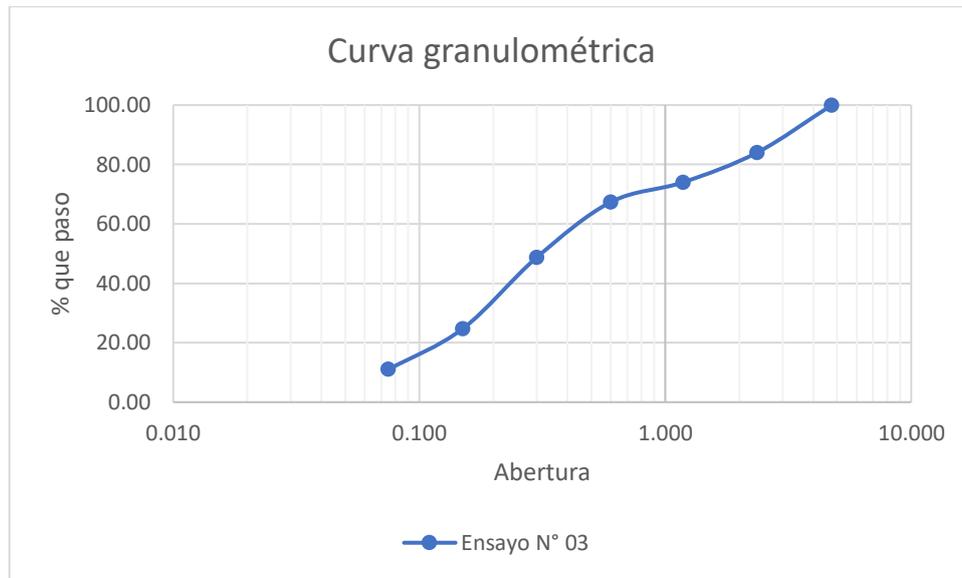
Tabla 37

Granulometría de la arena gruesa, ensayo N° 3.

Malla		PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
N°	abertura (mm)				
N° 4	4.750	0	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	48	16.00	16.00	84.00
N° 16	1.180	30	10.00	26.00	74.00
N° 30	0.600	20	6.67	32.67	67.33
N° 50	0.300	56	18.67	51.33	48.67
N° 100	0.150	72	24.00	75.33	24.67
N° 200	0.075	41	13.67	89.00	11.00
Cazoleta		33	11.00	100.00	0.00
Total		300	100.00		
Módulo de Fineza					2.013

Figura 9

Curva granulométrica de la arena gruesa, ensayo N° 3.



- **Peso unitario de la arena gruesa, NTP 400.017:2011.**

Tabla 38

Peso unitario seco compactado de la arena gruesa.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	3876	3876	3876
Peso del recipiente más agregado	g	9600	9622	9647
Peso del agregado	g	5724	5746	5771
Volumen del recipiente	cm ³	3023.76	3023.76	3023.76
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	1.89301	1.90028	1.90855
PROMEDIO	g/cm ³		1.90061	

Tabla 39*Peso unitario suelto seco de la arena gruesa.*

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	3876	3876	3876
Peso del recipiente más agregado	g	9076	9094	9081
Peso del agregado	g	5200	5218	5205
Volumen del recipiente	cm ³	3023.76	3023.76	3023.76
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	1.71971	1.72567	1.72137
PROMEDIO	g/cm ³		1.72225	

- **Peso específico y absorción de la arena gruesa, NTP 400.022:2013.****Tabla 40***Peso específico y absorción de la arena gruesa.*

Descripción	Unidad	Ensayo			Promedio
		N° 1	N° 2	N° 3	
Peso de la muestra secada al horno	g	498	498	497	-
Peso de la fiola más agua	g	674	674	674	-
Peso de la fiola más material más agua	g	985	984	984	-
Volumen de la fiola	cm ³	500	500	500	-
Peso de la muestra saturada con superficie seca	g	500	500	500	-
Peso específico (OD)	g/cm ³	2.635	2.621	2.616	2.624
Peso específico (SSD)	g/cm ³	2.646	2.632	2.632	2.636
Peso específico aparente	g/cm ³	2.663	2.649	2.658	2.657
Absorción	%	0.402	0.402	0.604	0.469

Anexo E: Ensayo de las propiedades físico mecánicas del polipropileno.

- **Granulometría del plástico de polipropileno, NTP 400.012:2013 (revisada el 2018).**

Tabla 41

Granulometría del plástico de polipropileno, ensayo N° 1.

Malla		PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
N°	apertura (mm)				
3/4"	19.000	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	14	0.70	0.70	99.30
3/8"	9.500	164	8.20	8.90	91.10
N° 4	4.750	1292	64.60	73.50	26.50
N° 8	2.360	487	24.35	97.85	2.15
N° 16	1.180	40	2.00	99.85	0.15
N° 30	0.600	1.4	0.07	99.92	0.08
N° 50	0.300	0.3	0.02	99.94	0.06
N° 100	0.150	0.6	0.03	99.97	0.03
N° 200	0.075	0.6	0.03	100.00	0.00
Cazoleta		0.1	0.01	100.00	0.00
Total		2000	100.00		
				Módulo de Fineza	5.799

Figura 10

Curva granulométrica del plástico de polipropileno, ensayo N° 1.

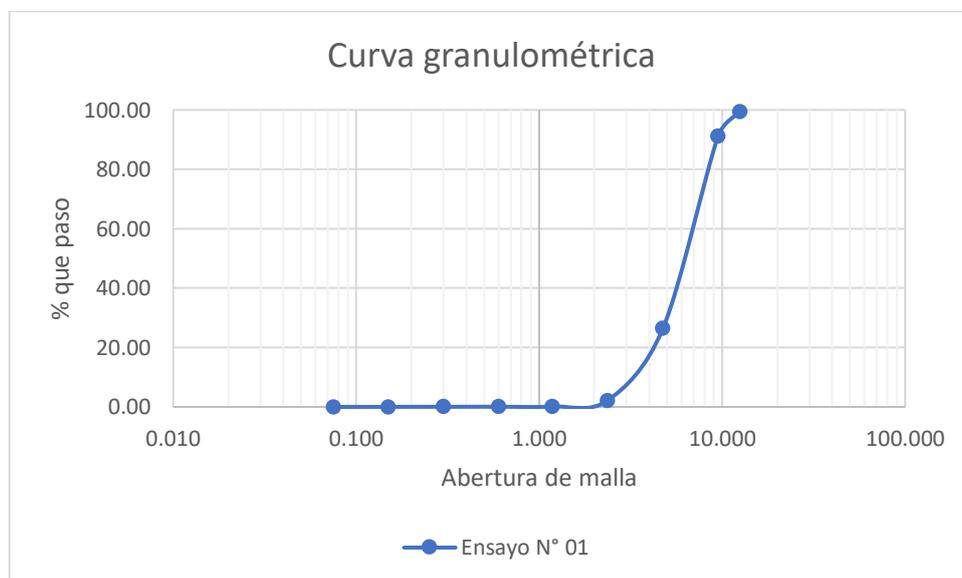


Tabla 42*Granulometría del plástico de polipropileno, ensayo N° 2.*

Malla		PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
N°	abertura (mm)				
3/4"	19.000	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	21	1.05	1.05	98.95
3/8"	9.500	180	9.00	10.05	89.95
N° 4	4.750	1268	63.40	73.45	26.55
N° 8	2.360	485	24.25	97.70	2.30
N° 16	1.180	41	2.05	99.75	0.25
N° 30	0.600	2.8	0.14	99.89	0.11
N° 50	0.300	0.5	0.03	99.92	0.08
N° 100	0.150	0.5	0.03	99.94	0.06
N° 200	0.075	0.7	0.04	99.98	0.02
Cazoleta		0.5	0.03	100.00	0.00
Total		2000	100.00		
				Módulo de Fineza	5.807

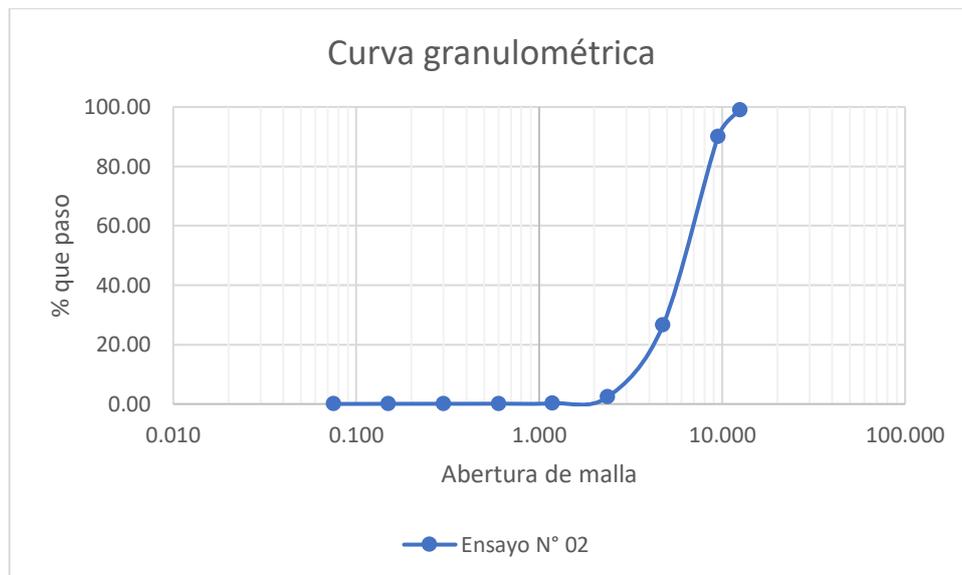
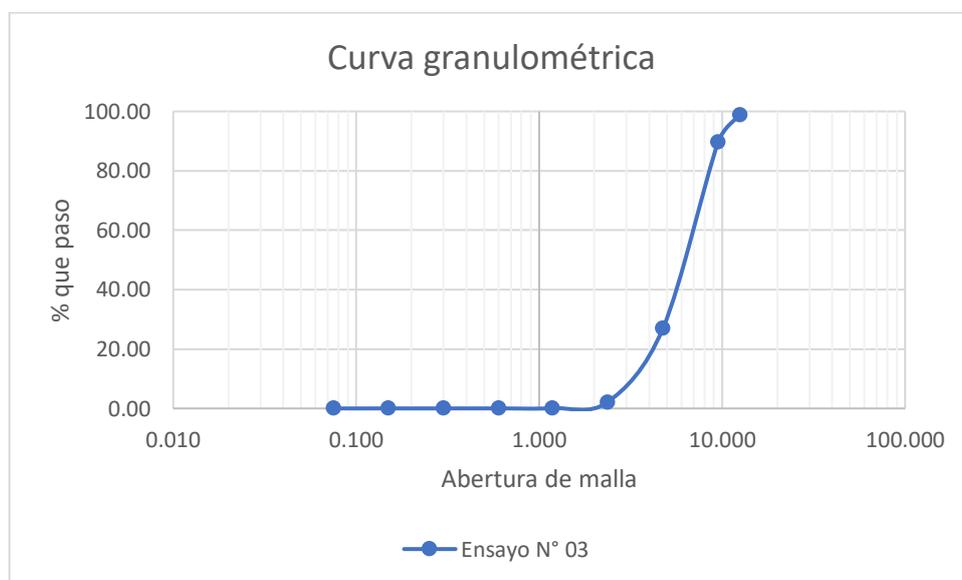
Figura 11*Curva granulométrica del plástico de polipropileno, ensayo N° 2.*

Tabla 43*Granulometría del plástico de polipropileno, ensayo N° 3.*

Malla		PRP (g)	%RP	%RA	% que paso
N°	abertura (mm)				
3/4"	19.000	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	24	1.20	1.20	98.80
3/8"	9.500	185	9.25	10.45	89.55
N° 4	4.750	1251	62.55	73.00	27.00
N° 8	2.360	498	24.90	97.90	2.10
N° 16	1.180	40	2.00	99.90	0.10
N° 30	0.600	1.6	0.08	99.98	0.02
N° 50	0.300	0.2	0.01	99.99	0.01
N° 100	0.150	0.1	0.01	100.00	0.00
N° 200	0.075	0.1	0.01	100.00	0.00
Cazoleta		0	0.00	100.00	0.00
Total		2000	100.00		
Módulo de Fineza					5.812

Figura 12*Curva granulométrica del plástico de polipropileno, ensayo N° 3.*

- **Peso unitario del plástico de polipropileno, NTP 400.017:2011.**

Tabla 44

Peso unitario seco compactado del plástico de polipropileno.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	3876	3876	3876
Peso del recipiente más agregado	g	5007	5010	5013
Peso del agregado	g	1131	1134	1137
Volumen del recipiente	cm ³	3023.76	3023.76	3023.76
Peso unitario seco compactado	g/cm ³	0.37404	0.37503	0.37602
PROMEDIO	g/cm ³		0.37503	

Tabla 45

Peso unitario suelto seco del plástico de polipropileno.

Descripción	Unidad	Ensayo		
		N° 1	N° 2	N° 3
Peso del recipiente	g	3876	3876	3876
Peso del recipiente más agregado	g	4797	4819	4802
Peso del agregado	g	921	943	926
Volumen del recipiente	cm ³	3023.76	3023.76	3023.76
Peso unitario suelto seco	g/cm ³	0.30459	0.31186	0.30624
PROMEDIO	g/cm ³		0.30756	

- **Peso específico y absorción del plástico de polipropileno, NTP 400.022:2013.**

Tabla 46

Peso específico y absorción del plástico de polipropileno.

Descripción	Unidad	Ensayo			Promedio
		N° 1	N° 2	N° 3	
Peso de la muestra secada al horno	g	99.5	99.2	99.3	-
Peso de la fiola más agua	g	674	674	674	-
Peso de la fiola más material más agua	g	664	664	662	-
Volumen de la fiola	cm ³	500	500	500	-
Peso de la muestra saturada con superficie seca	g	100	100	100	-
Peso específico (OD)	g/cm ³	0.905	0.902	0.887	0.898
Peso específico (SSD)	g/cm ³	0.909	0.909	0.893	0.904
Peso específico aparente	g/cm ³	0.909	0.908	0.892	0.903
Absorción	%	0.503	0.806	0.705	0.671

Anexo F: Diseño de mezcla de ladrillos de concreto vibrado

Tabla 47

Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado patrón.

LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO PATRÓN				
DOSIFICACIÓN:		1:9:6.5		
Características	Arena	Gravilla	Cemento	Agua
Contenido de humedad (%)	2.110	1.902	-	-
Módulo de fineza	2.328	6.093	-	-
Peso unitario seco compactado (g/cm ³)	1.83800	1.77296	-	-
Peso unitario suelto seco (g/cm ³)	1.46418	1.56560	-	-
Peso específico (OD) (g/cm ³)	2.521	2.059	3.11	0.996
Peso específico (SSD) (g/cm ³)	2.569	2.096	-	-
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.647	2.138	-	-
Absorción (%)	1.902	1.798	-	-
Tamaño máximo nominal	-	1/2"	-	-
Relación Agua/Cemento	0.75			
Cálculo de pesos secos:			Rendimiento de mezcla:	
	Pie ³	kg	kg	m ³
Cemento	1	42.50	42.50	0.013666
Arena	9	373.15	373.15	0.148015
Gavilla	6.5	288.16	288.16	0.139952
			Agua	31.88
			Volumen de la pasta	0.333635
Determinamos el volumen sin aire atrapado ni polipropileno:				
Aire Incorporado (%)	1			
V (1 m ³)	0.99			
Factor cemento (F.c.)	2.96731305			
Cálculo de la cantidad de materiales para 1 m ³ :				
Cemento (bolsa)=	2.97			
Arena (m ³) =	0.76			
Gravilla (m ³) =	0.55			
Agua (litros) =	94.58			
Cantidad de material requerido:				
	En volumen		En peso	
Cemento	1 bolsa		1 bolsa	
Arena	0.25484921 m ³		373.15 kg	
Gravilla	0.18405777 m ³		288.16 kg	
Agua	31.88 litros		31.75 kg	
Cantidad de material corregido por humedad:				
Cemento	1 bolsa			
Arena	381.02 kg			
Gravilla	293.64 kg			
Agua	30.67 Kg			

Tabla 48

Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con adición del 2% de polipropileno.

LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO CON 2% DE POLIPROPILENO					
DOSIFICACIÓN:		1:9:6.5 + 2% de polipropileno			
Características	Arena	Gravilla	PP	Cemento	Agua
Contenido de humedad (%)	2.110	1.902	0.000	-	-
Módulo de fineza	2.328	6.093	5.806	-	-
Peso unitario seco compactado (g/cm ³)	1.83800	1.77296	0.37503	-	-
Peso unitario suelto seco (g/cm ³)	1.46418	1.56560	0.30756	-	-
Peso específico (OD) (g/cm ³)	2.521	2.059	0.899	3.11	0.996
Peso específico (SSD) (g/cm ³)	2.569	2.096	0.904	-	-
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.647	2.138	0.903	-	-
Absorción (%)	1.902	1.798	0.671	-	-
Tamaño máximo nominal	-	1/2"	-	-	-
Relación Agua/Cemento	0.75				
Porcentaje de Polipropileno (%)	2				
Cálculo de pesos secos:			Rendimiento de mezcla:		
	Pie ³	kg		kg	m ³
Cemento	1	42.50	Cemento	42.50	0.013666
Arena	9	373.15	Arena	373.15	0.148015
Gavilla	6.5	288.16	Gravilla	288.16	0.139952
			Agua	31.88	0.032003
			Volumen de la pasta		0.333635
Determinamos el volumen sin aire atrapado ni polipropileno:					
Aire Incorporado (%)	1				
Polipropileno (%)	2				
V (1 m ³)	0.97				
Factor cemento (F.c.)	2.90736733				
Cálculo de la cantidad de materiales para 1 m ³ :					
Cemento (bolsa)=	2.91				
Arena (m ³) =	0.74				
Gravilla (m ³) =	0.54				
Agua (litros) =	92.67				
Polipropileno (m ³) =	0.06				
Cantidad de material requerido:					
	En volumen		En peso		
Cemento	1 bolsa		1 bolsa		
Arena	0.25484921	m ³	373.15	kg	
Gravilla	0.18405777	m ³	288.16	kg	
Agua	31.88	litros	31.75	kg	
Polipropileno	0.02010759	m ³	6.18	kg	
Cantidad de material corregido por humedad:					
Cemento	1 bolsa				
Arena	381.02	kg			
Gravilla	293.64	kg			
Agua	30.71	kg			
Polipropileno	6.18	kg			

Tabla 49*Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con adición del 4% de polipropileno.*

LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO CON 4% DE POLIPROPILENO					
DOSIFICACIÓN:		1:9:6.5 + 4% de polipropileno			
Características	Arena	Gravilla	PP	Cemento	Agua
Contenido de humedad (%)	2.110	1.902	0.000	-	-
Módulo de fineza	2.328	6.093	5.806	-	-
Peso unitario seco compactado (g/cm ³)	1.83800	1.77296	0.37503	-	-
Peso unitario suelto seco (g/cm ³)	1.46418	1.56560	0.30756	-	-
Peso específico (OD) (g/cm ³)	2.521	2.059	0.899	3.11	0.996
Peso específico (SSD) (g/cm ³)	2.569	2.096	0.904	-	-
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.647	2.138	0.903	-	-
Absorción (%)	1.902	1.798	0.671	-	-
Tamaño máximo nominal	-	1/2"	-	-	-
Relación Agua/Cemento	0.75				
Porcentaje de Polipropileno (%)	4				
Cálculo de pesos secos:			Rendimiento de mezcla:		
	Pie ³	kg		kg	m ³
Cemento	1	42.50	Cemento	42.50	0.013666
Arena	9	373.15	Arena	373.15	0.148015
Gavilla	6.5	288.16	Gravilla	288.16	0.139952
			Agua	31.88	0.032003
			Volumen de la pasta		0.333635
Determinamos el volumen sin aire atrapado ni polipropileno:					
Aire Incorporado (%)	1				
Polipropileno (%)	4				
V (1 m ³)	0.95				
Factor cemento (F.c.)	2.84742161				
Cálculo de la cantidad de materiales para 1 m ³ :					
Cemento (bolsa)=	2.85				
Arena (m ³) =	0.73				
Gravilla (m ³) =	0.52				
Agua (litros) =	90.76				
Polipropileno (m ³) =	0.12				
Cantidad de material requerido:					
	En volumen			En peso	
Cemento	1 bolsa			1 bolsa	
Arena	0.25484921	m ³		373.15	kg
Gravilla	0.18405777	m ³		288.16	kg
Agua	31.88	litros		31.75	kg
Polipropileno	0.04106181	m ³		12.63	kg
Cantidad de material corregido por humedad:					
Cemento	1 bolsa				
Arena	381.02	kg			
Gravilla	293.64	kg			
Agua	30.76	kg			
Polipropileno	12.63	kg			

Tabla 50*Diseño de mezcla del ladrillo de concreto vibrado con adición del 6% de polipropileno.*

LADRILLO DE CONCRETO VIBRADO CON 6% DE POLIPROPILENO					
DOSIFICACIÓN:		1:9:6.5 + 6% de polipropileno			
Características	Arena	Gravilla	PP	Cemento	Agua
Contenido de humedad (%)	2.110	1.902	0.000	-	-
Módulo de fineza	2.328	6.093	5.806	-	-
Peso unitario seco compactado (g/cm ³)	1.83800	1.77296	0.37503	-	-
Peso unitario suelto seco (g/cm ³)	1.46418	1.56560	0.30756	-	-
Peso específico (OD) (g/cm ³)	2.521	2.059	0.899	3.11	0.996
Peso específico (SSD) (g/cm ³)	2.569	2.096	0.904	-	-
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.647	2.138	0.903	-	-
Absorción (%)	1.902	1.798	0.671	-	-
Tamaño máximo nominal	-	1/2"	-	-	-
Relación Agua/Cemento	0.75				
Porcentaje de Polipropileno (%)	4				
Cálculo de pesos secos:			Rendimiento de mezcla:		
	Pie ³	kg		kg	m ³
Cemento	1	42.50	Cemento	42.50	0.013666
Arena	9	373.15	Arena	373.15	0.148015
Gavilla	6.5	288.16	Gravilla	288.16	0.139952
			Agua	31.88	0.032003
			Volumen de la pasta		0.333635
Determinamos el volumen sin aire atrapado ni polipropileno:					
Aire Incorporado (%)	1				
Polipropileno (%)	6				
V (1 m ³)	0.93				
Factor cemento (F.c.)	2.7874759				
Cálculo de la cantidad de materiales para 1 m ³ :					
Cemento (bolsa)=	2.79				
Arena (m ³) =	0.71				
Gravilla (m ³) =	0.51				
Agua (litros) =	88.85				
Polipropileno (m ³) =	0.18				
Cantidad de material requerido:					
	En volumen		En peso		
Cemento	1 bolsa		1 bolsa		
Arena	0.25484921	m ³	373.15	kg	
Gravilla	0.18405777	m ³	288.16	kg	
Agua	31.88	litros	31.75	kg	
Polipropileno	0.06291728	m ³	19.35	kg	
Cantidad de material corregido por humedad:					
Cemento	1 bolsa				
Arena	381.02	kg			
Gravilla	293.64	kg			
Agua	30.80	kg			
Polipropileno	19.35	kg			

Anexo G: Diseño de mezcla del mortero.

Tabla 51

Diseño de mezcla del mortero.

MORTERO PARA PILAS Y MURETES				
DOSIFICACIÓN:			1:5	
Características	Arena	Cemento	Agua	
Contenido de humedad (%)	2.95	-	-	
Módulo de fineza	1.997	-	-	
Peso unitario seco compactado (g/cm ³)	1.90061	-	-	
Peso unitario suelto seco (g/cm ³)	1.72225	-	-	
Peso específico (OD) (g/cm ³)	2.624	3.10	0.996	
Peso específico (SSD) (g/cm ³)	2.636	-	-	
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.657	-	-	
Absorción (%)	0.469	-	-	
Tamaño máximo nominal	-	-	-	
Relación Agua/Cemento	0.90			
Cálculo de pesos secos:			Rendimiento de mezcla:	
	Pie ³	kg	kg	m ³
Cemento	1	42.50	Cemento	42.50
Arena	5	243.84	Arena	243.84
			Agua	38.25
			Volumen de la pasta	0.145040
Determinamos el volumen sin aire atrapado ni polipropileno:				
Aire Incorporado (%)	1			
V (1 m ³)	0.99			
Factor cemento (F.c.)	6.82568287			
Cálculo de la cantidad de materiales para 1 m ³ :				
Cemento (bolsa)=	6.84			
Arena (m ³) =	0.97			
Agua (litros) =	261.08			
Cantidad de material requerido para 0.1434 m ³ :				
	En volumen		En peso	
Cemento	0.97871318	bolsas	41.59531	kg
Arena	0.13856905	m ³	238.65	kg
Agua	37.44	litros	37.29	kg
Cantidad de material corregido por humedad:				
Cemento	41.60	kg		
Arena	38.39	kg		
Agua	31.37	kg		

Anexo H: Resistencia a compresión de los cubos del mortero.

Tabla 52

Resistencia a compresión de los cubos del mortero.

Espécimen	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Ultima (KN)	Carga Ultima (kg)	Resistencia fc (kg/cm ²)
	Largo	Ancho	Altura				
ME1	51.38	50.69	51.25	26.04	28.35	2890.91	111.00
ME2	50.12	51.27	51.35	25.70	28.82	2938.83	114.37
ME3	50.70	50.12	49.48	25.41	27.99	2854.20	112.32
ME4	51.30	50.85	50.86	26.09	29.26	2983.70	114.38
ME5	49.55	50.59	50.62	25.07	29.83	3041.82	121.35
ME6	51.25	49.85	50.16	25.55	30.20	3079.55	120.54
Promedio de la resistencia a compresión de los cubos de mortero (fc)							114.68
Desviación estándar (σ)							3.99
Resistencia característica a compresión de los cubos de mortero (f'c)							110.69
Coeficiente de variación (%)							3.48

Anexo I: Propiedades del ladrillo de concreto vibrado.

- Variación Dimensional

Tabla 53

Variación Dimensional de los ladrillos de concreto vibrado patrón.

Espécimen	Tipo	Largo (cm)					Ancho (cm)					Alto (cm)				
		L1	L2	L3	L4	Promedio	A1	A2	A3	A4	Promedio	H1	H2	H3	H4	Promedio
1	P	23.20	23.00	22.80	23.00	23.00	12.10	12.10	12.00	12.20	12.10	9.50	9.20	9.20	9.30	9.30
2	P	23.00	23.20	23.00	23.50	23.18	12.00	11.90	11.90	12.20	12.00	9.30	9.20	9.40	9.20	9.28
3	P	23.00	23.30	22.90	23.10	23.08	11.90	12.20	12.00	12.00	12.03	9.40	9.40	9.50	9.40	9.43
4	P	23.00	23.10	22.90	23.10	23.03	11.90	12.20	11.90	12.10	12.03	9.40	9.30	9.40	9.30	9.35
5	P	22.70	23.00	22.90	23.00	22.90	12.30	12.10	11.90	12.20	12.13	9.20	9.10	9.30	9.00	9.15
		Largo promedio (L_p)				23.04	Ancho promedio (A_p)				12.06	Alto promedio (H_p)				9.30
		Desviación estándar (σ)				0.10	Desviación estándar (σ)				0.05	Desviación estándar (σ)				0.10
		Largo fabricación (L_f)				23.00	Ancho fabricación (A_f)				12.10	Alto fabricación (H_f)				9.30
		Var. dimensional (V%)				-0.17	Var. dimensional (V%)				0.35	Var. dimensional (V%)				-0.02

Tabla 54

Variación Dimensional de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Largo (cm)					Ancho (cm)					Alto (cm)				
		L1	L2	L3	L4	Promedio	A1	A2	A3	A4	Promedio	H1	H2	H3	H4	Promedio
1	2%	22.90	23.00	22.70	22.90	22.88	12.20	12.20	11.80	12.00	12.05	9.60	9.40	9.40	9.20	9.40
2	2%	23.00	23.10	22.80	23.10	23.00	12.10	12.10	12.00	12.20	12.10	9.20	9.20	8.90	9.00	9.08
3	2%	23.10	22.80	22.70	23.10	22.93	12.30	12.30	12.10	12.20	12.23	9.20	9.20	9.20	9.10	9.18
4	2%	23.00	23.00	22.60	23.00	22.90	12.10	12.20	11.80	12.10	12.05	9.20	9.00	9.10	9.30	9.15
5	2%	22.50	22.90	22.70	22.80	22.73	12.10	12.20	11.80	12.00	12.03	9.00	9.10	9.30	9.20	9.15
		Largo promedio (L_p)				22.89	Ancho promedio (A_p)				12.09	Alto promedio (H_p)				9.19
		Desviación estándar (σ)				9.34	Desviación estándar (σ)				4.94	Desviación estándar (σ)				3.75
		Largo fabricación (L_f)				23.00	Ancho fabricación (A_f)				12.10	Alto fabricación (H_f)				9.30
		Var. dimensional (V%)				0.49	Var. dimensional (V%)				0.07	Var. dimensional (V%)				1.16

Tabla 55

Variación Dimensional de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Largo (cm)					Ancho (cm)					Alto (cm)				
		L1	L2	L3	L4	Promedio	A1	A2	A3	A4	Promedio	H1	H2	H3	H4	Promedio
1	4%	22.80	23.00	22.90	22.90	22.90	12.10	12.10	12.00	12.10	12.08	9.30	9.10	9.30	9.30	9.25
2	4%	22.60	22.70	22.40	23.00	22.68	12.10	12.20	12.20	12.20	12.18	9.20	9.30	9.30	9.00	9.20
3	4%	23.00	22.90	22.70	23.00	22.90	12.20	12.20	12.00	12.10	12.13	9.70	9.60	9.50	9.30	9.53
4	4%	22.60	22.80	22.70	23.10	22.80	11.90	12.10	12.00	12.20	12.05	9.00	8.90	9.20	9.00	9.03
5	4%	22.60	22.90	22.50	22.80	22.70	12.20	12.20	12.10	12.20	12.18	9.50	9.30	9.50	9.40	9.43
		Largo promedio (L_p)				22.80	Ancho promedio (A_p)				12.12	Alto promedio (H_p)				9.29
		Desviación estándar (σ)				9.31	Desviación estándar (σ)				4.95	Desviación estándar (σ)				3.80
		Largo fabricación (L_f)				23.00	Ancho fabricación (A_f)				12.10	Alto fabricación (H_f)				9.30
		Var. dimensional (V%)				0.89	Var. dimensional (V%)				-0.20	Var. dimensional (V%)				0.13

Tabla 56

Variación Dimensional de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Largo (cm)					Ancho (cm)					Alto (cm)				
		L1	L2	L3	L4	Promedio	A1	A2	A3	A4	Promedio	H1	H2	H3	H4	Promedio
1	6%	23.00	22.90	22.80	22.80	22.88	11.90	12.10	12.00	12.10	12.03	9.20	9.10	9.10	9.20	9.15
2	6%	23.20	23.00	22.80	23.00	23.00	12.20	12.00	11.90	12.20	12.08	9.30	9.20	9.20	9.10	9.20
3	6%	22.80	22.80	22.70	22.80	22.78	12.20	12.10	12.00	12.10	12.10	9.40	9.20	9.20	9.40	9.30
4	6%	23.10	23.00	22.90	23.10	23.03	12.10	12.20	12.00	12.10	12.10	9.20	9.30	9.30	9.40	9.30
5	6%	23.20	23.00	22.60	22.90	22.93	12.00	12.00	11.90	12.00	11.98	9.30	9.40	9.40	9.40	9.38
		Largo promedio (L_p)				22.92	Ancho promedio (A_p)				12.06	Alto promedio (H_p)				9.27
		Desviación estándar (σ)				9.36	Desviación estándar (σ)				4.92	Desviación estándar (σ)				3.78
		Largo fabricación (L_f)				23.00	Ancho fabricación (A_f)				12.10	Alto fabricación (H_f)				9.30
		Var. dimensional (V%)				0.33	Var. dimensional (V%)				0.35	Var. dimensional (V%)				0.37

- **Alabeo**

Tabla 57

Alabeo de los ladrillos de concreto vibrado patrón.

Especímen	Tipo	Cara A		Cara B		Alabeo (mm)
		Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
1	P	1	0	0	1	1
2	P	0	0.5	0	0.5	0.5
3	P	0	1	0	1.5	1.5
4	P	0	1	0	1	1
5	P	1.5	0	0	1	1.5
Promedio del alabeo						1.10

Tabla 58

Alabeo de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.

Especímen	Tipo	Cara A		Cara B		Alabeo (mm)
		Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
1	2%	0	1	0	0.5	1
2	2%	0.5	0	0	0.5	0.5
3	2%	0	0.5	0	0.5	0.5
4	2%	0.5	0	0.5	0	0.5
5	2%	0	0.5	0	0	0.5
Promedio del alabeo						0.60

Tabla 59

Alabeo de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.

Especímen	Tipo	Cara A		Cara B		Alabeo (mm)
		Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
1	4%	0	1	0	1	1
2	4%	0	0	0	0.5	0.5
3	4%	0	1	0	0.5	1
4	4%	0.5	0	0	0.5	0.5
5	4%	0	0.5	0	0.5	0.5
Promedio del alabeo						0.70

Tabla 60

Alabeo de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Cara A		Cara B		Alabeo (mm)
		Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	
1	6%	0	0	0	0.5	0.5
2	6%	0.5	0	0	0.5	0.5
3	6%	0	0	0	0.5	0.5
4	6%	1.5	0	0	0.5	1.5
5	6%	0	1	0	0	1
Promedio del alabeo						0.80

- **Peso**

Tabla 61

Pesos de los cuatro tipos de ladrillos de concreto vibrado.

Espécimen	Peso (g)			
	P	2%	4%	6%
1	5093	4925	4844	4753
2	5026	4975	4901	4732
3	5087	5025	4901	4704
4	5044	5004	5002	4852
5	5021	4852	4931	4823
Promedio del peso	5054.20	4956.20	4915.80	4772.80
Desviación estándar (σ)	33.85	69.29	57.56	62.42
Peso (g)	5020.35	4886.91	4858.24	4710.38
Coeficiente de variación (%)	0.67	1.40	1.17	1.31

- **Resistencia a la compresión**

Tabla 62

Resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto vibrado patrón.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Ultima (kg)	Resistencia f _b	
		Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	(MPa)
1	P	23.00	12.10	9.30	278.30	29500	106.00	10.40
2	P	23.18	12.00	9.28	278.16	29000	104.26	10.22
3	P	23.08	12.03	9.43	277.65	30500	109.85	10.77
4	P	23.03	12.03	9.35	277.05	29500	106.48	10.44
5	P	22.90	12.13	9.15	277.78	28000	100.80	9.89
Promedio de la resistencia a compresión axial de las unidades de albañilería (f _b)							105.48	10.34
Desviación estándar (σ)							3.31	0.32
Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería (f' _b)							102.17	10.02
Coeficiente de variación (%)							3.14	3.14

Tabla 63

Resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Ultima (kg)	Resistencia f _b	
		Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	(MPa)
1	2%	22.88	12.05	9.40	275.70	31500	114.25	11.20
2	2%	23.00	12.10	9.08	278.30	32000	114.98	11.28
3	2%	22.93	12.23	9.18	280.43	30500	108.76	10.67
4	2%	22.90	12.05	9.15	275.95	31500	114.15	11.19
5	2%	22.73	12.03	9.15	273.44	32000	117.03	11.48
Promedio de la resistencia a compresión axial de las unidades de albañilería (f _b)							113.84	11.16
Desviación estándar (σ)							3.06	0.30
Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería (f' _b)							110.77	10.86
Coeficiente de variación (%)							2.69	2.69

Tabla 64

Resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Última (kg)	Resistencia f_b	
		Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	(MPa)
1	4%	22.90	12.08	9.25	276.63	30500	110.25	10.81
2	4%	22.68	12.18	9.20	276.24	31500	114.03	11.18
3	4%	22.90	12.13	9.53	277.78	30000	108.00	10.59
4	4%	22.80	12.05	9.03	274.74	29500	107.37	10.53
5	4%	22.70	12.18	9.43	276.49	29000	104.89	10.29
Promedio de la resistencia a compresión axial de las unidades de albañilería (f_b)							108.91	10.68
Desviación estándar (σ)							3.44	0.34
Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería (f'_b)							105.47	10.34
Coeficiente de variación (%)							3.16	3.16

Tabla 65

Resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área Bruta (cm ²)	Carga Última (kg)	Resistencia f_b	
		Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	(MPa)
1	6%	22.88	12.03	9.15	275.25	28500	103.54	10.15
2	6%	23.00	12.08	9.20	277.84	29000	104.38	10.24
3	6%	22.78	12.10	9.30	275.64	29500	107.02	10.50
4	6%	23.03	12.10	9.30	278.66	31000	111.25	10.91
5	6%	22.93	11.98	9.38	274.70	29500	107.39	10.53
Promedio de la resistencia a compresión axial de las unidades de albañilería (f_b)							106.72	10.47
Desviación estándar (σ)							3.02	0.30
Resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería (f'_b)							103.69	10.17
Coeficiente de variación (%)							2.83	2.83

- **Absorción**

Tabla 66

Absorción de los ladrillos de concreto vibrado patrón.

Espécimen	Tipo	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Absorción %
1	P	5093	5474	7.48
2	P	5026	5395	7.34
3	P	5087	5460	7.33
4	P	5021	5379	7.13
5	P	5044	5388	6.82
Promedio de absorción (P_{Abs})				7.22
Desviación estándar (σ)				0.26
Absorción (Abs)				6.96
Coeficiente de variación (%)				3.56

Tabla 67

Absorción de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Absorción %
1	2%	4925	5294	7.49
2	2%	4975	5325	7.04
3	2%	5025	5410	7.66
4	2%	5004	5353	6.97
5	2%	4852	5182	6.80
Promedio de absorción (P_{Abs})				7.19
Desviación estándar (σ)				0.37
Absorción (Abs)				6.83
Coeficiente de variación (%)				5.09

Tabla 68

Absorción de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Absorción %
1	4%	4844	5187	7.08
2	4%	4901	5264	7.41
3	4%	4901	5247	7.06
4	4%	5002	5360	7.16
5	4%	4931	5290	7.28
Promedio de absorción (P_{Abs})				7.20
Desviación estándar (σ)				0.15
Absorción (Abs)				7.05
Coeficiente de variación (%)				2.02

Tabla 69

Absorción de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Absorción %
1	6%	4753	5087	7.03
2	6%	4732	5086	7.48
3	6%	4704	5035	7.04
4	6%	4852	5202	7.21
5	6%	4823	5175	7.30
Promedio de absorción (P_{Abs})				7.21
Desviación estándar (σ)				0.19
Absorción (Abs)				7.02
Coeficiente de variación (%)				2.64

- **Succión**

Tabla 70

Succión de los ladrillos de concreto vibrado patrón.

Espécimen	Tipo	Peso seco (g)	Peso sumergido (g)	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Succión (g/200 cm ² - min)
				Largo	Ancho		
1	P	5093	5118	22.90	12.20	279.38	17.90
2	P	5026	5053	23.10	12.30	284.13	19.01
3	P	5087	5112	22.80	12.00	273.60	18.27
4	P	5021	5048	23.10	11.80	272.58	19.81
5	P	5044	5068	23.00	11.90	273.70	17.54
Promedio de la succión (P _s)							18.51
Desviación estándar (σ)							0.91
Succión (S)							17.59
Coeficiente de variación (%)							4.92

Tabla 71

Succión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Peso seco (g)	Peso sumergido (g)	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Succión (g/200 cm ² - min)
				Largo	Ancho		
1	2%	4925	4945	23.30	12.20	284.26	14.07
2	2%	4975	4992	23.20	12.10	280.72	12.11
3	2%	5025	5042	23.00	12.30	282.90	12.02
4	2%	5004	5025	23.30	12.10	281.93	14.90
5	2%	4852	4871	22.90	12.10	277.09	13.71
Promedio de la succión (P _s)							13.36
Desviación estándar (σ)							1.26
Succión (S)							12.10
Coeficiente de variación (%)							9.43

Tabla 72

Succión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Peso seco (g)	Peso sumergido (g)	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Succión (g/200 cm ² - min)
				Largo	Ancho		
1	4%	4844	4866	23.00	12.30	282.90	15.55
2	4%	4901	4924	23.10	12.30	284.13	16.19
3	4%	4901	4924	23.10	12.10	279.51	16.46
4	4%	5002	5024	23.10	12.20	281.82	15.61
5	4%	4931	4955	22.70	12.10	274.67	17.48
Promedio de la succión (P _s)							16.26
Desviación estándar (σ)							0.78
Succión (S)							15.48
Coeficiente de variación (%)							4.80

Tabla 73

Succión de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Peso seco (g)	Peso sumergido (g)	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Succión (g/200 cm ² - min)
				Largo	Ancho		
1	6%	4753	4774	23.00	12.10	278.30	15.09
2	6%	4732	4751	23.10	11.90	274.89	13.82
3	6%	4704	4722	22.70	12.20	276.94	13.00
4	6%	4852	4872	22.80	12.20	278.16	14.38
5	6%	4823	4843	22.90	12.00	274.80	14.56
Promedio de la succión (P _s)							14.17
Desviación estándar (σ)							0.80
Succión (S)							13.37
Coeficiente de variación (%)							5.62

Anexo J: Ensayo de compresión axial de pilas.

Tabla 74

Medidas de las pilas de ladrillos de concreto vibrado.

Especimen	Tipo	Largo (cm)					Ancho (cm)					Alto (cm)				
		L1	L2	L3	L4	Promedio	A1	A2	A3	A4	Promedio	H1	H2	H3	H4	Promedio
1	P	22.50	22.90	22.90	23.00	22.83	12.00	12.10	11.90	12.10	12.03	30.20	30.30	30.30	30.10	30.23
2	P	22.70	22.90	22.70	22.80	22.78	11.90	11.90	11.90	12.00	11.93	30.30	30.30	30.10	30.20	30.23
3	P	22.70	23.00	23.00	23.00	22.93	11.90	12.10	11.90	12.10	12.00	30.10	30.20	30.20	29.70	30.05
4	P	22.70	22.70	22.90	23.10	22.85	12.00	12.10	11.90	12.00	12.00	30.10	29.90	30.20	30.20	30.10
1	2%	23.00	23.00	23.00	22.90	22.98	12.10	12.00	11.90	12.10	12.03	29.90	29.80	29.70	29.90	29.83
2	2%	22.80	22.70	22.80	22.90	22.80	12.00	12.20	12.00	12.10	12.08	29.80	30.00	30.00	29.80	29.90
3	2%	23.10	23.10	23.00	23.00	23.05	12.20	12.10	11.90	12.10	12.08	29.60	29.50	29.60	29.70	29.60
4	2%	22.90	22.80	23.00	22.90	22.90	12.00	12.20	12.00	12.00	12.05	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40
1	4%	23.00	23.30	23.10	23.10	23.13	12.10	12.10	12.00	12.10	12.08	30.00	30.20	30.20	30.00	30.10
2	4%	23.00	22.80	23.10	23.10	23.00	12.00	12.10	12.10	12.00	12.05	30.10	30.20	30.30	30.10	30.18
3	4%	23.20	23.10	23.00	22.90	23.05	12.20	12.00	11.90	12.00	12.03	30.00	30.00	30.00	30.10	30.03
4	4%	23.00	22.20	23.20	23.50	22.98	12.00	12.50	12.20	12.10	12.20	30.20	30.00	30.00	30.00	30.05
1	6%	23.30	23.00	22.90	23.00	23.05	11.90	11.90	12.00	11.90	11.93	30.40	30.30	30.30	30.30	30.33
2	6%	23.20	22.90	23.00	23.10	23.05	12.00	11.90	12.10	12.00	12.00	30.50	30.20	30.30	30.40	30.35
3	6%	23.00	23.00	22.80	23.00	22.95	12.00	12.10	12.00	12.00	12.03	29.60	29.80	29.80	30.00	29.80
4	6%	23.00	22.90	23.00	22.90	22.95	12.00	12.10	12.00	11.90	12.00	30.30	30.00	30.00	30.30	30.15

- **Resistencia a compresión axial de las pilas.**

Tabla 75

Resistencia a compresión axial de las pilas patrón.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área bruta (cm ²)	Carga Ultima (kg)	Resistencia específica (fm) (kg/cm ²)	hp/tp	Fc	Resistencia en compresión (fmt)	
		Largo	Ancho	Alto						(kg/cm ²)	(MPa)
1	P	22.83	12.03	30.23	274.64	15000	54.62	2.51	1.041	56.84	5.57
2	P	22.78	11.93	30.23	271.77	18000	66.23	2.53	1.042	69.02	6.77
3	P	22.93	12.00	30.05	275.16	17000	61.78	2.50	1.040	64.27	6.30
4	P	22.85	12.00	30.10	274.20	15500	56.53	2.51	1.041	58.82	5.77
Promedio de la resistencia a compresión axial de la albañilería (fmt)										62.24	6.10
Desviación estándar (σ)										5.50	0.54
Resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f'm)										56.73	5.56
Coeficiente de variación (%)										8.84	8.84

Tabla 76

Resistencia a compresión axial de las pilas con adición de 2% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área bruta (cm ²)	Carga Ultima (kg)	Resistencia específica (fm) (kg/cm ²)	hp/tp	Fc	Resistencia en compresión (fmt)	
		Largo	Ancho	Alto						(kg/cm ²)	(MPa)
1	2%	22.98	12.03	29.83	276.45	17500	63.30	2.48	1.038	65.73	6.45
2	2%	22.80	12.08	29.90	275.42	18500	67.17	2.48	1.038	69.72	6.84
3	2%	23.05	12.08	29.60	278.44	16500	59.26	2.45	1.036	61.39	6.02
4	2%	22.90	12.05	30.40	275.95	17500	63.42	2.52	1.041	66.04	6.48
Promedio de la resistencia a compresión axial de la albañilería (fmt)										65.72	6.45
Desviación estándar (σ)										3.41	0.33
Resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f'm)										62.31	6.11
Coeficiente de variación (%)										5.19	5.19

Tabla 77

Resistencia a compresión axial de las pilas con adición de 4% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área bruta (cm ²)	Carga Ultima (kg)	Resistencia específica (fm) (kg/cm ²)	hp/tp	Fc	Resistencia en compresión (fmt)	
		Largo	Ancho	Alto						(kg/cm ²)	(MPa)
1	4%	23.13	12.08	30.10	279.41	18000	64.42	2.49	1.039	66.96	6.57
2	4%	23.00	12.05	30.18	277.15	18000	64.95	2.50	1.040	67.56	6.63
3	4%	23.05	12.03	30.03	277.29	17000	61.31	2.50	1.040	63.74	6.25
4	4%	22.98	12.20	30.05	280.36	18500	65.99	2.46	1.037	68.43	6.71
Promedio de la resistencia a compresión axial de la albañilería (fmt)										66.67	6.54
Desviación estándar (σ)										2.05	0.20
Resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f'm)										64.63	6.34
Coeficiente de variación (%)										3.07	3.07

Tabla 78

Resistencia a compresión axial de las pilas con adición de 6% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área bruta (cm ²)	Carga Ultima (kg)	Resistencia específica (fm) (kg/cm ²)	hp/tp	Fc	Resistencia en compresión (fmt)	
		Largo	Ancho	Alto						(kg/cm ²)	(MPa)
1	6%	23.05	11.93	30.33	274.99	16500	60.00	2.54	1.043	62.56	6.13
2	6%	23.05	12.00	30.35	276.60	16000	57.85	2.53	1.042	60.26	5.91
3	6%	22.95	12.03	29.80	276.09	18500	67.01	2.48	1.038	69.57	6.82
4	6%	22.95	12.00	30.15	275.40	17500	63.54	2.51	1.041	66.13	6.49
Promedio de la resistencia a compresión axial de la albañilería (fmt)										64.63	6.34
Desviación estándar (σ)										4.08	0.40
Resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f'm)										60.55	5.94
Coeficiente de variación (%)										6.32	6.32

- **Esfuerzo y deformación de las pilas.**

Tabla 79

Esfuerzo y deformación pila N° 1 P.

Espécimen N° 1 P		Largo (cm) = 22.83	
Carga U. (kg) = 15000		Ancho (cm) = 12.03	
Área (cm ²) = 274.64		Alto (cm) = 30.23	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.82	0.000000
1000	0.00	3.64	0.000000
1500	0.00	5.46	0.000000
2000	0.05	7.28	0.000165
2500	0.17	9.10	0.000562
3000	0.25	10.92	0.000827
3500	0.34	12.74	0.001125
4000	0.43	14.56	0.001422
4500	0.52	16.38	0.001720
5000	0.60	18.21	0.001985
5500	0.69	20.03	0.002283
6000	0.77	21.85	0.002547
6500	0.84	23.67	0.002779
7000	0.91	25.49	0.003010
7500	1.01	27.31	0.003341
8000	1.08	29.13	0.003573
8500	1.15	30.95	0.003804
9000	1.24	32.77	0.004102
9500	1.34	34.59	0.004433
10000	1.41	36.41	0.004664
10500	1.51	38.23	0.004995
11000	1.59	40.05	0.005260
11500	1.72	41.87	0.005690
12000	1.80	43.69	0.005954
12500	1.93	45.51	0.006384
13000	2.03	47.33	0.006715
13500	2.20	49.15	0.007278
14000	2.34	50.97	0.007741
14500	2.64	52.80	0.008733
15000	2.86	54.62	0.009461

Tabla 80

Esfuerzo y deformación pila N° 2 P.

Espécimen N° 2 P		Largo (cm) = 22.78	
Carga U. (kg) = 18000		Ancho (cm) = 11.93	
Área (cm ²) = 271.77		Alto (cm) = 30.23	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.84	0.000000
1000	0.00	3.68	0.000000
1500	0.00	5.52	0.000000
2000	0.00	7.36	0.000000
2500	0.07	9.20	0.000232
3000	0.12	11.04	0.000397
3500	0.18	12.88	0.000595
4000	0.23	14.72	0.000761
4500	0.30	16.56	0.000992
5000	0.34	18.40	0.001125
5500	0.39	20.24	0.001290
6000	0.44	22.08	0.001456
6500	0.49	23.92	0.001621
7000	0.54	25.76	0.001786
7500	0.59	27.60	0.001952
8000	0.64	29.44	0.002117
8500	0.69	31.28	0.002283
9000	0.73	33.12	0.002415
9500	0.80	34.96	0.002646
10000	0.87	36.80	0.002878
10500	0.91	38.64	0.003010
11000	1.00	40.48	0.003308
11500	1.06	42.32	0.003506
12000	1.14	44.16	0.003771
12500	1.19	46.00	0.003936
13000	1.30	47.84	0.004300
13500	1.37	49.68	0.004532
14000	1.45	51.52	0.004797
14500	1.49	53.35	0.004929
15000	1.57	55.19	0.005194
15500	1.64	57.03	0.005425
16000	1.75	58.87	0.005789
16500	1.87	60.71	0.006186
17000	2.13	62.55	0.007046
17500	2.32	64.39	0.007674
18000	2.63	66.23	0.008700

Tabla 81*Esfuerzo y deformación pila N° 3 P.*

Espécimen N° 3 P		Largo (cm) = 22.93	
Carga U. (kg) = 17000		Ancho (cm) = 12.00	
Área (cm ²) = 275.16		Alto (cm) = 30.05	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.82	0.000000
1000	0.00	3.63	0.000000
1500	0.00	5.45	0.000000
2000	0.00	7.27	0.000000
2500	0.14	9.09	0.000466
3000	0.20	10.90	0.000666
3500	0.28	12.72	0.000932
4000	0.32	14.54	0.001065
4500	0.39	16.35	0.001298
5000	0.45	18.17	0.001498
5500	0.52	19.99	0.001730
6000	0.55	21.81	0.001830
6500	0.61	23.62	0.002030
7000	0.66	25.44	0.002196
7500	0.73	27.26	0.002429
8000	0.78	29.07	0.002596
8500	0.85	30.89	0.002829
9000	0.90	32.71	0.002995
9500	0.96	34.53	0.003195
10000	1.01	36.34	0.003361
10500	1.09	38.16	0.003627
11000	1.14	39.98	0.003794
11500	1.23	41.79	0.004093
12000	1.27	43.61	0.004226
12500	1.34	45.43	0.004459
13000	1.40	47.25	0.004659
13500	1.47	49.06	0.004892
14000	1.63	50.88	0.005424
14500	1.82	52.70	0.006057
15000	1.95	54.51	0.006489
15500	2.08	56.33	0.006922
16000	2.19	58.15	0.007288
16500	2.39	59.97	0.007953
17000	2.60	61.78	0.008652

Tabla 82*Esfuerzo y deformación pila N° 4 P.*

Espécimen N° 4 P		Largo (cm) = 22.85	
Carga U. (kg) = 15500		Ancho (cm) = 12.00	
Área (cm ²) = 274.20		Alto (cm) = 30.10	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.82	0.000000
1000	0.00	3.65	0.000000
1500	0.00	5.47	0.000000
2000	0.03	7.29	0.000100
2500	0.15	9.12	0.000498
3000	0.27	10.94	0.000897
3500	0.37	12.76	0.001229
4000	0.43	14.59	0.001429
4500	0.52	16.41	0.001728
5000	0.59	18.23	0.001960
5500	0.71	20.06	0.002359
6000	0.78	21.88	0.002591
6500	0.86	23.71	0.002857
7000	0.93	25.53	0.003090
7500	1.01	27.35	0.003355
8000	1.09	29.18	0.003621
8500	1.15	31.00	0.003821
9000	1.21	32.82	0.004020
9500	1.28	34.65	0.004252
10000	1.34	36.47	0.004452
10500	1.43	38.29	0.004751
11000	1.48	40.12	0.004917
11500	1.55	41.94	0.005150
12000	1.62	43.76	0.005382
12500	1.70	45.59	0.005648
13000	1.77	47.41	0.005880
13500	1.87	49.23	0.006213
14000	1.96	51.06	0.006512
14500	2.06	52.88	0.006844
15000	2.36	54.70	0.007841
15500	2.79	56.53	0.009269

Figura 13

Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de las pilas patrón.

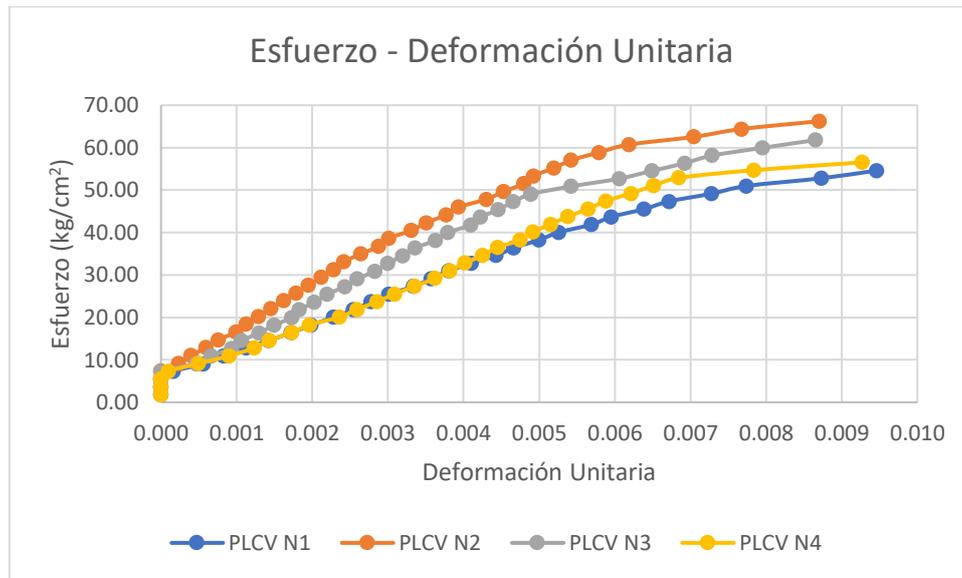


Tabla 83

Módulo de elasticidad de los ladrillos de concreto vibrado patrón.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área bruta (cm ²)	Carga 50% (kg)	Esfuerzo 50% (kg/cm ²)	Deformación unitaria 50%	Módulo de elasticidad (E _m)	
		Largo	Ancho	Alto					(kg/cm ²)	(Mpa)
1	P	22.83	12.03	30.23	274.64	7500	27.31	0.003341	10216.84	1001.93
2	P	22.78	11.93	30.23	271.77	9000	33.12	0.002415	17142.48	1681.10
3	P	22.93	12.00	30.05	275.16	8500	30.89	0.002829	13651.15	1338.72
4	P	22.85	12.00	30.10	274.20	7750	28.26	0.003488	10127.95	993.21
Promedio del módulo de elasticidad (E _m)									12784.60	1253.74
Desviación estándar (σ)									3336.33	327.18
Módulo de elasticidad característico (E' _m)									9448.28	926.56
Coeficiente de variación (%)									26.10	26.10

Tabla 84*Esfuerzo y deformación de la pila N° 1*

+ 2% PP.

Espécimen N° 1 + 2%		Largo (cm) = 22.98	
Carga U. (kg) = 17500		Ancho (cm) = 12.03	
Área (cm ²) = 276.45		Alto (cm) = 29.83	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.81	0.000000
1000	0.00	3.62	0.000000
1500	0.00	5.43	0.000000
2000	0.04	7.23	0.000134
2500	0.14	9.04	0.000469
3000	0.21	10.85	0.000704
3500	0.28	12.66	0.000939
4000	0.32	14.47	0.001073
4500	0.40	16.28	0.001341
5000	0.45	18.09	0.001509
5500	0.52	19.90	0.001743
6000	0.56	21.70	0.001877
6500	0.64	23.51	0.002145
7000	0.68	25.32	0.002280
7500	0.75	27.13	0.002514
8000	0.80	28.94	0.002682
8500	0.87	30.75	0.002917
9000	0.91	32.56	0.003051
9500	0.99	34.36	0.003319
10000	1.02	36.17	0.003419
10500	1.10	37.98	0.003688
11000	1.14	39.79	0.003822
11500	1.21	41.60	0.004056
12000	1.26	43.41	0.004224
12500	1.33	45.22	0.004459
13000	1.40	47.02	0.004693
13500	1.59	48.83	0.005330
14000	1.69	50.64	0.005665
14500	1.79	52.45	0.006001
15000	1.87	54.26	0.006269
15500	1.99	56.07	0.006671
16000	2.07	57.88	0.006939
16500	2.20	59.69	0.007375
17000	2.31	61.49	0.007744
17500	2.57	63.30	0.008615

Tabla 85*Esfuerzo y deformación de la pila N° 2*

+ 2% PP.

Espécimen N° 2 + 2%		Largo (cm) = 22.80	
Carga U. (kg) = 18500		Ancho (cm) = 12.08	
Área (cm ²) = 275.42		Alto (cm) = 29.90	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.82	0.000000
1000	0.00	3.63	0.000000
1500	0.00	5.45	0.000000
2000	0.00	7.26	0.000000
2500	0.11	9.08	0.000368
3000	0.17	10.89	0.000569
3500	0.24	12.71	0.000803
4000	0.27	14.52	0.000903
4500	0.33	16.34	0.001104
5000	0.39	18.15	0.001304
5500	0.46	19.97	0.001538
6000	0.50	21.78	0.001672
6500	0.56	23.60	0.001873
7000	0.60	25.42	0.002007
7500	0.68	27.23	0.002274
8000	0.73	29.05	0.002441
8500	0.77	30.86	0.002575
9000	0.82	32.68	0.002742
9500	0.86	34.49	0.002876
10000	0.91	36.31	0.003043
10500	0.96	38.12	0.003211
11000	1.01	39.94	0.003378
11500	1.05	41.75	0.003512
12000	1.11	43.57	0.003712
12500	1.16	45.38	0.003880
13000	1.21	47.20	0.004047
13500	1.26	49.02	0.004214
14000	1.30	50.83	0.004348
14500	1.37	52.65	0.004582
15000	1.42	54.46	0.004749
15500	1.51	56.28	0.005050
16000	1.59	58.09	0.005318
16500	1.69	59.91	0.005652
17000	1.88	61.72	0.006288
17500	2.04	63.54	0.006823
18000	2.20	65.35	0.007358
18500	2.54	67.17	0.008495

Tabla 86*Esfuerzo y deformación de la pila N° 3*

+ 2% PP.

Espécimen N° 3 + 2%		Largo (cm) = 23.05	
Carga U. (kg) = 16500		Ancho (cm) = 12.08	
Área (cm ²) = 278.44		Alto (cm) = 29.60	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.80	0.000000
1000	0.00	3.59	0.000000
1500	0.00	5.39	0.000000
2000	0.04	7.18	0.000135
2500	0.13	8.98	0.000439
3000	0.21	10.77	0.000709
3500	0.26	12.57	0.000878
4000	0.33	14.37	0.001115
4500	0.42	16.16	0.001419
5000	0.47	17.96	0.001588
5500	0.55	19.75	0.001858
6000	0.60	21.55	0.002027
6500	0.66	23.34	0.002230
7000	0.70	25.14	0.002365
7500	0.78	26.94	0.002635
8000	0.83	28.73	0.002804
8500	0.89	30.53	0.003007
9000	0.94	32.32	0.003176
9500	0.98	34.12	0.003311
10000	1.03	35.91	0.003480
10500	1.09	37.71	0.003682
11000	1.14	39.51	0.003851
11500	1.20	41.30	0.004054
12000	1.27	43.10	0.004291
12500	1.36	44.89	0.004595
13000	1.42	46.69	0.004797
13500	1.50	48.48	0.005068
14000	1.66	50.28	0.005608
14500	1.75	52.08	0.005912
15000	1.83	53.87	0.006182
15500	1.95	55.67	0.006588
16000	2.11	57.46	0.007128
16500	2.69	59.26	0.009088

Tabla 87*Esfuerzo y deformación de la pila N° 4*

+ 2% PP.

Espécimen N° 4 + 2%		Largo (cm) = 22.90	
Carga U. (kg) = 17500		Ancho (cm) = 12.05	
Área (cm ²) = 275.95		Alto (cm) = 30.40	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.81	0.000000
1000	0.00	3.62	0.000000
1500	0.00	5.44	0.000000
2000	0.00	7.25	0.000000
2500	0.10	9.06	0.000329
3000	0.17	10.87	0.000559
3500	0.27	12.68	0.000888
4000	0.35	14.50	0.001151
4500	0.44	16.31	0.001447
5000	0.49	18.12	0.001612
5500	0.57	19.93	0.001875
6000	0.63	21.74	0.002072
6500	0.72	23.56	0.002368
7000	0.78	25.37	0.002566
7500	0.85	27.18	0.002796
8000	0.90	28.99	0.002961
8500	0.97	30.80	0.003191
9000	1.02	32.62	0.003355
9500	1.08	34.43	0.003553
10000	1.13	36.24	0.003717
10500	1.18	38.05	0.003882
11000	1.23	39.86	0.004046
11500	1.30	41.67	0.004276
12000	1.39	43.49	0.004572
12500	1.45	45.30	0.004770
13000	1.51	47.11	0.004967
13500	1.59	48.92	0.005230
14000	1.66	50.73	0.005461
14500	1.75	52.55	0.005757
15000	1.83	54.36	0.006020
15500	1.97	56.17	0.006480
16000	2.38	57.98	0.007829
16500	2.49	59.79	0.008191
17000	2.58	61.61	0.008487
17500	2.71	63.42	0.008914

Figura 14

Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de las pilas con adición de 2% de polipropileno.

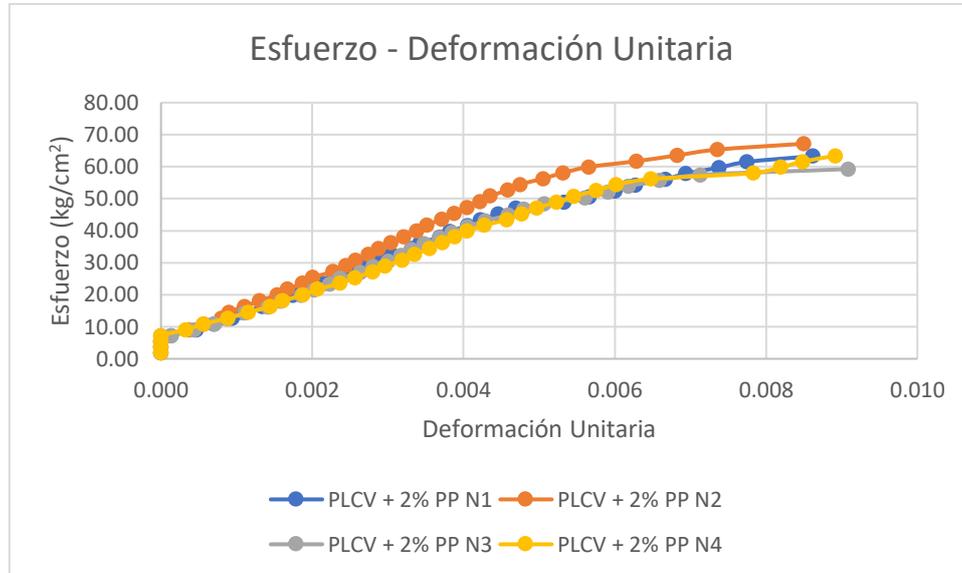


Tabla 88

Módulo de elasticidad de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 2% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área bruta (cm ²)	Carga 50% (kg)	Esfuerzo 50% (kg/cm ²)	Deformación unitaria 50%	Módulo de elasticidad (E _m)	
		Largo	Ancho	Alto					(kg/cm ²)	(Mpa)
1	2%	22.98	12.03	29.83	276.45	8750	31.65	0.002984	13260.68	1300.43
2	2%	22.80	12.08	29.90	275.42	9250	33.58	0.002809	14943.14	1465.42
3	2%	23.05	12.08	29.60	278.44	8250	29.63	0.002905	12747.33	1250.09
4	2%	22.90	12.05	30.40	275.95	8750	31.71	0.003273	12110.05	1187.59
Promedio del módulo de elasticidad (E _m)									13265.30	1300.88
Desviación estándar (σ)									1213.54	119.01
Módulo de elasticidad característico (E' _m)									12051.76	1181.87
Coeficiente de variación (%)									9.15	9.15

Tabla 89*Esfuerzo y deformación de la pila N° 1*

+ 4% PP.

Espécimen N° 1 + 4%		Largo (cm) = 23.13	
Carga U. (kg) = 18000		Ancho (cm) = 12.08	
Área (cm ²) = 279.41		Alto (cm) = 30.10	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.79	0.000000
1000	0.00	3.58	0.000000
1500	0.00	5.37	0.000000
2000	0.02	7.16	0.000066
2500	0.07	8.95	0.000233
3000	0.10	10.74	0.000332
3500	0.15	12.53	0.000498
4000	0.20	14.32	0.000664
4500	0.25	16.11	0.000831
5000	0.28	17.89	0.000930
5500	0.32	19.68	0.001063
6000	0.36	21.47	0.001196
6500	0.39	23.26	0.001296
7000	0.44	25.05	0.001462
7500	0.48	26.84	0.001595
8000	0.50	28.63	0.001661
8500	0.55	30.42	0.001827
9000	0.59	32.21	0.001960
9500	0.64	34.00	0.002126
10000	0.66	35.79	0.002193
10500	0.70	37.58	0.002326
11000	0.75	39.37	0.002492
11500	0.80	41.16	0.002658
12000	0.83	42.95	0.002757
12500	0.88	44.74	0.002924
13000	0.91	46.53	0.003023
13500	0.97	48.32	0.003223
14000	1.11	50.11	0.003688
14500	1.16	51.89	0.003854
15000	1.26	53.68	0.004186
15500	1.34	55.47	0.004452
16000	1.41	57.26	0.004684
16500	1.50	59.05	0.004983
17000	1.62	60.84	0.005382
17500	1.82	62.63	0.006047
18000	2.11	64.42	0.007010

Tabla 90*Esfuerzo y deformación de la pila N° 2*

+ 4% PP.

Espécimen N° 2 + 4%		Largo (cm) = 23.00	
Carga U. (kg) = 18000		Ancho (cm) = 12.05	
Área (cm ²) = 277.15		Alto (cm) = 30.18	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.80	0.000000
1000	0.00	3.61	0.000000
1500	0.00	5.41	0.000000
2000	0.00	7.22	0.000000
2500	0.05	9.02	0.000166
3000	0.09	10.82	0.000298
3500	0.14	12.63	0.000464
4000	0.18	14.43	0.000596
4500	0.23	16.24	0.000762
5000	0.27	18.04	0.000895
5500	0.32	19.84	0.001060
6000	0.36	21.65	0.001193
6500	0.39	23.45	0.001292
7000	0.43	25.26	0.001425
7500	0.47	27.06	0.001557
8000	0.50	28.87	0.001657
8500	0.55	30.67	0.001822
9000	0.59	32.47	0.001955
9500	0.63	34.28	0.002087
10000	0.67	36.08	0.002220
10500	0.72	37.89	0.002386
11000	0.76	39.69	0.002518
11500	0.80	41.49	0.002651
12000	0.85	43.30	0.002816
12500	0.90	45.10	0.002982
13000	0.94	46.91	0.003115
13500	1.01	48.71	0.003347
14000	1.06	50.51	0.003512
14500	1.12	52.32	0.003711
15000	1.16	54.12	0.003844
15500	1.24	55.93	0.004109
16000	1.37	57.73	0.004539
16500	1.49	59.53	0.004937
17000	1.60	61.34	0.005302
17500	1.75	63.14	0.005799
18000	1.97	64.95	0.006528

Tabla 91*Esfuerzo y deformación de la pila N° 3*

+ 4% PP.

Espécimen N° 3 + 4%		Largo (cm) = 23.05	
Carga U. (kg) = 17000		Ancho (cm) = 12.03	
Área (cm ²) = 277.29		Alto (cm) = 30.03	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.80	0.000000
1000	0.00	3.61	0.000000
1500	0.00	5.41	0.000000
2000	0.00	7.21	0.000000
2500	0.00	9.02	0.000000
3000	0.06	10.82	0.000200
3500	0.14	12.62	0.000466
4000	0.20	14.43	0.000666
4500	0.27	16.23	0.000899
5000	0.32	18.03	0.001066
5500	0.37	19.83	0.001232
6000	0.41	21.64	0.001365
6500	0.45	23.44	0.001499
7000	0.49	25.24	0.001632
7500	0.53	27.05	0.001765
8000	0.57	28.85	0.001898
8500	0.61	30.65	0.002031
9000	0.65	32.46	0.002165
9500	0.69	34.26	0.002298
10000	0.73	36.06	0.002431
10500	0.77	37.87	0.002564
11000	0.81	39.67	0.002697
11500	0.86	41.47	0.002864
12000	0.89	43.28	0.002964
12500	0.94	45.08	0.003130
13000	1.03	46.88	0.003430
13500	1.08	48.69	0.003596
14000	1.13	50.49	0.003763
14500	1.20	52.29	0.003996
15000	1.26	54.09	0.004196
15500	1.33	55.90	0.004429
16000	1.51	57.70	0.005028
16500	1.72	59.50	0.005728
17000	1.90	61.31	0.006327

Tabla 92*Esfuerzo y deformación de la pila N° 4*

+ 4% PP.

Espécimen N° 4 + 4%		Largo (cm) = 22.98	
Carga U. (kg) = 18500		Ancho (cm) = 12.20	
Área (cm ²) = 280.36		Alto (cm) = 30.05	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.78	0.000000
1000	0.00	3.57	0.000000
1500	0.00	5.35	0.000000
2000	0.03	7.13	0.000100
2500	0.10	8.92	0.000333
3000	0.14	10.70	0.000466
3500	0.18	12.48	0.000599
4000	0.23	14.27	0.000765
4500	0.26	16.05	0.000865
5000	0.30	17.83	0.000998
5500	0.34	19.62	0.001131
6000	0.39	21.40	0.001298
6500	0.45	23.18	0.001498
7000	0.50	24.97	0.001664
7500	0.54	26.75	0.001797
8000	0.56	28.54	0.001864
8500	0.61	30.32	0.002030
9000	0.65	32.10	0.002163
9500	0.70	33.89	0.002329
10000	0.74	35.67	0.002463
10500	0.79	37.45	0.002629
11000	0.90	39.24	0.002995
11500	0.96	41.02	0.003195
12000	1.01	42.80	0.003361
12500	1.06	44.59	0.003527
13000	1.12	46.37	0.003727
13500	1.19	48.15	0.003960
14000	1.25	49.94	0.004160
14500	1.32	51.72	0.004393
15000	1.37	53.50	0.004559
15500	1.46	55.29	0.004859
16000	1.52	57.07	0.005058
16500	1.62	58.85	0.005391
17000	1.70	60.64	0.005657
17500	1.83	62.42	0.006090
18000	1.90	64.20	0.006323
18500	2.22	65.99	0.007388

Figura 15

Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de las pilas con adición de 4% de polipropileno.

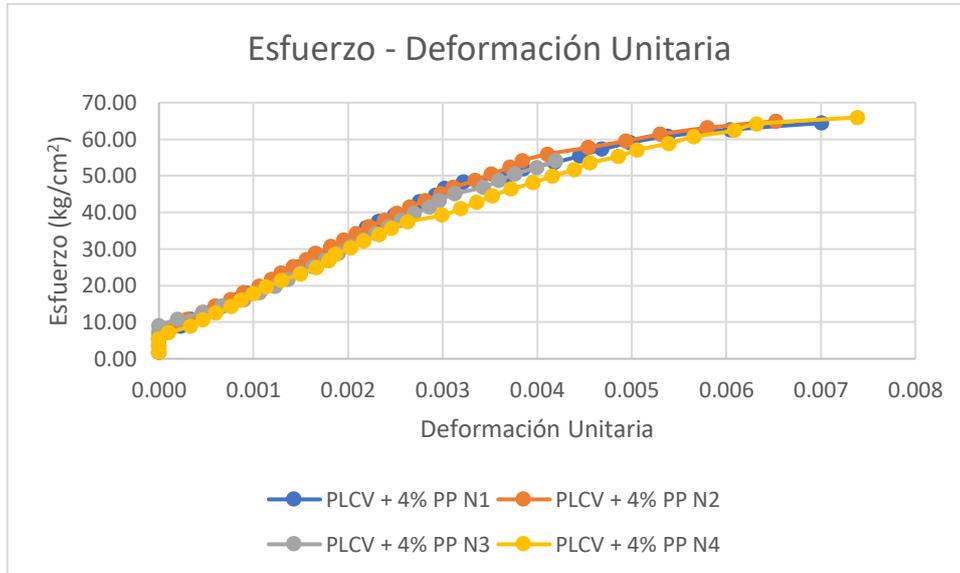


Tabla 93

Módulo de elasticidad de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 4% de plástico de polipropileno.

Especimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área bruta (cm ²)	Carga 50% (kg)	Esfuerzo 50% (kg/cm ²)	Deformación unitaria 50%	Módulo de elasticidad (E _m)	
		Largo	Ancho	Alto					(kg/cm ²)	(Mpa)
1	4%	23.13	12.08	30.10	279.41	9000	32.21	0.001960	20541.14	2014.40
2	4%	23.00	12.05	30.18	277.15	9000	32.47	0.001955	20763.71	2036.22
3	4%	23.05	12.03	30.03	277.29	8500	30.65	0.002031	18863.31	1849.86
4	4%	22.98	12.20	30.05	280.36	9250	32.99	0.002246	18360.42	1800.54
Promedio del módulo de elasticidad (E _m)									19632.14	1925.26
Desviación estándar (σ)									1199.32	117.61
Módulo de elasticidad característico (E' _m)									18432.82	1807.64
Coeficiente de variación (%)									6.11	6.11

Tabla 94*Esfuerzo y deformación de la pila N° 1*

+ 6% PP.

Espécimen N° 1 + 6%		Largo (cm) = 23.05	
Carga U. (kg) = 16500		Ancho (cm) = 11.93	
Área (cm ²) = 274.99		Alto (cm) = 30.33	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.82	0.000000
1000	0.00	3.64	0.000000
1500	0.01	5.45	0.000033
2000	0.06	7.27	0.000198
2500	0.10	9.09	0.000330
3000	0.17	10.91	0.000561
3500	0.24	12.73	0.000791
4000	0.26	14.55	0.000857
4500	0.30	16.36	0.000989
5000	0.35	18.18	0.001154
5500	0.41	20.00	0.001352
6000	0.44	21.82	0.001451
6500	0.49	23.64	0.001616
7000	0.53	25.46	0.001747
7500	0.62	27.27	0.002044
8000	0.66	29.09	0.002176
8500	0.73	30.91	0.002407
9000	0.79	32.73	0.002605
9500	0.86	34.55	0.002835
10000	0.91	36.37	0.003000
10500	0.97	38.18	0.003198
11000	1.01	40.00	0.003330
11500	1.08	41.82	0.003561
12000	1.12	43.64	0.003693
12500	1.21	45.46	0.003989
13000	1.27	47.28	0.004187
13500	1.35	49.09	0.004451
14000	1.42	50.91	0.004682
14500	1.55	52.73	0.005110
15000	1.64	54.55	0.005407
15500	1.77	56.37	0.005836
16000	1.97	58.18	0.006495
16500	2.47	60.00	0.008144

Tabla 95*Esfuerzo y deformación de la pila N° 2*

+ 6% PP.

Espécimen N° 2 + 6%		Largo (cm) = 23.05	
Carga U. (kg) = 16000		Ancho (cm) = 12.00	
Área (cm ²) = 276.60		Alto (cm) = 30.35	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.81	0.000000
1000	0.00	3.62	0.000000
1500	0.00	5.42	0.000000
2000	0.02	7.23	0.000066
2500	0.09	9.04	0.000297
3000	0.13	10.85	0.000428
3500	0.22	12.65	0.000725
4000	0.28	14.46	0.000923
4500	0.36	16.27	0.001186
5000	0.41	18.08	0.001351
5500	0.50	19.88	0.001647
6000	0.54	21.69	0.001779
6500	0.64	23.50	0.002109
7000	0.70	25.31	0.002306
7500	0.77	27.11	0.002537
8000	0.82	28.92	0.002702
8500	0.89	30.73	0.002932
9000	0.94	32.54	0.003097
9500	1.00	34.35	0.003295
10000	1.05	36.15	0.003460
10500	1.12	37.96	0.003690
11000	1.19	39.77	0.003921
11500	1.25	41.58	0.004119
12000	1.29	43.38	0.004250
12500	1.37	45.19	0.004514
13000	1.43	47.00	0.004712
13500	1.53	48.81	0.005041
14000	1.59	50.61	0.005239
14500	1.69	52.42	0.005568
15000	1.78	54.23	0.005865
15500	1.92	56.04	0.006326
16000	2.26	57.85	0.007446

Tabla 96*Esfuerzo y deformación de la pila N° 3**+ 6% PP.*

Espécimen N° 3 + 6%		Largo (cm) = 22.95	
Carga U. (kg) = 18500		Ancho (cm) = 12.03	
Área (cm ²) = 276.09		Alto (cm) = 29.80	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.81	0.000000
1000	0.00	3.62	0.000000
1500	0.00	5.43	0.000000
2000	0.00	7.24	0.000000
2500	0.00	9.06	0.000000
3000	0.04	10.87	0.000134
3500	0.09	12.68	0.000302
4000	0.13	14.49	0.000436
4500	0.17	16.30	0.000570
5000	0.21	18.11	0.000705
5500	0.25	19.92	0.000839
6000	0.29	21.73	0.000973
6500	0.33	23.54	0.001107
7000	0.36	25.35	0.001208
7500	0.41	27.17	0.001376
8000	0.44	28.98	0.001477
8500	0.48	30.79	0.001611
9000	0.51	32.60	0.001711
9500	0.56	34.41	0.001879
10000	0.60	36.22	0.002013
10500	0.65	38.03	0.002181
11000	0.68	39.84	0.002282
11500	0.74	41.65	0.002483
12000	0.78	43.46	0.002617
12500	0.84	45.28	0.002819
13000	0.88	47.09	0.002953
13500	0.94	48.90	0.003154
14000	1.00	50.71	0.003356
14500	1.07	52.52	0.003591
15000	1.15	54.33	0.003859
15500	1.23	56.14	0.004128
16000	1.31	57.95	0.004396
16500	1.41	59.76	0.004732
17000	1.50	61.57	0.005034
17500	1.64	63.39	0.005503
18000	1.82	65.20	0.006107
18500	2.15	67.01	0.007215

Tabla 97*Esfuerzo y deformación de la pila N° 4**+ 6% PP.*

Espécimen N° 4 + 6%		Largo (cm) = 22.95	
Carga U. (kg) = 17500		Ancho (cm) = 12.00	
Área (cm ²) = 275.40		Alto (cm) = 30.15	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
500	0.00	1.82	0.000000
1000	0.00	3.63	0.000000
1500	0.00	5.45	0.000000
2000	0.00	7.26	0.000000
2500	0.00	9.08	0.000000
3000	0.00	10.89	0.000000
3500	0.05	12.71	0.000166
4000	0.10	14.52	0.000332
4500	0.15	16.34	0.000498
5000	0.20	18.16	0.000663
5500	0.24	19.97	0.000796
6000	0.27	21.79	0.000896
6500	0.30	23.60	0.000995
7000	0.36	25.42	0.001194
7500	0.39	27.23	0.001294
8000	0.43	29.05	0.001426
8500	0.46	30.86	0.001526
9000	0.53	32.68	0.001758
9500	0.56	34.50	0.001857
10000	0.61	36.31	0.002023
10500	0.66	38.13	0.002189
11000	0.70	39.94	0.002322
11500	0.78	41.76	0.002587
12000	0.82	43.57	0.002720
12500	0.89	45.39	0.002952
13000	0.95	47.20	0.003151
13500	1.07	49.02	0.003549
14000	1.15	50.84	0.003814
14500	1.25	52.65	0.004146
15000	1.34	54.47	0.004444
15500	1.44	56.28	0.004776
16000	1.56	58.10	0.005174
16500	1.77	59.91	0.005871
17000	2.06	61.73	0.006833
17500	2.38	63.54	0.007894

Figura 16

Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de las pilas con adición de 6% de polipropileno.

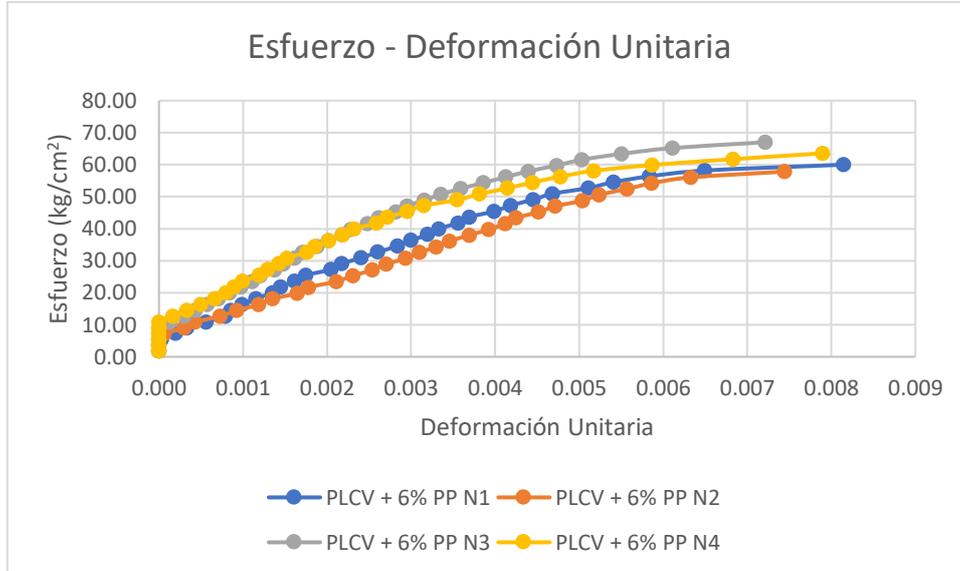


Tabla 98

Módulo de elasticidad de los ladrillos de concreto vibrado con adición del 6% de plástico de polipropileno.

Especimen	Tipo	Dimensiones (cm)			Área bruta (cm ²)	Carga 50% (kg)	Esfuerzo 50% (kg/cm ²)	Deformación unitaria 50%	Módulo de elasticidad (E _m)	
		Largo	Ancho	Alto					(kg/cm ²)	(Mpa)
1	6%	23.05	11.93	30.33	274.99	8250	30.00	0.002291	16365.91	1604.95
2	6%	23.05	12.00	30.35	276.60	8000	28.92	0.002702	13381.13	1312.24
3	6%	22.95	12.03	29.80	276.09	9250	33.50	0.001795	23327.38	2287.63
4	6%	22.95	12.00	30.15	275.40	8750	31.77	0.001642	24190.02	2372.23
Promedio del módulo de elasticidad (E _m)									19316.11	1894.26
Desviación estándar (σ)									5284.35	518.22
Módulo de elasticidad característico (E' _m)									14031.76	1376.05
Coeficiente de variación (%)									27.36	27.36

Anexo K: Ensayo de compresión diagonal de muretes

Tabla 99

Medidas de los muretes de ladrillos de concreto vibrado.

Especimen	Tipo	Largo (cm)					Ancho (cm)					Alto (cm)					Diagonales (cm)	
		L1	L2	L3	L4	L _{Prom.}	A1	A2	A3	A4	A _{Prom.}	H1	H2	H3	H4	H _{Prom.}	Vertical	Horizontal
1	P	61.70	61.40	61.30	61.50	61.48	12.10	12.20	12.10	12.00	12.10	62.00	61.60	62.10	61.10	61.70	86.20	87.00
2	P	61.50	61.70	61.50	61.30	61.50	12.40	12.00	12.00	12.10	12.13	61.40	61.40	61.30	61.40	61.38	86.60	86.50
3	P	61.70	61.50	61.60	61.50	61.58	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	61.70	61.60	61.30	61.60	61.55	86.60	87.00
4	P	61.50	61.30	61.90	61.50	61.55	12.10	12.40	12.00	11.80	12.08	61.60	61.70	61.60	61.60	61.63	87.00	86.50
1	2%	61.50	61.40	61.30	61.40	61.40	12.10	12.20	12.00	11.90	12.05	61.80	61.20	61.50	61.80	61.58	86.60	86.70
2	2%	61.40	61.60	61.90	61.70	61.65	12.20	12.00	11.90	12.00	12.03	61.20	61.00	61.20	61.10	61.13	86.80	86.20
3	2%	61.70	61.40	61.70	61.40	61.55	12.00	12.20	12.00	12.10	12.08	61.80	61.50	61.80	61.60	61.68	86.50	86.40
4	2%	61.60	61.50	61.40	61.60	61.53	12.00	12.10	11.60	12.00	11.93	61.90	61.00	61.70	61.70	61.58	86.70	87.00
1	4%	61.60	61.60	61.60	61.60	61.60	12.00	12.20	12.00	11.90	12.03	61.60	61.20	61.60	61.20	61.40	86.10	86.50
2	4%	61.60	61.50	61.50	61.10	61.43	12.10	12.00	12.10	11.90	12.03	61.90	61.10	61.80	61.70	61.63	86.70	86.40
3	4%	61.40	61.70	61.30	61.20	61.40	12.10	12.10	12.10	12.00	12.08	61.70	61.40	61.90	61.40	61.60	86.10	86.50
4	4%	61.50	61.40	61.70	61.60	61.55	12.10	12.10	12.00	12.10	12.08	61.80	61.40	61.80	61.60	61.65	86.90	86.70
1	6%	61.20	61.40	62.20	61.60	61.60	12.20	12.10	12.00	12.10	12.10	61.40	61.70	61.90	61.60	61.65	86.10	86.90
2	6%	61.60	61.60	62.20	61.70	61.78	12.10	12.00	12.00	12.00	12.03	61.70	61.40	61.90	61.70	61.68	86.80	86.70
3	6%	61.70	61.50	61.70	61.60	61.63	12.00	12.10	11.80	12.00	11.98	61.70	61.50	61.90	61.80	61.73	86.70	87.10
4	6%	61.50	61.50	61.40	61.40	61.45	12.00	12.00	12.10	12.00	12.03	61.70	61.60	61.90	61.60	61.70	86.50	86.60

Tabla 100*Resistencia a compresión diagonal de los muretes patrón.*

Espécimen	Tipo	Dimensiones (mm)			Área bruta (mm ²)	Carga Ultima P		Esfuerzo cortante Vm	
		Largo	Ancho	Altura		(Tn-f)	(N)	(kg/cm ²)	(Mpa)
1	P	614.80	617.00	121.00	74523.90	11.02	108069.283	10.45	1.03
2	P	615.00	613.80	121.30	74526.72	10.50	102969.825	9.96	0.98
3	P	615.80	615.50	120.00	73878.00	10.82	106107.953	10.35	1.02
4	P	615.50	616.30	120.80	74400.72	10.30	101008.495	9.79	0.96
Promedio de la resistencia de la albañilería al corte (Vm)								10.14	0.99
Desviación estándar (σ)								0.32	0.03
Resistencia característica de la albañilería al corte (V'm)								9.82	0.96
Coeficiente de variación (%)								3.13	3.13

Tabla 101

Resistencia a compresión diagonal de los muretes con adición de 2% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (mm)			Área bruta (mm ²)	Carga Ultima P		Esfuerzo cortante Vm	
		Largo	Ancho	Altura		(Tn-f)	(N)	(kg/cm ²)	(MPa)
1	2%	614.00	615.80	120.50	74095.45	11.30	110815.145	10.78	1.06
2	2%	616.50	611.30	120.30	73852.17	10.80	105911.82	10.34	1.01
3	2%	615.50	616.80	120.80	74430.92	10.96	107480.884	10.41	1.02
4	2%	615.30	615.80	119.30	73435.12	11.20	109834.48	10.78	1.06
Promedio de la resistencia de la albañilería al corte (Vm)								10.58	1.04
Desviación estándar (σ)								0.24	0.02
Resistencia característica de la albañilería al corte (V'm)								10.34	1.01
Coeficiente de variación (%)								2.24	2.24

Tabla 102

Resistencia a compresión diagonal de los muretes con adición de 4% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (mm)			Área bruta (mm ²)	Carga Ultima P		Esfuerzo cortante Vm	
		Largo	Ancho	Altura		(Tn-f)	(N)	(kg/cm ²)	(MPa)
1	4%	616.00	614.00	120.30	73984.50	10.66	104538.889	10.19	1.00
2	4%	614.30	616.30	120.30	74020.59	11.12	109049.948	10.62	1.04
3	4%	614.00	616.00	120.80	74292.00	11.40	111795.81	10.85	1.06
4	4%	615.50	616.50	120.80	74412.80	10.92	107088.618	10.38	1.02
Promedio de la resistencia de la albañilería al corte (Vm)								10.51	1.03
Desviación estándar (σ)								0.29	0.03
Resistencia característica de la albañilería al corte (V'm)								10.22	1.00
Coeficiente de variación (%)								2.75	2.75

Tabla 103

Resistencia a compresión diagonal de los muretes con adición de 6% de plástico de polipropileno.

Espécimen	Tipo	Dimensiones (mm)			Área bruta (mm ²)	Carga Ultima P		Esfuerzo cortante Vm	
		Largo	Ancho	Altura		(Tn-f)	(N)	(kg/cm ²)	(MPa)
1	6%	616.00	616.50	121.00	74566.25	10.80	105911.82	10.24	1.00
2	6%	617.80	616.80	120.30	74261.19	10.58	103754.36	10.07	0.99
3	6%	616.30	617.30	119.80	73892.64	11.36	111403.54	10.87	1.07
4	6%	614.50	617.00	120.30	74074.73	11.10	108853.82	10.59	1.04
Promedio de la resistencia de la albañilería al corte (Vm)								10.44	1.02
Desviación estándar (σ)								0.36	0.04
Resistencia característica de la albañilería al corte (V'm)								10.09	0.99
Coeficiente de variación (%)								3.42	3.42

Tabla 104*Esfuerzo y deformación murete N° 1 P.*

Espécimen N° 1 P		Largo (cm) = 61.48	
Carga U. (kg) = 11020		Ancho (cm) = 12.10	
Área (cm ²) = 745.24		Diagonal (cm) = 86.20	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.22	0.000255	0.95
2000	0.97	0.001125	1.90
3000	1.68	0.001949	2.85
4000	2.63	0.003051	3.79
5000	3.18	0.003689	4.74
6000	3.63	0.004211	5.69
7000	4.30	0.004988	6.64
8000	4.48	0.005197	7.59
9000	4.91	0.005696	8.54
10000	5.41	0.006276	9.49
11000	5.70	0.006613	10.44
11020	5.71	0.006624	10.45

Tabla 105*Esfuerzo y deformación murete N° 2 P.*

Espécimen N° 2 P		Largo (cm) = 61.50	
Carga U. (kg) = 10500		Ancho (cm) = 12.13	
Área (cm ²) = 745.27		Diagonal (cm) = 86.60	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.20	0.000231	0.95
2000	0.80	0.000924	1.90
3000	1.43	0.001651	2.85
4000	2.19	0.002529	3.79
5000	2.75	0.003176	4.74
6000	3.22	0.003718	5.69
7000	4.20	0.004850	6.64
8000	4.47	0.005162	7.59
9000	4.92	0.005681	8.54
10000	5.39	0.006224	9.49
10500	5.44	0.006282	9.96

Tabla 106*Esfuerzo y deformación murete N° 3 P.*

Espécimen N° 3 P		Largo (cm) = 61.58	
Carga U. (kg) = 10820		Ancho (cm) = 12.00	
Área (cm ²) = 738.78		Diagonal (cm) = 86.60	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.96
2000	0.52	0.000600	1.91
3000	1.04	0.001201	2.87
4000	1.49	0.001721	3.83
5000	2.31	0.002667	4.78
6000	2.63	0.003037	5.74
7000	3.37	0.003891	6.70
8000	3.93	0.004538	7.66
9000	4.25	0.004908	8.61
10000	4.71	0.005439	9.57
10820	5.20	0.006005	10.35

Tabla 107*Esfuerzo y deformación murete N° 4 P.*

Espécimen N° 4 P		Largo (cm) = 61.55	
Carga U. (kg) = 10300		Ancho (cm) = 12.08	
Área (cm ²) = 744.01		Diagonal (cm) = 87.00	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.95
2000	0.60	0.000690	1.90
3000	1.60	0.001839	2.85
4000	2.20	0.002529	3.80
5000	2.80	0.003218	4.75
6000	3.60	0.004138	5.70
7000	4.20	0.004828	6.65
8000	4.60	0.005287	7.60
9000	5.00	0.005747	8.55
10000	5.46	0.006276	9.50
10300	5.58	0.006414	9.79

Figura 17

Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de los muretes patrón.

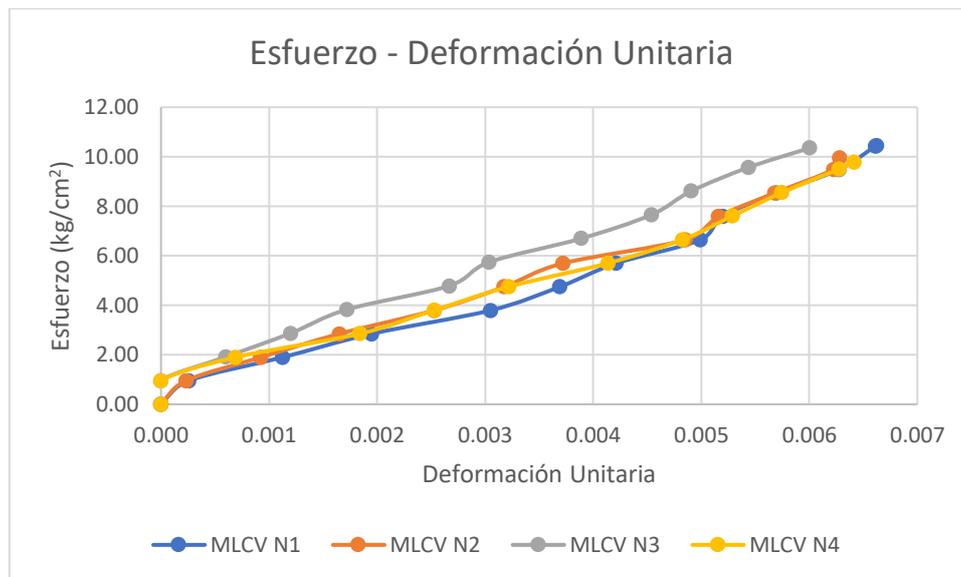


Tabla 108

Esfuerzo y deformación del murete N° 1

+ 2% PP.

Espécimen N° 1 + 2%		Largo (cm) = 61.40	
Carga U. (kg) = 11300		Ancho (cm) = 12.05	
Área (cm²) = 740.95		Diagonal (cm) = 86.60	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.28	0.000323	0.95
2000	1.03	0.001189	1.91
3000	1.30	0.001501	2.86
4000	1.98	0.002286	3.82
5000	2.26	0.002610	4.77
6000	2.90	0.003349	5.73
7000	3.41	0.003938	6.68
8000	3.59	0.004145	7.63
9000	4.05	0.004677	8.59
10000	4.62	0.005335	9.54
11000	4.85	0.005600	10.50
11300	5.31	0.006132	10.78

Tabla 109

Esfuerzo y deformación del murete N° 2

+ 2% PP.

Espécimen N° 2 + 2%		Largo (cm) = 61.65	
Carga U. (kg) = 10800		Ancho (cm) = 12.03	
Área (cm²) = 738.52		Diagonal (cm) = 86.80	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.25	0.000288	0.96
2000	0.85	0.000979	1.91
3000	1.59	0.001832	2.87
4000	2.30	0.002650	3.83
5000	2.92	0.003364	4.79
6000	3.61	0.004159	5.74
7000	3.83	0.004412	6.70
8000	4.14	0.004770	7.66
9000	4.66	0.005369	8.62
10000	4.94	0.005691	9.57
10800	5.22	0.006014	10.34

Tabla 110*Esfuerzo y deformación del murete N° 3*

+ 2% PP.

Espécimen N° 3 + 2%		Largo (cm) = 61.55	
Carga U. (kg) = 10960		Ancho (cm) = 12.08	
Área (cm ²) = 744.31		Diagonal (cm) = 86.50	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.95
2000	0.33	0.000382	1.90
3000	0.87	0.001006	2.85
4000	1.50	0.001734	3.80
5000	2.39	0.002763	4.75
6000	2.76	0.003191	5.70
7000	3.32	0.003838	6.65
8000	3.87	0.004474	7.60
9000	4.35	0.005029	8.55
10000	4.75	0.005491	9.50
10960	5.16	0.005965	10.41

Tabla 111*Esfuerzo y deformación del murete N° 4*

+ 2% PP.

Espécimen N° 4 + 2%		Largo (cm) = 61.53	
Carga U. (kg) = 11200		Ancho (cm) = 11.93	
Área (cm ²) = 734.35		Diagonal (cm) = 86.70	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.96
2000	1.12	0.001292	1.93
3000	1.66	0.001915	2.89
4000	2.51	0.002895	3.85
5000	2.83	0.003264	4.81
6000	3.28	0.003783	5.78
7000	3.55	0.004095	6.74
8000	4.02	0.004637	7.70
9000	4.33	0.004994	8.66
10000	4.70	0.005421	9.63
11000	4.97	0.005732	10.59
11200	5.08	0.005859	10.78

Figura 18

Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de los muretes con adición de 2% de polipropileno.

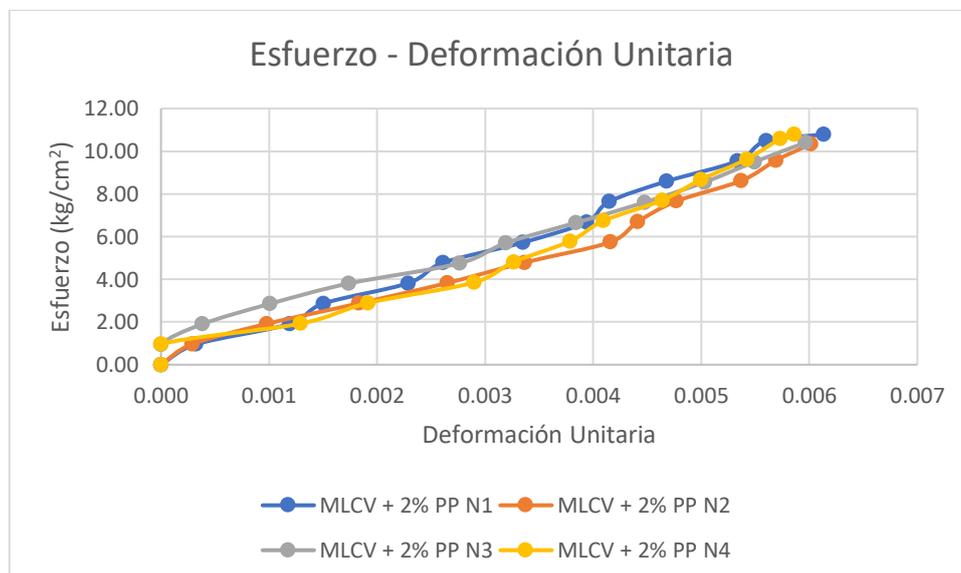


Tabla 112*Esfuerzo y deformación del murete N° 1*

+ 4% PP.

Espécimen N° 1 + 4%		Largo (cm) = 61.60	
Carga U. (kg) = 10660		Ancho (cm) = 12.03	
Área (cm ²) = 739.85		Diagonal (cm) = 86.10	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.96
2000	0.65	0.000755	1.91
3000	1.37	0.001591	2.87
4000	1.69	0.001963	3.82
5000	1.93	0.002242	4.78
6000	2.57	0.002985	5.73
7000	3.05	0.003542	6.69
8000	3.21	0.003728	7.64
9000	3.45	0.004007	8.60
10000	3.85	0.004472	9.56
10660	4.17	0.004843	10.19

Tabla 113*Esfuerzo y deformación del murete N° 2*

+ 4% PP.

Espécimen N° 2 + 4%		Largo (cm) = 61.43	
Carga U. (kg) = 11120		Ancho (cm) = 12.03	
Área (cm ²) = 740.21		Diagonal (cm) = 86.70	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.96
2000	0.60	0.000692	1.91
3000	1.26	0.001453	2.87
4000	1.81	0.002088	3.82
5000	2.27	0.002618	4.78
6000	2.46	0.002837	5.73
7000	2.61	0.003010	6.69
8000	2.85	0.003287	7.64
9000	3.30	0.003806	8.60
10000	3.66	0.004221	9.55
11000	4.23	0.004879	10.51
11120	4.31	0.004971	10.62

Tabla 114*Esfuerzo y deformación del murete N° 3*

+ 4% PP.

Espécimen N° 3 + 4%		Largo (cm) = 61.40	
Carga U. (kg) = 11400		Ancho (cm) = 12.08	
Área (cm ²) = 742.92		Diagonal (cm) = 86.10	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.95
2000	0.23	0.000267	1.90
3000	0.83	0.000964	2.85
4000	1.35	0.001568	3.81
5000	1.69	0.001963	4.76
6000	2.12	0.002462	5.71
7000	2.78	0.003229	6.66
8000	3.23	0.003751	7.61
9000	3.68	0.004274	8.56
10000	4.04	0.004692	9.52
11000	4.42	0.005134	10.47
11400	4.54	0.005273	10.85

Tabla 115*Esfuerzo y deformación del murete N° 4*

+ 4% PP.

Espécimen N° 4 + 4%		Largo (cm) = 61.55	
Carga U. (kg) = 10920		Ancho (cm) = 12.08	
Área (cm ²) = 744.13		Diagonal (cm) = 86.90	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.20	0.000230	0.95
2000	0.61	0.000702	1.90
3000	0.86	0.000990	2.85
4000	1.06	0.001220	3.80
5000	1.35	0.001554	4.75
6000	1.53	0.001761	5.70
7000	2.12	0.002440	6.65
8000	2.48	0.002854	7.60
9000	3.06	0.003521	8.55
10000	3.54	0.004074	9.50
10920	4.39	0.005052	10.38

Figura 19

Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de los muretes con adición de 4% de polipropileno.

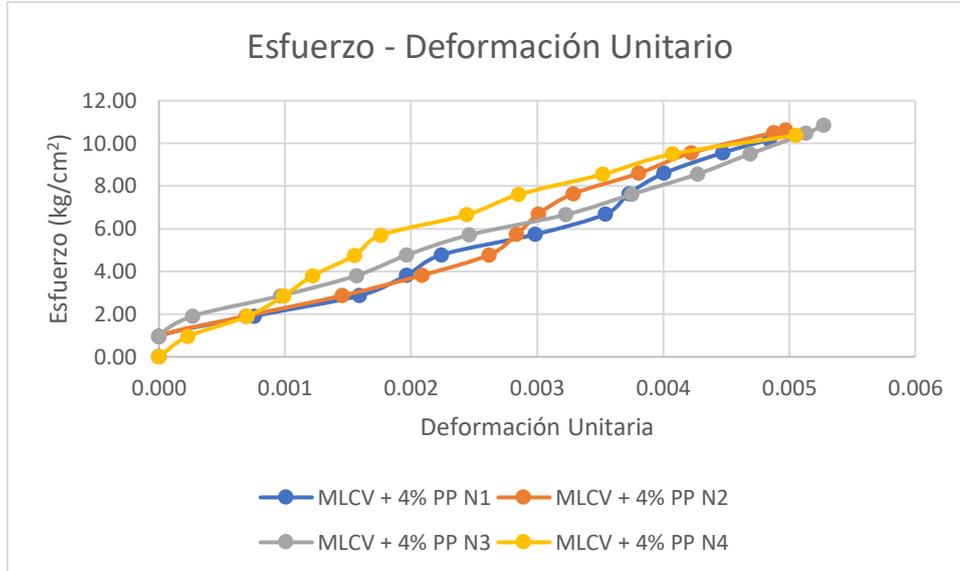


Tabla 116

Esfuerzo y deformación del murete N° 1
+ 6% PP.

Espécimen N° 1 + 6%		Largo (cm) = 61.60	
Carga U. (kg) = 10800		Ancho (cm) = 12.10	
Área (cm²) = 745.66		Diagonal (cm) = 86.10	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.95
2000	0.90	0.001045	1.90
3000	1.20	0.001394	2.84
4000	1.70	0.001974	3.79
5000	2.00	0.002323	4.74
6000	2.51	0.002915	5.69
7000	3.32	0.003856	6.64
8000	3.63	0.004216	7.59
9000	3.98	0.004623	8.53
10000	4.63	0.005377	9.48
10800	5.04	0.005854	10.24

Tabla 117

Esfuerzo y deformación del murete N° 2
+ 6% PP.

Espécimen N° 2 + 6%		Largo (cm) = 61.78	
Carga U. (kg) = 10580		Ancho (cm) = 12.03	
Área (cm²) = 742.61		Diagonal (cm) = 86.80	
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.95
2000	0.33	0.000380	1.90
3000	0.95	0.001094	2.86
4000	1.34	0.001544	3.81
5000	1.90	0.002189	4.76
6000	2.29	0.002638	5.71
7000	2.66	0.003065	6.66
8000	3.26	0.003756	7.62
9000	3.59	0.004136	8.57
10000	4.43	0.005104	9.52
10580	4.93	0.005680	10.07

Tabla 118*Esfuerzo y deformación del murete N° 3*

+ 6% PP.

Espécimen N° 3 + 6%	Largo (cm) = 61.63
Carga U. (kg) = 11360	Ancho (cm) = 11.98
Área (cm ²) = 738.93	Diagonal (cm) = 86.70

Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.96
2000	0.90	0.001038	1.91
3000	1.32	0.001522	2.87
4000	1.96	0.002261	3.83
5000	2.30	0.002653	4.78
6000	2.93	0.003379	5.74
7000	3.37	0.003887	6.70
8000	3.93	0.004533	7.65
9000	4.29	0.004948	8.61
10000	4.49	0.005179	9.57
11000	4.82	0.005559	10.52
11360	5.12	0.005905	10.87

Tabla 119*Esfuerzo y deformación del murete N° 4*

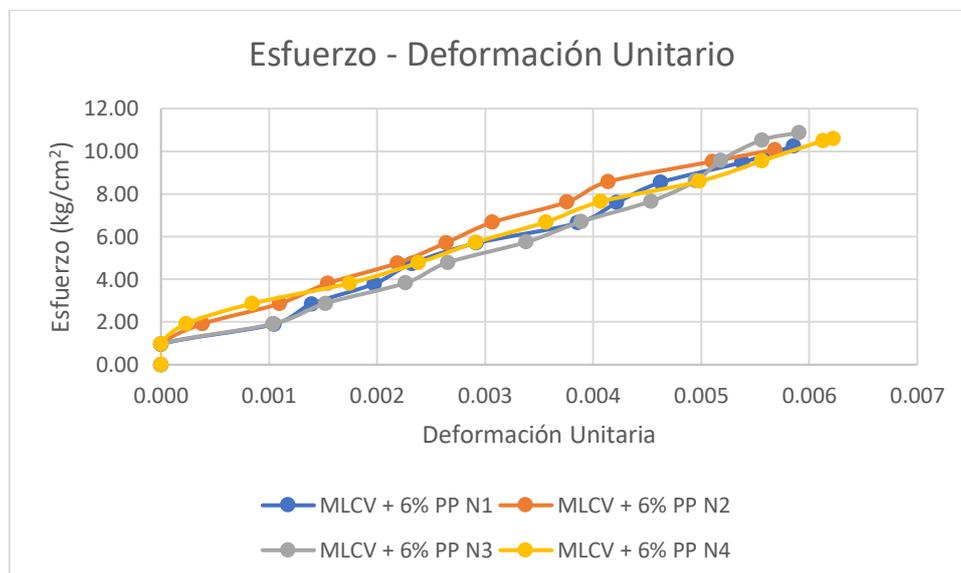
+ 6% PP.

Espécimen N° 4 + 6%	Largo (cm) = 61.45
Carga U. (kg) = 11100	Ancho (cm) = 12.03
Área (cm ²) = 740.75	Diagonal (cm) = 86.50

Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0.00	0.000000	0.00
1000	0.00	0.000000	0.95
2000	0.20	0.000231	1.91
3000	0.73	0.000844	2.86
4000	1.51	0.001746	3.82
5000	2.06	0.002382	4.77
6000	2.52	0.002913	5.73
7000	3.08	0.003561	6.68
8000	3.52	0.004069	7.64
9000	4.31	0.004983	8.59
10000	4.81	0.005561	9.54
11000	5.30	0.006127	10.50
11100	5.38	0.006220	10.59

Figura 20

Curva de esfuerzo vs deformación unitaria de los muretes con adición de 6% de polipropileno.



Anexo L: Ficha técnica del Cemento Portland Tipo Prefabricado.

Figura 21

Ficha técnica cemento Pacasmayo Tipo Prefabricado.



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo Prefabricados

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 23 de Febrero del 2018

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.1	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.1	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.60	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.11	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	30.1 (307)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	36.6 (373)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	43.9 (447)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	159	Mínimo 45
Fraguado Final	min	272	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-01-2018 al 31-01-2018.
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Diciembre 2017.
(*) Requisito opcional.

Ing. Dennis R. Rodas Lavado
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Anexo M: Ficha técnica de Cemento Portland Tipo I.

Figura 22

Ficha técnica cemento Pacasmayo Tipo I.



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.92	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.10	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.1 (266)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	33.9 (346)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	42.3 (431)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	267	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017.
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.
(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Anexo N: Figuras y tablas de las bases teóricas.

Figura 23

Símbolo del plástico de polipropileno.



Fuente: envaselia, 2018, “Tipos de plásticos”

Tabla 120

Clases de ladrillos para fines estructurales.

CLASE DE ABAÑILERIA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESITENCIA 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 (20)

⁽¹⁾ Bloque usado en la construcción de muros portante.

⁽²⁾ Bloque usado en la construcción de muros no portante.

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070.

Tabla 121

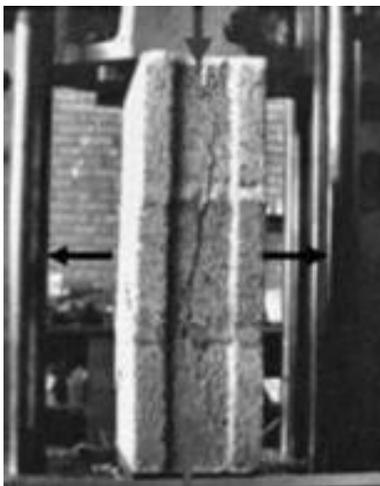
Tipos de morteros.

TIPOS DE MORTEROS				
COMPONENTES				USOS
TIPO	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 ½	Muros Portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros No Portantes

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones, E.070.

Figura 24

Falla ideal en pilas de albañilería.



Fuente: Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería. (San Bartolomé et al., 2018)

Figura 25

Falla por trituración en pilas de albañilería.



Fuente: Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería. (San Bartolomé et al., 2018)

Figura 26

Falla por aplastamiento local en pilas de albañilería.



Fuente: Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería. (San Bartolomé et al., 2018)

Figura 27

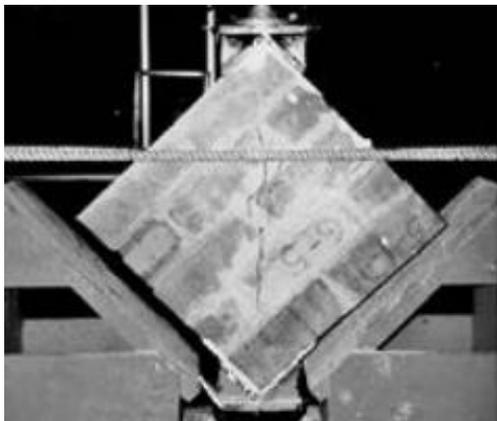
Falla por aplastamiento por pandeo en pilas de albañilería.



Fuente: Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería. (San Bartolomé et al., 2018)

Figura 28

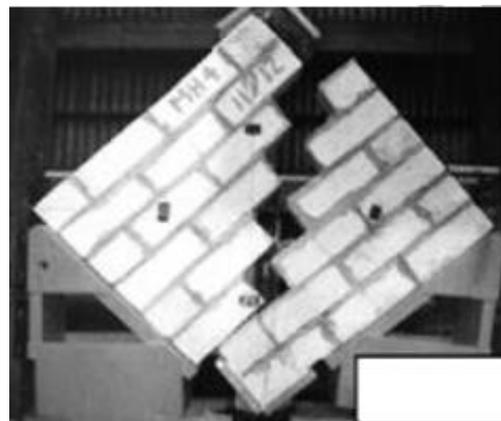
Falla por tracción diagonal en muretes de albañilería.



Fuente: Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería. (San Bartolomé et al., 2018)

Figura 29

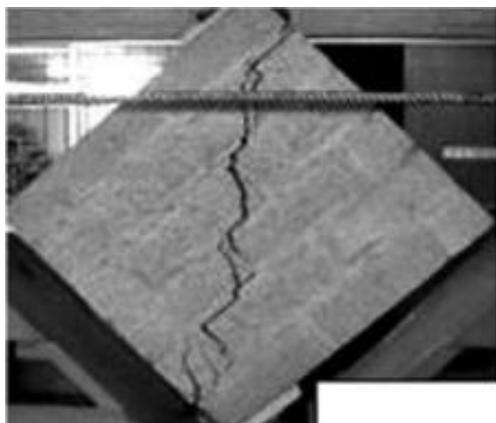
Falla escalonada en muretes de albañilería.



Fuente: Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería. (San Bartolomé et al., 2018)

Figura 30

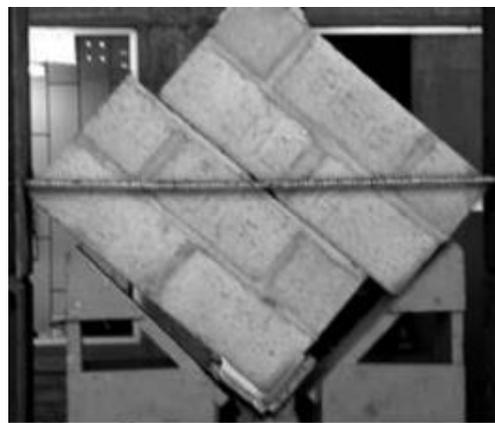
Falla mixta en muretes de albañilería.



Fuente: Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería. (San Bartolomé et al., 2018)

Figura 31

Falla por deslizamiento en muretes de albañilería.



Fuente: Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería. (San Bartolomé et al., 2018)

Figura 32

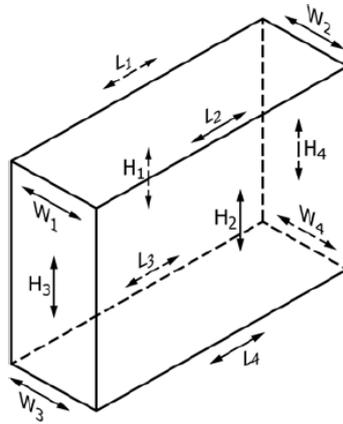
Falla por trituración local en muretes de albañilería.



Fuente: Diseño y construcción de estructuras sismorresistente de albañilería. (San Bartolomé et al., 2018)

Figura 33

Ubicación de las mediciones en el prisma.



Fuente: NTP 399.605:2018.

Tabla 122

Factores de corrección altura/espesor para la resistencia en compresión de prismas de albañilería.

h_p / t_p^A	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección (Fc)	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.15	1.22

^A h_p / t_p Relación de la altura del prisma y las medidas menores laterales del prisma

Fuente: NTP 399.605.2018.

Anexo Ñ: Panel fotográfico.

Figura 34

Triturado de plástico de polipropileno.



Figura 35

Ensayo de peso unitario del plástico de polipropileno.



Figura 36

Secado de plástico de polipropileno hasta llegar al estado saturado superficialmente seco.



Figura 37

Fiola de 500 cm³ con agua y plástico de polipropileno, ensayo de peso específico.



Figura 38

Granulometría de la arena gruesa.



Figura 39

Ensayo de peso unitario de la arena gruesa.



Figura 40

Peso unitario seco compactado de la arena gruesa.



Figura 41

Peso unitario suelto seco de la arena gruesa.



Figura 42

Arena gruesa en estado saturado superficialmente seco.



Figura 43

Fiola de 500 cm³ con agua y arena gruesa, ensayo de peso específico.



Figura 31.a.



Figura 31.b.

Figura 44

Mezclado de materiales para elaboración de ladrillos de concreto vibrado con adición de 2%, 4% y 6% de plástico de polipropileno.



Figura 32.a. Agregando polipropileno.



Figura 32.b. Materiales mezclados

Figura 45

Medición de alabeo de los ladrillos de concreto vibrado.



Figura 46

Ensayo de compresión de los ladrillos de concreto vibrado con adición de 6% de plástico de polipropileno.



Figura 34.a.



Figura 34.b.

Figura 47

Ladrillos de concreto vibrado saturados por 24 horas para ensayo de absorción.



Figura 48

Ladrillos de concreto vibrado 24 horas en la estufa para ensayo de absorción.



Figura 49

Ladrillos de concreto vibrado secos para ensayo de succión.



Figura 50

Ensayo de succión de los ladrillos de concreto vibrado.



Figura 51

Ensayo de compresión axial de las pilas con adición de 6% de plástico de polipropileno.



Figura 52

Fallas de la pila con adición de 6% de plástico de polipropileno.



Figura 40.a.



Figura 40.b.

Figura 53

Ensayo de compresión diagonal de los muretes con adición de 4% de plástico de polipropileno.



Figura 41.a.



Figura 41.b.

Figura 54

Medición de los cubos de mortero.



Figura 55

Ensayo de compresión de los cubos de mortero.

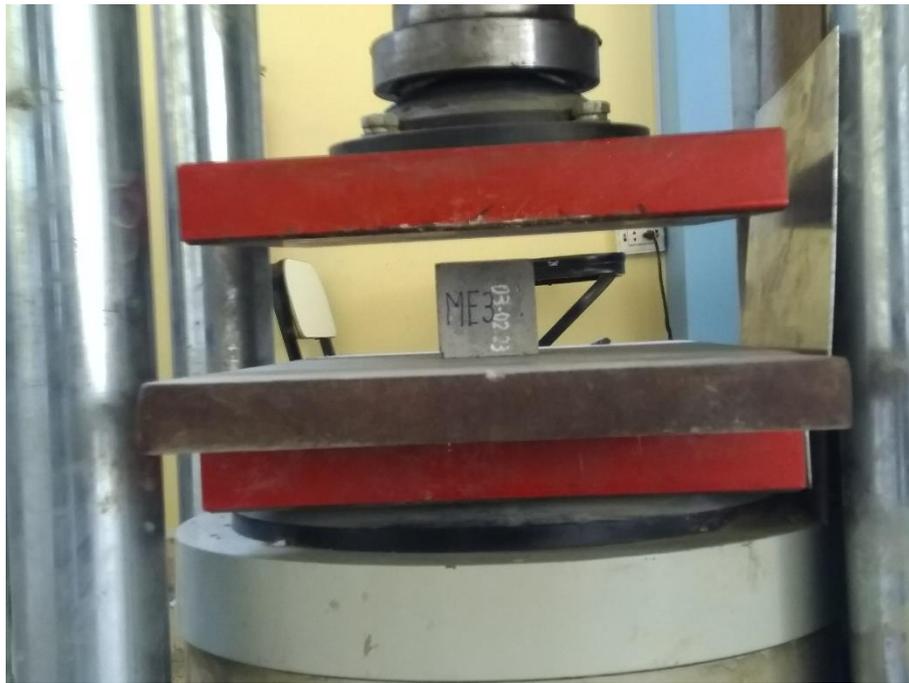


Figura 56

Cubos de mortero ensayados a compresión.



Figura 44.a.



Figura 44.b.