



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET RECICLADO EN LAS
PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE LOS LADRILLOS DE
CONCRETO FABRICADOS EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDWIN JORGE MAMANI CHATA

Bach. JUAN LUIS PACOHUANACO LOZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS PET RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE LOS LADRILLOS DE CONCRETO FABRICADOS EN LA CIUDAD DE PUNO, 2022

AUTOR

EDWIN JORGE MAMANI CHATA - JUAN LUIS PACOHUANACO LOZA

RECuento DE PALABRAS

48471 Words

RECuento DE CARACTERES

249904 Characters

RECuento DE PÁGINAS

237 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 5, 2024 10:54 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 5, 2024 10:57 AM GMT-5

● 7% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Ing. Félix Rojas Chahuares
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2051221


Ing. Emilio Castillo Aroni
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 920514

Resumen



DEDICATORIA

A mis amados padres, Jorge y Margarita, les dedico mi existencia, agradeciendo por darme la vida, por el apoyo brindado, y por impartirme los valores que han moldeado mi camino, primero como estudiante y ahora como profesional. A mis queridos hermanos, Alex, Luz y Katy, les dedico mi gratitud por su respaldo moral continuo, que ha sido mi sostén en las travesías de la vida. Este recorrido es nuestro, y a ustedes dedico mi eterna gratitud y amor.

Edwin Jorge Mamani Chata



DEDICATORIA

A dios por concederme la vida y por dejarme culminar este proyecto de investigación.

*Él siempre ha estado presente brindándome la fortaleza y voluntad para lograr un
peldaño más en uno de los propósitos de mi vida.*

*A mis apreciados padres Juan y Bertha, por ser mi inspiración y motivación en mi
formación profesional; en especial a ti papá Juan del cual me siento orgulloso, gracias
por inculcarme el ejemplo de valentía y coraje que se debe tener ante las adversidades
de la vida, por tu infinito amor y apoyo hacia mí.*

*A mis hermanos Richard y Roxana por sus sabios consejos, por demostrarme que con
dedicación y esfuerzo se puede lograr los objetivos en la vida.*

*A mis abuelos Cirilo (†) y Benigna por sus enseñanzas que inculcaron en mí y a todas
las personas que estuvieron pendientes en la ejecución de este proyecto de
investigación.*

Juan Luis Pacohuanaco Loza



AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, en exclusivo a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por la formación académica brindada y las cuales nos abrieron nuevas puertas en conocimiento que desconocía hasta el momento.

Agradecemos a nuestros jurados dictaminadores de tesis M.Sc. Vitulas Quille Yasmani Teófilo, M.Sc. Gonzales Sucasaire Nestor Eloy y Ing. De La Riva Tapia Gleny Zoila, por su paciencia y sabiduría en la evaluación de la tesis de investigación.

Agradecer a nuestro director de tesis D.Sc. Rojas Chahuares Felix por las recomendaciones, consejos brindados en el desarrollo de esta investigación.

Agradecemos a todos nuestros docentes, compañeros y personal técnico de laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por su soporte moral y desinteresado durante la elaboración de esta tesis.

Edwin Jorge Mamani Chata

Juan Luis Pacohuanaco Loza



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	24
ABSTRACT.....	25
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
1.1.1. Problema general.....	30
1.1.2. Problemas específicos	30
1.2. HIPÓTESIS	30
1.2.1. Hipótesis general	30
1.2.2. Hipótesis específicas	31
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	31
1.4. OBJETIVOS.....	33
1.4.1. Objetivo general	33
1.4.2. Objetivos específicos.....	33
1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	33

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	35
2.1.1.	Antecedentes internacionales	35
2.1.2.	Antecedentes nacionales	38
2.1.3.	Antecedentes locales	44
2.2.	MARCO TEÓRICO	44
2.2.1.	Tereftalato de polietileno (PET).....	44
2.2.1.1.	Definición del PET.....	44
2.2.2.	Propiedades físicas y químicas del PET.....	45
2.2.3.	Impacto en el medio ambiente del PET	46
2.2.4.	Aplicaciones del PET	47
2.2.4.1.	PET textil como fibra cortada	47
2.2.4.2.	PET grado película.....	47
2.2.4.3.	PET para envases	48
2.2.4.4.	PET para láminas	48
2.2.5.	Reciclaje del PET	49
2.2.5.1.	Reciclaje físico o mecánico.....	50
2.2.5.2.	Reciclaje químico.....	51
2.2.5.3.	Reciclaje energético	51
2.2.6.	Fibras PET reciclado	52
2.2.6.1.	Verificación e inspección.....	52
2.2.6.2.	Lavado.....	53
2.2.6.3.	Secado	53
2.2.6.4.	Corte de la estructura	54
2.2.6.5.	Corte y obtención de las fibras PET.....	54
2.2.7.	El reciclaje PET y la construcción	55



2.2.8. Unidades albañilería.....	56
2.2.8.1. Tipos de unidades de albañilería.....	57
2.2.8.2. Materia prima y fabricación de unidades de albañilería	57
2.2.8.2.1. Unidades de arcilla	57
2.2.8.2.2. Unidades de concreto.....	58
2.2.8.2.3. Unidades Sílico – Calcáreas	58
2.2.8.3. Clasificación de huecos de unidades de albañilería	59
2.2.8.3.1. Unidad de albañilería sólida o maciza.....	59
2.2.8.3.2. Unidad de albañilería hueca	59
2.2.8.3.3. Unidades de albañilería tubular	59
2.2.8.3.4. Unidades de albañilería alveolar.....	60
2.2.8.4. Clasificación para fines estructurales.....	60
2.2.8.5. Limitaciones de uso para fines estructurales.....	60
2.2.9. Propiedades	61
2.2.9.1. Propiedades físicas.....	62
2.2.9.1.1. Variación dimensional.....	62
2.2.9.1.2. Alabeo.....	63
2.2.9.1.3. Absorción.....	63
2.2.9.2. Propiedades Mecánicas	64
2.2.9.2.1. Resistencia a compresión de unidades de albañilería.....	64
2.2.9.2.2. Resistencia a flexión de unidades de albañilería	65
2.2.9.2.3. Resistencia a compresión de pilas de albañilería.....	66
2.2.9.2.4. Resistencia al corte diagonal de Muretes	67
2.2.10. Mortero	69



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES.....	72
3.1.1. Cemento	72
3.1.2. Agregado fino.....	72
3.1.3. Agua	73
3.1.4. Fibras de PET reciclado	73
3.1.4.1. Dosificación de fibras PET	73
3.1.4.2. Geometría de las fibras PET	74
3.2. EQUIPOS.....	75
3.3. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	76
3.3.1. Enfoque de investigación: Cuantitativa.....	76
3.3.2. Tipo de la investigación: Pura o básica.....	76
3.3.3. Nivel de la investigación: Explicativo	77
3.3.4. Diseño de la investigación: Cuasi-Experimental	77
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	77
3.4.1. Población.....	77
3.4.2. Muestra	78
3.4.2.1. Muestra en asentamiento de concreto fresco	78
3.4.2.2. Muestra para las propiedades físicas.....	79
3.4.2.2.1. Variación dimensional y alabeo	79
3.4.2.2.2. Absorción.....	79
3.4.2.3. Muestra para las propiedades mecánicas	80
3.4.2.3.1. Resistencia a compresión de unidades de albañilería.....	80
3.4.2.3.2. Resistencia a flexión de unidades de albañilería	81



3.4.2.3.3.	Resistencia a compresión de pilas de albañilería.....	81
3.4.2.3.4.	Resistencia al corte diagonal de Muretes	82
3.5.	ÁMBITO DE ESTUDIO	83
3.5.1.	Geográficas.....	83
3.6.	TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	87
3.7.	DISEÑO ESTADÍSTICO	87
3.7.1.	Prueba de normalidad.....	87
3.7.1.1.	Prueba de Shapiro-Wilks	87
3.7.2.	Análisis paramétrico.....	88
3.7.2.1.	Prueba de coeficiente de correlación de Pearson	88
3.7.2.2.	Prueba análisis de varianza (ANOVA)	90
3.8.	PROCEDIMIENTO.....	91
3.8.1.	Extracción de agregado	91
3.8.1.1.	Agregado fino	91
3.8.2.	Muestreo de materiales para los ensayos	93
3.8.3.	Propiedades físicas del agregado.....	94
3.8.3.1.	Análisis granulométrico de agregado fino	94
3.8.3.2.	Contenido de humedad.....	98
3.8.3.3.	Peso específico y absorción de los agregados finos.....	101
3.8.3.4.	Peso unitario suelto y compactado del agregado	105
3.8.4.	Elaboración de las fibras PET reciclado	109
3.8.4.1.	Reciclado mecánico de las botellas PET.....	109
3.8.4.2.	Limpieza y lavado de las botellas PET reciclado	109
3.8.4.3.	Geometría de las fibras tereftalato de polietileno (PET).....	110
3.8.5.	Diseño de mezclas de concreto patrón $f'_c = 140 \text{ kg/cm}^2$	112



3.8.5.1. Resistencia promedio requerida (f_{cr}).....	112
3.8.5.2. Selección del asentamiento según requerimiento	113
3.8.5.3. Volumen unitario de agua	113
3.8.5.4. Selección del contenido de aire.....	114
3.8.5.5. Selección de relación de a/c	114
3.8.5.6. Factor cemento.....	115
3.8.5.7. Cálculo del volumen absoluto.....	115
3.8.5.8. Contenido de agregado fino seco	116
3.8.5.9. Valores de diseño en seco	117
3.8.5.10. Corrección por humedad.....	117
3.8.5.11. Proporciones de la mezcla en peso	118
3.8.6. Proporción de los componentes de concreto con fibras PET reciclado	118
3.8.7. Elaboración de ladrillo de concreto con fibras PET reciclado	119
3.8.7.1. Diseño y fabricación de molde.....	119
3.8.7.2. Proceso de elaboración de ladrillos con fibras PET reciclado	120
3.8.7.2.1. Selección de materiales	120
3.8.7.2.2. Disponibilidad de Equipos.....	121
3.8.7.2.3. Dosificación y proporciones.....	122
3.8.7.2.4. Mezcla para elaborar el ladrillo de concreto	122
3.8.7.2.5. Moldeado de la unidad de albañilería.....	123
3.8.7.2.6. Fraguado de la unidad de albañilería.....	125
3.8.7.2.7. Curado del ladrillo de concreto patrón y con fibras PET ...	126
3.8.7.2.8. Almacenado	127
3.8.8. Ensayos efectuados en las unidades de albañilería	130
3.8.8.1. Ensayos del concreto fresco.....	130



3.8.8.1.1.	Ensayo de asentamiento de concreto	130
3.8.8.2.	Ensayos en unidades de albañilería.....	132
3.8.8.2.1.	Ensayo de variación dimensional	132
3.8.8.2.2.	Ensayo de alabeo	133
3.8.8.2.3.	Ensayo de absorción.....	135
3.8.8.2.4.	Ensayo de resistencia a compresión	136
3.8.8.2.5.	Ensayo de resistencia a flexión.....	139
3.8.9.	Ensayos realizados en prismas de albañilería	140
3.8.9.1.	Propiedades físicas del agregado para el mortero.....	140
3.8.9.1.1.	Análisis granulométrico de agregado fino.....	141
3.8.9.1.2.	Contenido de humedad	142
3.8.9.1.3.	Peso específico y absorción de los agregados finos	143
3.8.9.1.4.	Peso unitario suelto y compactado del agregado.....	144
3.8.9.2.	Diseño de mezcla en el mortero	146
3.8.9.3.	Ensayo del mortero en su estado endurecido	147
3.8.9.3.1.	Ensayo de resistencia a compresión de mortero.....	147
3.8.9.4.	Ensayos prismas de albañilería	150
3.8.9.4.1.	Ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería	150
3.8.9.4.2.	Ensayo de resistencia al corte diagonal de Muretes	152

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.9.	RESULTADOS DE CONCRETO EN SU ESTADO FRESCO.....	156
3.9.1.	Asentamiento de concreto fresco	156
3.10.	RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.....	157
3.10.1.	Variación Dimensional.....	158



3.10.2. Alabeo	160
3.10.3. Absorción	162
3.11. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	164
3.11.1. Resistencia a compresión de unidades de albañilería.....	164
3.11.2. Resistencia a flexión de unidades de albañilería.....	168
3.11.3. Resistencia a compresión de pilas de albañilería	171
3.11.4. Resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería	173
3.11.5. Resistencia a compresión de mortero.....	176
3.12. INTERPRETACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DE LADRILLO DE CONCRETO	178
3.12.1. Resistencia a compresión vs. Absorción	178
3.12.2. Resistencia a compresión vs. resistencia a flexión.....	179
3.13. CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	180
3.13.1. Asentamiento del concreto fresco	180
3.13.1.1. Prueba de normalidad.....	181
3.13.1.1.1. Hipótesis estadísticas.....	181
3.13.1.1.2. Regla de decisión.....	181
3.13.1.1.3. Interpretación y decisión	182
3.13.1.2. Prueba de relación entre variables	183
3.13.1.2.1. Hipótesis estadísticas.....	183
3.13.1.2.2. Regla de decisión.....	183
3.13.1.2.3. Interpretación y decisión	183
3.13.1.3. Contraste de Hipótesis	184
3.13.1.3.1. Hipótesis estadísticas.....	184
3.13.1.3.2. Estadístico de prueba ANOVA.....	184



3.13.2. Resistencia a compresión de unidades de albañilería.....	187
3.13.2.1. Prueba de normalidad.....	187
3.13.2.1.1. Hipótesis estadísticas.....	187
3.13.2.1.2. Regla de decisión.....	187
3.13.2.1.3. Interpretación y decisión	188
3.13.2.2. Prueba de relación entre variables	189
3.13.2.2.1. Hipótesis estadísticas.....	189
3.13.2.2.2. Regla de decisión.....	189
3.13.2.2.3. Interpretación y decisión	190
3.13.2.3. Contraste de hipótesis	190
3.13.2.3.1. Hipótesis estadísticas.....	191
3.13.2.3.2. Estadístico de prueba ANOVA.....	191
3.13.3. Resistencia a flexión de unidades de albañilería.....	193
3.13.3.1. Prueba de normalidad.....	194
3.13.3.1.1. Hipótesis estadísticas.....	194
3.13.3.1.2. Regla de decisión.....	194
3.13.3.1.3. Interpretación y decisión	195
3.13.3.2. Prueba de relación entre variables	196
3.13.3.2.1. Hipótesis estadísticas.....	196
3.13.3.2.2. Regla de decisión.....	196
3.13.3.2.3. Interpretación y decisión	196
3.13.3.3. Contraste de hipótesis	197
3.13.3.4. Hipótesis estadísticas	197
3.13.3.4.1. Estadístico de prueba ANOVA.....	197
3.13.4. Resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería	199



3.13.4.1. Prueba de normalidad.....	199
3.13.4.1.1. Hipótesis estadísticas.....	200
3.13.4.1.2. Regla de decisión.....	200
3.13.4.1.3. Interpretación y decisión	201
3.13.4.1.4. Prueba de relación entre variables	202
3.13.4.1.5. Hipótesis estadísticas.....	202
3.13.4.1.6. Regla de decisión.....	202
3.13.4.1.7. Interpretación y decisión	203
3.13.4.2. Contraste de hipótesis	203
3.13.4.2.1. Hipótesis estadísticas.....	203
3.13.4.2.2. Estadístico de prueba ANOVA.....	203
3.14. DISCUSIÓN	206
3.14.1. Asentamiento de concreto fresco	206
3.14.2. Resistencia a compresión de unidades de albañilería.....	207
3.14.3. Resistencia a flexión de unidades de albañilería.....	210
3.14.4. Resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería	212
3.15. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	214
3.15.1. Cumplimiento de objetivo específico N° 1	214
3.15.2. Cumplimiento de objetivo específico N° 2	215
3.15.3. Cumplimiento de objetivo específico N° 3	216
3.15.4. Cumplimiento de objetivo específico N° 4	217
3.15.5. Cumplimiento de objetivo general	219
V. CONCLUSIONES.....	220
VI. RECOMENDACIONES	222
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	223



ANEXOS..... 233

ÁREA: Construcciones.

TEMA: Ladrillos con fibras PET reciclado.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Construcción y gerencia.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 11 de enero de 2024.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de las variables.....	34
Tabla 2 Propiedades físicas-mecánicas de PET	45
Tabla 3 Propiedades químicas de PET.....	46
Tabla 4 Clasificación de unidad de albañilería	60
Tabla 5 Limitaciones de uso de unidad de albañilería	61
Tabla 6 Características de agregado fino	72
Tabla 7 Número de muestras en el asentamiento del concreto	78
Tabla 8 Número de muestras en la prueba variación dimensional y alabeo	79
Tabla 9 Número de muestras en la prueba absorción	80
Tabla 10 Número de muestras en la prueba resistencia a compresión.....	80
Tabla 11 Número de muestras en la prueba resistencia a flexión.....	81
Tabla 12 Número de muestras de pilas y unidades requeridas para el ensayo	81
Tabla 13 Número de muestras de muretes y unidades requeridas para el ensayo	82
Tabla 14 Tamaño unidades de concreto para esta investigación	83
Tabla 15 Ubicación de la instalación del laboratorio de la UNA - PUNO	83
Tabla 16 Ubicación de la instalación del laboratorio G&C Geotechnik	85
Tabla 17 Ubicación de la instalación del laboratorio GeoControl Total	86
Tabla 18 Tabla ANOVA	90
Tabla 19 Ubicación de la cantera de agregado fino	92
Tabla 20 Medida de masa de la muestra	93
Tabla 21 Granulometría	96
Tabla 22 Tamaño máximo de agregado.....	97
Tabla 23 Tamaño máximo nominal de agregado.....	98
Tabla 24 Cantidad de muestra para el ensayo.....	99
Tabla 25 Contenido de humedad	100
Tabla 26 Datos de la prueba gravedad específica y absorción	104
Tabla 27 Datos de la prueba peso unitario suelto	107
Tabla 28 Datos de la prueba peso unitario compactado	108
Tabla 29 Resistencia promedio	112
Tabla 30 Selección tipo de consistencia	113



Tabla 31	Cantidad de agua de diseño	113
Tabla 32	Aire atrapado.....	114
Tabla 33	Relación a/c de acuerdo a su resistencia f_{cr}	114
Tabla 34	Proporciones de mezcla de concreto con fibras PET.....	119
Tabla 35	Cantidad total de fibras PET para cada de tipo de ladrillo	119
Tabla 36	Granulometría de agregado fino	141
Tabla 37	Contenido de humedad	143
Tabla 38	Datos de la prueba gravedad específica y absorción	143
Tabla 39	Datos de la prueba peso unitario suelto	144
Tabla 40	Datos de la prueba peso unitario compactado	145
Tabla 41	Coefficiente de corrección de f_m por altura/espesor (esbeltez).	151
Tabla 42	Resultados de la prueba asentamiento en concreto fresco	156
Tabla 43	Resultados de variación dimensional-0% de fibras PET.....	158
Tabla 44	Resultados de variación dimensional-3% de fibras PET	158
Tabla 45	Resultados de variación dimensional-6% de fibras PET.....	158
Tabla 46	Resultados de variación dimensional-9% de fibras PET	159
Tabla 47	Resultados de alabeo con 0% de fibras PET.....	160
Tabla 48	Resultados de alabeo con 3% de fibras PET.....	160
Tabla 49	Resultados de alabeo con 6% de fibras PET.....	161
Tabla 50	Resultados de alabeo con 9% de fibras PET.....	161
Tabla 51	Resumen de resultados en prueba de absorción.....	162
Tabla 52	Resumen de resultados en prueba de resistencia a compresión.....	165
Tabla 53	Resumen de resultados en porcentaje (%) de la resistencia a compresión ..	165
Tabla 54	Resumen de resultados de resistencia a flexión.....	168
Tabla 55	Resumen de resultados en porcentaje (%) de la resistencia a flexión	169
Tabla 56	Resultados de resistencia en pilas-0% de fibras PET	171
Tabla 57	Resultados de resistencia en pilas-3% de fibras PET	171
Tabla 58	Resultados de resistencia en pilas-6% de fibras PET	171
Tabla 59	Resultados de resistencia en pilas-9% de fibras PET	172
Tabla 60	Resumen de resultados en resistencia a corte	173
Tabla 61	Resumen de resultados en porcentaje (%) de la resistencia a corte.....	174
Tabla 62	Dosificación del mortero 1:4	176
Tabla 63	Resistencia de cubos de mortero-7 días	176
Tabla 64	Resistencia de cubos de mortero-14 días	177



Tabla 65	Resistencia de cubos de mortero-28 días.....	177
Tabla 66	Relación de f_r/f_b	180
Tabla 67	Estadístico de la variable de asentamiento del concreto.....	181
Tabla 68	Prueba de normalidad de datos de asentamiento de concreto.....	181
Tabla 69	Correlación entre las fibras PET reciclado y asentamiento de concreto.....	183
Tabla 70	Análisis de la prueba ANOVA para el ensayo de asentamiento.....	184
Tabla 71	Resumen de la prueba ANOVA en asentamiento.....	185
Tabla 72	Estadístico de la variable de resistencia a compresión	187
Tabla 73	Prueba de normalidad de datos de resistencia a compresión	188
Tabla 74	Correlación entre las fibras PET reciclado y la resistencia a compresión ...	190
Tabla 75	Análisis de la prueba ANOVA - resistencia a compresión.....	191
Tabla 76	Resumen de la prueba ANOVA en resistencia a compresión.....	192
Tabla 77	Estadístico de la variable de resistencia a flexión.....	194
Tabla 78	Prueba de normalidad de datos de resistencia a flexión	194
Tabla 79	Correlación entre las fibras PET reciclado y la resistencia a flexión	196
Tabla 80	Análisis de la prueba ANOVA – ensayo resistencia a flexión	197
Tabla 81	Resumen de la prueba ANOVA en resistencia a flexión.....	198
Tabla 82	Estadístico de la variable de resistencia a corte	200
Tabla 83	Prueba de normalidad de datos de resistencia a corte.....	200
Tabla 84	Correlación entre las fibras PET reciclado y la resistencia a corte.....	202
Tabla 85	Análisis de la prueba ANOVA – ensayo resistencia a corte.....	204
Tabla 86	Resumen de la prueba ANOVA en resistencia a corte	204



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Composición estructural - PET	45
Figura 2 Proceso de la producción de la fibra PET	55
Figura 3 Aplicación de carga en la prueba por flexión.....	65
Figura 4 Esquema de la prueba de resistencia en pilas.....	66
Figura 5 Similitud de falla entre el ensayo y un evento sísmico	68
Figura 6 Modos de falla por tracción diagonal (Muretes)	69
Figura 7 Proceso mecánico de adherencia entre mortero-unidad.....	70
Figura 8 Obtención de las fibras PET reciclado	75
Figura 9 Ubicación de laboratorio de construcciones, suelos y materiales	84
Figura 10 Ubicación del laboratorio GyC Geotechnik en la ciudad de Puno.....	85
Figura 11 Ubicación del laboratorio GeoControl Total en la ciudad de Juliaca.....	86
Figura 12 Extracción del agregado fino.....	92
Figura 13 Análisis granulométrico de agregado fino	95
Figura 14 Curva granulométrica	96
Figura 15 Muestra húmeda en el horno	100
Figura 16 Instrumentos para el ensayo	101
Figura 17 Ensayo de cuarteo de la muestra	102
Figura 18 Proceso de la prueba peso específico y absorción.....	103
Figura 19 Colocado de la muestra en el molde metálico para Peso Unitario Suelto..	106
Figura 20 Compactado de la muestra junto al molde	107
Figura 21 Acopio y cúmulo de botellas recicladas	109
Figura 22 Lavado del cuerpo de las botellas PET recicladas seleccionadas	110
Figura 23 Geometrías de las fibras PET.	111
Figura 24 Corte y obtención de la fibra PET de 15x2mm.....	111
Figura 25 Materiales para la fabricación de los ladrillos de concreto	121
Figura 26 Equipos para la fabricación de ladrillos de concreto.....	121
Figura 27 Mezcla en seco de los materiales y el agregado.....	122
Figura 28 Mezcla del concreto con fibras PET reciclado.....	123
Figura 29 Bañado y puesta del molde metálico con desmoldante.....	124
Figura 30 Elaboración del ladrillo de concreto y fibras PET	124



Figura 31	Disposición final ladrillo de concreto	124
Figura 32	Ladrillo en su etapa de fragua después de las 24 hr	125
Figura 33	Curado del ladrillo de concreto con fibras PET	126
Figura 34	Diseño y obtención de datos de propiedades físicas-mecánicas	128
Figura 35	Esquema de producción de ladrillos con fibras PET reciclado	129
Figura 36	Prueba de cono de Abrams para la trabajabilidad	131
Figura 37	Prueba de variación dimensional.....	133
Figura 38	Prueba de alabeo.....	135
Figura 39	Prueba de resistencia en compresión de ladrillo de concreto	137
Figura 40	Curva granulométrica	142
Figura 41	Prueba de mortero endurecido de 50 mm.....	149
Figura 42	Prueba de resistencia a corte de murete cuadrado.....	154
Figura 43	Resultados de ensayo del asentamiento en el concreto	157
Figura 44	Comparación de los resultados en variación dimensional V (%).....	159
Figura 45	Variación en los resultados en alabeo	161
Figura 46	Resultados de absorción con contenido de fibras PET reciclado.....	163
Figura 47	Variación de resistencia a compresión	166
Figura 48	Modos de falla de unidades con fibras PET reciclado	167
Figura 49	Variación de resistencia a flexión	169
Figura 50	Modos de falla de unidades con fibras PET reciclado	170
Figura 51	Resultados de resistencia axial en Pilas	172
Figura 52	Resultados de resistencia a corte	174
Figura 53	Curva esfuerzo-deformación unitaria en muretes	175
Figura 54	Resistencia de mortero endurecido con 1:4.....	177
Figura 55	Resistencia a compresión vs. Absorción	178
Figura 56	Resistencia a compresión vs. resistencia a flexión.....	179
Figura 57	Cuadro de cajas en asentamiento de concreto	186
Figura 58	Cuadro de cajas en resistencia a compresión	193
Figura 59	Cuadro de cajas en resistencia a flexión.....	199
Figura 60	Cuadro de cajas en resistencia a corte	205
Figura 61	Comparación de porcentaje en asentamiento	207
Figura 62	Comparación de porcentaje en resistencia a compresión.....	208
Figura 63	Comparación de porcentaje en resistencia a flexión	211
Figura 64	Comparación de porcentaje en resistencia a corte	213



Figura 65	Verificación en asentamiento de concreto.....	214
Figura 66	Verificación en resistencia a compresión.....	216
Figura 67	Verificación en resistencia a flexión	217
Figura 68	Verificación en resistencia a corte.....	218



ACRÓNIMOS

σ :	Desviación estándar
ACI:	American Concrete Institute
ANOVA:	Prueba paramétrica de análisis de varianza
ASTM:	American Society of Testing Materials
a/c:	Relación agua cemento
C.V.:	Coefficiente de variación
f'_b :	Resistencia característica a compresión de la unidad
f'_r :	Esfuerzo a tracción por flexión
f'_m :	Resistencia característica a compresión en pilas de albañilería
f_m :	Resistencia a compresión en morteros de 50 mm de lado
H_0 :	Hipótesis nula
H_1 :	Hipótesis alterna
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
M.F.:	Modulo fineza
MINAM:	Ministerio del Ambiente
NTP:	Norma Técnica Peruana
PET:	Tereftalato de polietileno
P.U.S.:	Peso unitario suelto
P.U.C.:	Peso unitario compactado
RNE:	Reglamento Nacional de Edificaciones
SSS:	Saturado pero Superficialmente Seco
T.M.N.:	Tamaño máximo nominal
v'_m :	Resistencia a corte en muretes
SPSS:	Statistical Package for the Social Sciences (programa estadístico)



RESUMEN

En las últimas décadas, con los avances tecnológicos en la industria, ha acaecido una sobreproducción de plásticos y desechos, una de ellas envases de bebidas de tereftalato de polietileno (PET), lo cual genera problemas ambientales luego de su post consumo. En consecuencia, este trabajo de investigación se enfocó en evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en las propiedades física mecánicas de los ladrillos de concretos fabricados en la ciudad de Puno. La investigación es pura o básica con nivel explicativo, el muestreo es no probabilístico de tipo intencional; para examinar la influencia de las fibras PET reciclado al adicionar el 3%, 6% y 9% en base al peso de cemento, se ha efectuado ensayos de propiedades físicas y mecánicas en las unidades. Los resultados señalan con un 3% de fibras PET supera en un 2.23% de resistencia a compresión frente al valor de control de 136.22 kg/cm^2 , pero disminuyen en un 5.31% y 12.17% con un 6% y 9% de fibras PET. Además, al adicionar el 3% de fibras PET la resistencia a flexión presenta una mínima influencia con relación al valor de control de 23.95 kg/cm^2 , pero disminuye en un 17.97% y 25.03% con un 6% y 9% de fibras PET. Sin embargo, sufrió disminuciones en 15.59%, 17.46% y 31.42% en la resistencia a corte, al adicionar las fibras PET reciclado en 3%, 6% y 9%, respecto a la prueba patrón. Se puede concluir que las fibras PET influyen significativamente en el ladrillo de concreto.

Palabras Clave: Ladrillo de concreto, Resistencia a compresión, Resistencia a corte, Resistencia a flexión y Tereftalato de polietileno.



ABSTRACT

In recent decades, with technological advances in industry, there has been an overproduction of plastics and waste, one of them being polyethylene terephthalate (PET) beverage containers, which generates environmental problems after post-consumption. Consequently, this research work focused on evaluating the influence of recycled PET fibers on the physical-mechanical properties of concrete bricks manufactured in the city of Puno. The research is pure or basic with an explanatory level, the sampling is non-probabilistic of intentional type; to examine the influence of recycled PET fibers when adding 3%, 6% and 9% based on the weight of cement, physical and mechanical properties tests have been carried out in the units. The results show a 2.23% increase in compressive strength with 3% PET fibers compared to the control value of 136.22 kg/cm², but a 5.31% and 12.17% decrease with 6% and 9% PET fibers. In addition, by adding 3% PET fibers, the flexural strength shows a minimal influence in relation to the control value of 23.95 kg/cm², but decreases by 17.97% and 25.03% with 6% and 9% PET fibers. However, it suffered decreases of 15.59%, 17.46% and 31.42% in shear strength, with the addition of 3%, 6% and 9% of recycled PET fibers, with respect to the standard test. It can be concluded that PET fibers have a significant influence on the concrete brick.

Keywords: Concrete brick, Compressive strength, Shear strength, Flexural strength and Polyethylene terephthalate.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el área de la construcción se encuentra entre los diversos sectores con potencial contaminante, por lo cual es imperativo que este ámbito incremente su conciencia ambiental mediante el desarrollo de tecnologías que sean tanto sostenibles como eficientes. Estas innovaciones deben apuntar a disminuir los impactos medioambientales adversos y asegurar la viabilidad a largo plazo, incluyendo la reutilización de materiales para prolongar su vida útil. Además, la gestión de residuos juega un papel crucial, ya que los desechos, en especial aquellos de degradación lenta como los plásticos, pueden generar considerables repercusiones en el entorno. Estos materiales descartados tienden a acumularse en vertederos, depósitos de basura o instalaciones de eliminación de desechos, y con el tiempo contribuyen a la formación de lixiviados, representando una amenaza al contaminar las aguas subterráneas (Infante y Valderrama, 2019).

De acuerdo a Sánchez, J. (2023) indica que la humanidad a lo largo de los años ha desarrollado una creciente dependencia de productos industriales de un solo uso y fabricados a gran escala, muchos de los cuales están hechos de compuestos químicos como las resinas plásticas. Basta con mirar a nuestro alrededor para confirmar esta realidad. Estos productos se han integrado en la vida diaria de las personas en todo el mundo y son elementos esenciales para llevar a cabo sus actividades diarias. Entre estos productos se incluyen bolsas de plástico de diferentes tipos para transportar pertenencias, bebidas y alimentos; y otros como muebles; dispositivos eléctricos; teléfonos, prendas de vestir, utensilios de cocina; equipos deportivos, herramientas de limpieza, instrumentos



médicos, juguetes, calzado, envases y muchos otros. Prácticamente nada escapa a la utilización de polímeros en su fabricación.

Según Quiñones, L. (2018) menciona que el planeta se enfrenta a una realidad en la que se utilizan cinco billones de plástico en un año y se compran un millón de botellas de plástico (PET) por minuto a nivel mundial. De esta cantidad, alrededor del 70% o incluso más terminan en el medio ambiente, y alarmantemente más de 13 millones de toneladas de plástico llegan al océano anualmente.

La Organización Internacional no Gubernamental Greenpeace (2023) señala que en el 2015 la producción alcanzó los 380 millones de toneladas de plástico, y actualmente cada año se producen 500 mil millones de desechos. De los 8,300 millones de ton/m³ de producción, solo el 9% han sido reciclados y el 91% se han convertido en desechos plásticos. Por otra parte, la fundación Ellen MacArthur Foundation (2017) señala que para el 2050 se generará mayor cantidad de plásticos que peces en el océano, de los cuales un 99% de aves habrán consumido plástico y más de 600 especies de la vida marina serán perjudicados, el consumo y enredamiento de basura marina plástica afectarán al 15% de las especies, por lo que la extinción será inevitable.

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2023) sostiene que el Perú es uno de los grandes consumidores de bebidas embotelladas PET, cada habitante hace uso de treinta kilos de plástico en un año promedio y se generan 886 toneladas de desechos plásticos diariamente en Lima y Callao, lo que abarca el 46% de los desechos plásticos del país.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022) la Región Puno generó 422.2 toneladas al día y 121,973.4 toneladas de restos sólidos solo en el año 2021. De estas cantidades, 28 municipalidades practican el reciclaje, mientras que el resto destina sus residuos al relleno sanitario, botaderos o a la incineración. La Municipalidad



Provincial de Puno (2023) mediante su Gerencia de Gestión Integral de Residuos Sólidos, reportó que durante los primeros 6 meses, la ciudad de Puno generó 2.49 toneladas al día, datos específicos correspondientes a las vías urbanas.

Sin embargo, un estudio sobre la caracterización de desechos sólidos llevado a cabo por la Municipalidad Provincial de Puno (2016) a través de su oficina de Gestión de residuos sólidos reveló que la producción total de residuos sólidos provenientes de mercados, barrido de calles, instituciones, comercios y hogares ascendió a 106.09 toneladas por día. De este total, un 5.03% corresponde al plástico PET, de los cuales solo un 28% es reciclado. El resto de los elementos es descartado en zonas de acumulación de basura, la cual contribuye al deterioro del medio ambiente.

En Colombia, Marco et al. (2013) determinaron que el Municipio de Socorro enfrenta críticas por la gestión deficiente de residuos sólidos, especialmente de plásticos, que contaminan las fuentes hídricas. La investigación elaboró ladrillos con adición de PET reciclado, utilizando residuos plásticos de núcleos rurales. Se caracterizaron los materiales, se efectuó dosificaciones y elaboraron ladrillos con la finalidad de evaluar resistencia y absorción. En donde, la adición de PET mejoró la manejabilidad y absorción, se observaron resultados mínimamente favorables en resistencia en comparación con el patrón, indicando más desafíos en la implementación de este material reciclado en la construcción.

En la India, Kumar y Kumar (2018) aprovecharon los materiales de desecho, específicamente las botellas PET, en la construcción de pavimentos de concreto para conservar recursos naturales, ahorrar energía y reducir residuos sólidos. Llevaron a cabo una investigación experimental para analizar las formas geométricas de fibras PET en las características del concreto, con un 0,5% de fibras agregadas por volumen de concreto.



Sugieren que las fibras muestran mejoras significativas en los resultados cuando se incorporan en la mezcla de concreto.

En Ancash, Arrascue y Cano (2017) se centró en la búsqueda de una alternativa sustentable en la construcción de viviendas sociales, aprovechando las propiedades positivas de los materiales como botellas de plástico reciclado. Analizaron las cualidades físico-mecánicas de las unidades con PET como sustituto del tradicional ladrillo de cemento. El estudio aborda desde el marco normativo que rige los ladrillos en la construcción, se realiza una serie de ensayos técnicos y caracterizaciones para evaluar la viabilidad constructiva del nuevo material.

En Cajamarca, Echevarría (2017) abordó el problema de los desechos sólidos, especialmente envases de bebidas PET, mediante el diseño y la producción de elementos constructivos ecológicos. Se enfocó en reciclar el plástico PET para el uso como materia prima en la construcción, presentando ventajas como resistencia y durabilidad. La tecnología constructiva que propuso es de criterio sostenible, incluyendo bajo impacto ambiental cumpliendo requisitos técnicos de calidad según la normativa E.070 - Albañilería. Este enfoque fusiona con la gestión de residuos con prácticas constructivas sostenibles para ofrecer una solución integral.

En Puno, Quenta (2019) se centró en cómo abordar la creciente acumulación de desechos plásticos, especialmente botellas de PET, proponiendo su reciclaje como componente en el concreto. Dada que la gestión inadecuada de estos desechos genera problemas ambientales significativos. Destacó que el PET es completamente reciclable, que en el área de construcciones se puede usar como aditivo en el concreto teniendo mejoras en sus propiedades.



En la investigación se abordó la incidencia de las fibras PET reciclado en las propiedades física mecánicas de los ladrillos de concretos en conformidad con la NTP E.070, y la gestión de residuos plásticos, proporcionando una solución sostenible y eficiente en la construcción.

1.1.1. Problema general

¿Cómo influye las fibras PET reciclado en las propiedades físicas mecánicas de los ladrillos de concretos fabricados en la ciudad de Puno?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera influye las fibras PET en el asentamiento de concreto fresco en la elaboración de ladrillos de concreto?
- ¿De qué manera influye las fibras PET reciclado en la resistencia a compresión de los ladrillos de concreto?
- ¿De qué manera influye las fibras PET reciclado en la resistencia a flexión de los ladrillos de concreto?
- ¿De qué manera influye las fibras PET reciclado en la resistencia a corte de los prismas de albañilería?

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

Las fibras PET reciclado influyen significativamente en las propiedades físicas mecánicas de los ladrillos de concreto, además cumple con los lineamientos exigidos de la norma E.070 – Albañilería.



1.2.2. Hipótesis específicas

- Las fibras PET reciclado influyen significativamente en el asentamiento de concreto fresco en la elaboración de ladrillos de concreto.
- Las fibras PET reciclado influyen significativamente en la resistencia a compresión de los ladrillos de concreto.
- Las fibras PET reciclado influyen significativamente en la resistencia a flexión de los ladrillos de concreto.
- Las fibras PET reciclado influyen significativamente en la resistencia a corte de los prismas de albañilería.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se centra en brindar una segunda vida al tereftalato de polietileno (PET) al incorporarlo como parte de la composición de concreto en la producción de ladrillos. En donde, los envases de bebidas de tereftalato de polietileno (PET), después de cumplir su función inicial se convierten en residuos sólidos que se encuentran en mercados, colegios, comercios, calles y hogares, lo cual genera una amenaza ambiental en todo el mundo. Por ende, el proceso de reciclaje de los envases de bebidas (PET) es una solución viable para utilizar en aplicaciones de ingeniería civil, una de ellas es incorporar como fibras en el concreto lo que evita el contacto directo con el medio ambiente. Se han realizado investigaciones con referente al impacto de las fibras PET en el comportamiento del concreto. Los investigadores Khalid et al. (2018) señalan que para elevar las propiedades del concreto se deben realizar numerosos estudios sobre el concreto con fibras. Afirmando que estas fibras que se agregan a la mezcla de concreto tienen un mejor comportamiento que el concreto normal debido al efecto de costura que las fibras tienen en las grietas. Como elemento constructivo sostenible, se identificó que



el PET reciclado en forma de fibras es una solución viable y contribuye a la oferta de alternativas sostenibles en el ámbito constructivo, ofreciendo una respuesta ante el desafío actual de aprovechar materiales reciclados de manera efectiva (Marco et al., 2013; Kumar y Kumar, 2018; Arrascue y Cano, 2017; Quenta, 2019).

Echevarría (2017) investigó el comportamiento ladrillos de concreto que contenía las hojuelas PET, lo cual se muestra como una opción viable para su implementación en la industria de la construcción. De acuerdo con los motivos expuestos, se evidencian fundamentos para realizar la investigación por el impacto positivo, eficiencia y sostenibilidad de las fibras PET en los ladrillos de concreto; considerando el hecho que representan un beneficio directo para la población de Puno, para los profesionales y técnicos involucrados en el área de la construcción.

En la ciudad de Puno, se presenta un conocimiento limitado en cuanto al uso de elementos constructivos renovables. Esta investigación se enfoca en brindar una segunda vida útil al PET, el poliéster más empleado de bebidas embotelladas, que una vez utilizada se convierten en residuos de los mercados, colegios, comercio, las calles y hogares; sin embargo, solo el 28% del 5.03% del PET desechado se recicla. Como resultado de la búsqueda de nuevos elementos constructivos sostenibles con el ambiente, se determinó que el PET reciclado en forma de fibras es uno de ellos; para dar una de las muchas soluciones que hay en la actualidad, para aportar con nuevos elementos constructivos.

El ladrillo de concreto como unidad de albañilería adicionadas con fibras PET reciclado, es viable para la aplicación en toda área de la construcción; comenzando con el proceso reciclado mecánico, lavado, secado y el corte de las fibras PET. El proceso de obtención de los ladrillos sigue las directrices establecidas en la NTP E.070 en un ladrillo de clase IV con resistencia mínima de 130 kg/cm^2 . Las conclusiones de la presente



investigación benefician a la población puneña, profesionales y técnicos de la construcción a producir ladrillos de concreto eficientes y eco amigables con el ambiente.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en las propiedades física mecánicas de los ladrillos de concretos fabricados en la ciudad de Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de las fibras PET en el asentamiento de concreto fresco en la elaboración de ladrillos de concreto.
- Evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en la resistencia a compresión de los ladrillos de concreto.
- Evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en la resistencia a flexión de los ladrillos de concreto.
- Evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en la resistencia a corte de los prismas de albañilería.

1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En la Tabla 1 se presenta detalladamente al operacionalizar las variables, en donde se dividió en variable independiente y dependiente. Para operacionalizar la variable “fibras PET reciclado” es posible medir por medio de cantidad de porcentaje de incorporación en la mezcla de concreto. Así mismo, la variable dependiente se cuenta con varios parámetros como: resistencia a compresión, flexión y corte.

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicador	Índice o Unid. Medida
Fibras PET reciclado (Variable Independiente)	Dosificación en % Fibras PET reciclado	% Fibra PET reciclado	%
Propiedades físicas mecánicas de los ladrillos de concreto (Variable dependiente)	Asentamiento (Concreto Fresco)	Ensayo normalizado para asentamiento de concreto “Cono de Abrams”	mm
	Resistencia a compresión	Resistencia a compresión de ladrillos de concreto.	kg/cm ²
	Resistencia a flexión	Resistencia a flexión en ladrillos de concreto.	kg/cm ²
	Resistencia a corte	Resistencia a corte de los prismas de albañilería.	kg/cm ²

Nota. Se detalla los indicadores para cada variable. Fuente: Equipo de trabajo.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Di Marco et al. (2013) realizaron una investigación que tuvo como objetivo la de “evaluar las propiedades de resistencia y absorción del ladrillo macizo tipo tolete adicionándole fibras plásticas reciclables e industriales (polietileno tereftalato-PET), las cuales vienen a reemplazar al material granular”, la investigación es de enfoque cuantitativa, para elaborar el ladrillo reforzado se diseñó una muestra patrón y las adiciones porcentuales de 20%, 25%, 30%, 35% y 40% de PET en forma de hojuelas, en donde se realizaron ensayos de absorción y flexo compresión utilizando 150 ladrillos macizos. Los resultados concluyen que las unidades fabricadas con la inclusión de fibras PET reciclado, la absorción cumple en todas las dosificaciones preestablecidas con un porcentaje promedio menor a 12% señaladas en la norma NTC 2017; sin embargo, para el análisis de propiedades de resistencia tuvieron efectos negativos respecto al patrón.

Cabarcas y Colpas (2020) su investigación tuvo como objetivo “analizar las propiedades mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido con base a un diseño ecológico de 3000 psi con fibras de botellas PET, que cumpla con los requisitos de la norma NSR-10”, su estudio es de enfoque cuantitativa, en la cual efectuaron la mezcla de un concreto de acuerdo a las exigencias de la norma ACI 211.1, en donde se adicionó fibras de marcas Toxement. Además, con la inclusión de 0.2 % y 0.35 % de plástico PET, para someter a ensayo de resistencia a flexión



y compresión. Los autores concluyen que con la incorporación de 0.2% de fibras PET se produce una pérdida de 9.89% en resistencia a compresión en comparación a la muestra de control; no obstante, con 0.35% de fibra PET solo disminuye en 6.5%. En cambio, la resistencia a flexión se mantuvo, lo cual recomiendan para uso de control de fisuras.

Khalid et al. (2018) el artículo tiene como objetivo “determinar las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y la absorción de agua del ladrillo compuesto que contiene residuos de agregado de concreto reciclado (RCA) y tereftalato de polietileno (PET)”, la investigación es de enfoque cuantitativa, para elaborar el ladrillo de concreto se basó en la dosificación de arena natural y reemplazo de partículas de concreto reciclado (RCA) en 25%, 50% y 75%, con la adición de 0.5%, 1% y 1.5% de PET en base al peso arena natural. Los resultados indican que la proporción compuesta de RCA de 0.5 y 25% PET se presenta la reducción en la resistencia a compresión igual a 8.7 MPa, pero el resto superan la resistencia. En conclusión, la proporción compuesta de 75% de RCA y 0.5% de PET se desempeña mejor sobre la resistencia a compresión igual a 24.9 MPa.

Kumar y Kumar (2018) el objetivo de su artículo es “aprovechar el material de desecho como las botellas de PET en el pavimento de concreto para ahorrar recursos naturales, ahorrar energía y reducir los desechos sólidos”, la investigación presenta un diseño experimental, en la cual examinó el efecto en cinco formas geométricas de fibras PET, al añadir el 0.5% de fibras en base al volumen de concreto, para efectuar múltiples ensayos físicos y mecánicos. Los autores concluyen que el asentamiento reduce y se vuelve duro. Además, la



resistencia a compresión se reduce al incrementar el área superficial de la fibra, pero incrementa al mejorar su anclaje.

Lima et al. (2019) el objetivo de su estudio es “analizar las propiedades físicas y mecánicas de bloques de hormigón prensado sin función estructural con la incorporación de PET reciclado en sustitución de árido fino”, la investigación tiene un enfoque cuantitativo, para la producción de bloques de concreto se efectuó en reemplazo de agregado fino en 15%, 30% y 45% de PET triturado, en donde evaluaron sus propiedades físicas y mecánicas en bloques. Los autores concluyen que con la sustitución de 15% de fibras PET, la resistencia a compresión eleva en un 2.33% en comparación de la prueba patrón.

Meza et al. (2021) realizaron una investigación tuvo por objetivo de “evaluar el concreto reforzado con fibra de PET reciclado con varias dosis de fibra y relación de aspecto”, la investigación presenta un diseño experimental, el cual se efectuaron 120 muestras para el ensayo de trabajabilidad, compresión, flexión y tracción. Los autores concluyen que la inclusión de fibras PET genera escaso efecto con respecto al ensayo de compresión y flexión, pero la proporción óptima en el concreto es la dosis mayor cantidad de fibras y la relación de aspecto.

Poonyakan et al. (2018) en su artículo efectuaron la investigación con cuatro diferentes desechos de plásticos como el polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), el polipropileno (PP) y PET, el cual adicionaron en porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40% y 50% con respecto proporción volumétrica de cemento, para realizar diferentes ensayos físicos y mecánicas en el concreto. Los autores concluyen que disminuye la trabajabilidad en todos los casos, excepto con 30% de PET que fue lo contrario, deduciendo que



es por la aglomeración de las fibras. La resistencia a compresión no mejoró al añadir del 5 al 50% en volumen.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Abal y Medina (2022) en su investigación el objetivo fue “explicar la influencia de los aditivos químicos y el polietileno tereftalato triturado en la fabricación de ladrillos artesanales de cemento”, esta investigación es de nivel experimental, para la elaboración de ladrillo artesanal realizó la incorporación de polietileno tereftalato triturado en 20%, 40% y 55%, teniendo así diferentes tipos de ladrillos para evaluar los ensayos de las propiedades físicas-mecánicas. Los resultados demuestran que el valor de resistencia en compresión con 20%, 40% y 55% de PET son 47.67 kg/cm^2 , 39.00 kg/cm^2 y 31.33 kg/cm^2 respectivamente. Llegando a concluir que su resistencia máxima con la adición de PET triturado es el de 20%; pero disminuye en 10.62% de resistencia frente a la prueba patrón.

Aliaga (2017) el objetivo de su estudio es “analizar en qué medida la evaluación del ladrillo de concreto con PET, permitirá la producción como material compuesto en la construcción”, se trata de una investigación de tipo experimental, para crear el ladrillo de concreto se realizó sin inclusión y con adición de 0.25, 0.375, 0.5, 0.625 y 0.75 de hojuelas PET que fue dosificado en pesos húmedos, con una dimensión promedio de 3 mm; en donde se elaboró 100 ladrillos de concreto combinado (LCC) y 100 unidades de ladrillo King Kong de arcilla maciza para las pruebas de laboratorio. Los resultados fueron clasificados como ladrillos de Tipo I por la Norma E 0.70, con variación dimensional a -2.0%, -0.1% y -0.3%; alabeo igual 3 mm. Además, la resistencia de la unidad de 65 kg/cm^2 . Por otro lado, la resistencia en pilas de unidades de concreto resultó 59



kg/cm² y su v'_m en muretes igual a 7.81 kg/cm². En cambio, la resistencia en pilas de unidades de arcilla fue de 41 kg/cm² y la resistencia a corte es 4.69 kg/cm², llegando a conclusión que las unidades de concreto y PET, presentan un esfuerzo axial y corte puro de prismas de albañilería superior al de ladrillo de arcilla.

Arrascue y Cano (2017) en su investigación se enfocó en “fabricar ladrillos livianos adicionando materiales plásticos reciclados (PET)”, esta investigación es de tipo aplicativo, para elaborar el ladrillo vibrocompactado de cemento de Tipo I se basó en determinar la dosificación óptima, posteriormente los autores adicionaron en 100%, 55%, 45% y 35% de PET en base del material aglutinante, teniendo así diferentes tipos de ladrillos para examinar las propiedades físico-mecánicas a una edad de 28 días. En conclusión, su resistencia a compresión disminuyeron a 40kg/cm², 45kg/cm² y 35 kg/cm² al adicionar el 35%, 45% y 100% de PET frente a la patrón de 68 kg/cm², pero con el 55% de PET, el valor fue de 57 kg/cm², lo que satisface con las exigencias de la norma E.070.

Benavidez (2022) en su trabajo de investigación tuvo como objetivo la de “analizar las características el ladrillo sólido de concreto con adición de cal hidratada y plástico PET reciclado, en comparación con el ladrillo convencional, en base a la norma RNE-E.070 del MVCS”, la investigación es de nivel descriptivo, el procedimiento que definió para elaborar el ladrillo sólido de concreto se basó inicialmente en la elección del diseño óptimo de mezcla de concreto con la resistencia a compresión igual a 175 kg/cm², con el reemplazo de cal en 3%, 6% y 9% al peso de cemento y la otra con el reemplazó en un 3%, 6% y 9% de PET al volumen de agregado, que se usó de forma triturada. De acuerdo a los resultados para cada dosificación con cal y PET, el autor determinó que es factible el uso de la combinación de 9% con cal y 9% de PET que son muy



favorables para fabricar el ladrillo de concreto; de cual se elaboró 63 ladrillos para evaluar sus propiedades. Se concluye que los ladrillos al sustituir con 9% de cal y la otra de 9% con PET se tiene la $f'_b = 188.75 \text{ kg/cm}^2$. Así mismo, la resistencia a compresión en pilas se obtuvo 180.32 kg/cm^2 y en muretes un valor de 58.79 kg/cm^2 frente a lo señalado en la Norma E.0.70.

Bocanegra y Vallejos (2021) su investigación tuvo como objetivo “proponer la incorporación de material PET en la resistencia a la compresión del ladrillo de concreto tipo P, Moyobamba 2021”, su investigación es aplicada, para la crear el ladrillo de concreto añadió en 0.5%, 1% y 1.5% escamas de fibras PET; el investigador elaboró 48 ladrillos de concreto para analizar las propiedades mecánicas. Los resultados señalan que la resistencia en compresión de la prueba de control es de 181.56 kg/cm^2 . Así mismo, con adiciones de 0.5%, 1% y 1.5% PET los valores de la resistencia son 187.73 kg/cm^2 , 183.82 kg/cm^2 y 170.45 kg/cm^2 para cada dosificación. Se concluye que al añadir cierto porcentaje de fibras PET eleva su resistencia a compresión.

Echevarría (2017) en su investigación el objetivo fue “determinar las propiedades físico mecánicas de ladrillo de concreto con plástico PET reciclado que considera la norma técnica E.070 – Albañilería”, esta investigación es de nivel explicativo, para fabricar el ladrillo de concreto con el uso de la vibradora se basó en determinar el diseño óptimo de mezcla de concreto para la resistencia de ladrillo de clase IV, posteriormente el autor lo reemplazó el agregado grueso en 3%, 6% y 9% de hojuelas PET, teniendo así varios muestras de ladrillos para evaluar las pruebas de las propiedades física-mecánicas a los 28 días de edad. Los resultados de los valores de f'_b con 3%, 6% y 9% de PET disminuye en 34.88 kg/cm^2 , 43.16 kg/cm^2 , 51.50 kg/cm^2 en comparación al resultado de la prueba de



control de 161.96 kg/cm^2 . Así mismo, la resistencia a corte disminuyó en 3.64 kg/cm^2 , 3.30 kg/cm^2 y 6.51 kg/cm^2 frente al prisma de murete de patrón equivalente a 16.47 kg/cm^2 . Concluyendo que los ladrillos de concreto vibrado en porcentajes de 3%, 6% y 9% de PET reciclado no mejoran sus propiedades mecánicas.

Flores (2018) su investigación tiene como objetivo “elaborar elementos prefabricados de concreto utilizando material reciclado de Plástico PET para el uso en edificaciones”, la investigación es de enfoque cuantitativo, para elaborar ladrillos de concreto se basó en dosificaciones de concreto patrón empleando la relación a/c igual a 0.55, 0.60, y 0.65; en donde se reemplazó parcialmente a cada patrón el 30%, 20% y 10% de PET reciclado con respecto al peso de confitillo o agregado grueso para las pruebas de laboratorio. La investigación concluye que la f'_b con una relación a/c = 0.65 y el remplazo de 10%, 20% y 30% de PET se tuvo como resultado 136.86 kg/cm^2 , 94.79 kg/cm^2 , 79.17 kg/cm^2 y 57.41 kg/cm^2 respectivamente, estos datos presentan una disminución de 31%, 42% y 58 % con respecto a la prueba de control a la edad de 28 días.

Flores (2022) sostiene en su investigación que se enfocó a “determinar la influencia física y mecánica de la adición de fibras de polietileno tereftalato (PET) para la fabricación de ladrillos de concreto”, su estudio es de tipo experimental, para crear el ladrillo de concreto se basó en la realización de mezcla de concreto con resistencia especificada de 190 kg/cm^2 , además se determinó proporciones de adición en 10%, 6% y 8% de fibras PET; el investigador elaboró 24 ladrillos de concreto y 12 pilas para realizar ensayos. Se concluye que la resistencia a compresión se redujo en 6.24 kg/cm^2 , 10.45 kg/cm^2 y 16.88 kg/cm^2 al añadir en



porcentaje de 6%, 8% y 10% de fibras PET frente a la muestra patrón de 182.06 kg/cm², pero las unidades satisfacen las exigencias de ladrillo de tipo IV.

Gonzales (2016) llevó a cabo su investigación con el objetivo de “comparar las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de PET al 0%, 5%, 10% y 15%”, la investigación es de nivel aplicada, para elaborar el ladrillo de concreto se incorporó 0%, 5%, 10% y 15% de PET reciclado en proporción de volumen para producir ladrillos de clase V bajo las directrices de la norma E.070 - Albañilería, el investigador elaboró 248 ladrillos de concreto para realizar ensayos preestablecidos por conveniencia. Los resultados señalan que la f_b sin PET es igual a 181.48 kg/cm² que lo clasifica un ladrillo de tipo V bajo las exigencias de la norma E.070, en cambio en los ladrillos con incorporaciones de 5%, 10% y 15% de PET se redujeron las resistencias en 7.75 kg/cm², 16.86 kg/cm² y 36.87 kg/cm², lo cual se clasificaron como ladrillos de clase IV, lo que significa que la inclusión de PET a la unidad reduce la resistencia a compresión. Por otro lado, la resistencia a flexión con incorporación de 0% PET es de 114.84 kg/cm²; los ladrillos con inserción de 5%, 10% y 15% de PET se hallaron una resistencia a flexión de 124.88 kg/cm², 110.65 kg/cm² y 91.07 kg/cm² respectivamente. El autor concluye que mejora únicamente las propiedades físicas de las unidades con inclusión de PET.

Mas (2018) su estudio tuvo como objetivo “evaluar las aplicaciones del concreto incorporando tereftalato de polietileno”, la investigación es de nivel experimental, en la cual efectuó el diseño de mezcla con a/c de 0.60 y 0.70, e fibras PET, en donde sustituyó en un 5%, 7% y 10% de peso de agregado fino con PET. Los resultados demuestran que su valor de resistencia en compresión en la probeta es igual a 330.57 kg/cm². En cambio, con las adiciones de 5%, 7% y 10%



de PET sufrió disminuciones en 25.6%, 33.5% y 33.8% respectivamente, frente a la prueba de control. En conclusión, el autor sostiene que al reemplazar PET, la resistencia en compresión del concreto endurecido disminuye.

Montero y Salinas (2020) tuvo como objetivo “evaluar el efecto de la fibra de plástico reciclado PET en la resistencia a la compresión y absorción del ladrillo de concreto”, su investigación es experimental con un nivel explicativo, para crear el ladrillo de concreto efectuó el diseño de mezcla con una resistencia especificada de 175 kg/cm^2 , a la cual adicionó en 5%, 10% y 15% triturado de fibras PET; el investigador elaboró 64 unidades de concreto. Los resultados demuestran que la resistencia en compresión de prueba de control es 144.02 kg/cm^2 , pero con adiciones de 5%, 10% y 15% PET se determinaron las resistencias en 155.11 kg/cm^2 , 161.76 kg/cm^2 y 168.38 kg/cm^2 respectivamente. Los autores concluyeron que la adición de fibras PET incrementan la resistencia en compresión.

Sedano (2022) su investigación se enfocó en “determinar el resultado de la incorporación de polietileno tereftalato y sus efectos en las propiedades físicas-mecánicas en las unidades de albañilería de concreto”, su investigación es aplicada con nivel descriptivo, para elaborar la unidad de concreto reemplazó en 3%, 5% y 10% de PET en base de cemento, el investigador elaboró 40 unidades de concreto para efectuar las pruebas. Los resultados señalan que la absorción es menor de 12%, pero la f'_b de la muestra de control es de 178.71 kg/cm^2 , en cambio con incorporaciones de 3%, 5% y 10% de PET se hallaron resistencias de 129.81 kg/cm^2 , 116.04 kg/cm^2 y 85.98 kg/cm^2 respectivamente. El autor concluye que con la incorporación de PET muestran impactos positivos y demuestra que satisface con las exigencias de la norma E.070 - Albañilería.



2.1.3. Antecedentes locales

Quenta (2019) realizó una investigación teniendo como objetivo “evaluar el efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal”, su investigación es de enfoque cuantitativo, en donde elaboró las probetas con una resistencia especificada de 210 kg/cm^2 con la incorporación de 2%, 4%, 6% y 8% de fibras de botellas PET en función al peso de material cementante, teniendo así diferentes tipos de dosificaciones para evaluar diferentes pruebas de las propiedades del concreto a los 28 días de edad. El investigador concluye que para la relación de $a/c = 0.5$, la consistencia del concreto al incorporar el 4% de fibras PET existe una buena trabajabilidad. Así mismo, con un 2% de fibras PET la resistencia a compresión superó en un 2.6% a la prueba patrón; en cambio al adicionar el 4% de fibras PET se redujo en un 6.3%, pero cumple con la resistencia requerida.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Tereftalato de polietileno (PET)

2.2.1.1. Definición del PET

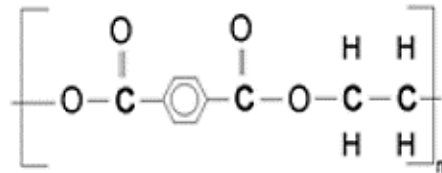
El Tereftalato de Polietileno (PET) se define como un poliéster, considerado un termoplástico de gran calidad, químicamente es un polímero que reacciona químicamente entre el ácido Tereftálico y etilenglicol (Bertolotti et al., 2005). La composición química de PET se detalla en la Figura 1.

El PET es un poliéster termoplástico, cristalino muy fuerte y rígido con excelente resistencia química y física; ostenta propiedades de baja

expansión térmica, mínima absorción de humedad (Curbell Plastics, 2021).

Figura 1

Composición estructural - PET



Nota. Constitución del PET por grupos etilenos y tereftalato. Tomado y adaptado de Materiales sustentables y reciclados en la construcción (p.98), por Martínez et al., 2015, Omnia Publisher SL.

2.2.2. Propiedades físicas y químicas del PET

Tabla 2

Propiedades físicas-mecánicas de PET

	Prueba ASTM	
Propiedades Físicas		
Gravedad específica	D792	1.38
Absorción de agua (Sumergida 24 horas)	D570	0.10%
Propiedades Mecánicas		
Resistencia a la tracción	D638	80 MPa
Módulo de Elasticidad en tracción	D638	30 kg/cm ²
Extensión a la tracción	D638	70%
Módulo de la flexión a la Elasticidad	D790	30 kg/cm ²

Nota. Baja absorción de agua y excelente resistencia a tracción. Tomado y adaptado de Curbell Plastics (p.1), 2021.

Las propiedades físicas y mecánicas de PET se detallan en la Tabla 2. Así mismo, la Tabla 3 se observa las propiedades químicas en el PET.

Tabla 3

Propiedades químicas de PET

Propiedades químicas	Resistencia
Ácidos - concentrados	Excelente
Ácidos - diluir	Excelente
Alcoholes	Excelente
Álcalis	Mínima
Hidrocarburos aromáticos	Regular
Grasas y aceites	Excelente
Sales minerales	Excelente

Nota. Resistencia de fibras PET frente a las propiedades químicas. Tomado y adaptado de AZO Materials (p.2), 2023.

2.2.3. Impacto en el medio ambiente del PET

Las botellas de PET y otros plásticos tienen una tasa de degradación natural que se extiende a varios cientos de años. Durante el prolongado período este material libera sustancias y productos químicos tóxicos que contaminan tanto la tierra como la salud de la amplia biodiversidad y del entorno natural. Considerando que la subsistencia humana está intrínsecamente ligada a la tierra, resulta irónico que la misma humanidad sea responsable de envenenarla a través de sus acciones. En respuesta a este desafío, se está promoviendo una revolución en torno a la reutilización y el reciclaje del plástico. La idea central es reducir la dependencia de la producción de plásticos nuevos, mitigando así los impactos adversos asociados con la degradación lenta y la liberación de sustancias tóxicas. Este cambio busca preservar la salud del medio ambiente, la biodiversidad, la salubridad humana al adoptar prácticas más sostenibles en la gestión de estos materiales (Zambrano et al., 2022).



En la investigación de Córdova et al. (2020) aborda la problemática concerniente a la presencia de residuos plásticos del PET en entornos urbanos, específicamente en calles y parques, lo cual genera una percepción visual negativa. Se destaca que la proliferación excesiva de botellas de plástico a nivel mundial está estrechamente relacionada con la estrategia de uso único adoptada por numerosas empresas. Esta práctica contribuye significativamente a la contaminación ambiental, exponiendo al planeta a la presencia de sustancias tóxicas perjudiciales.

2.2.4. Aplicaciones del PET

El tereftalato de polietileno figura entre los cinco plásticos más empleados en la actualidad, gracias a sus atributos de elevada calidad y baja masa (Córdova et al., 2020).

Su aplicación se da en los siguientes campos:

2.2.4.1. PET textil como fibra cortada

Para la producción de indumentaria, telas textiles, sogas, cinturones de fibra para seguridad, hilos para la costura, para el reforzamiento y soporte de llantas y mangueras. También para fabricar las brochas y cepillos en la industria por su alto aguante a los químicos (Martinez et al., 2015).

2.2.4.2. PET grado película

El uso son para medios magnéticos tales como las películas fotográficas de rayos X, también en el campo electrónico, audios,

condensadores, en la industria tuvo gran impacto, y por último tenemos las artes gráficas por sus estampados (Martinez et al., 2015).

2.2.4.3. PET para envases

Experimentó una revolución debido a sus destacadas propiedades, entre ellas, su alta resistencia frente a una amplia gama de agentes químicos, su estructura cristalina, su reducida densidad y su asequibilidad en los procesos de elaboración, así como su altamente moldeable naturaleza (Córdova et al., 2020).

2.2.4.4. PET para láminas

La línea de extrusión para láminas de PET puede presentar una configuración de hasta tres capas, en la que se emplean de 2 a 3 extrusoras. En esta estructura, la capa central de los productos puede integrar un considerable contenido de material reciclado, mientras que la capa exterior se compone de resinas vírgenes en combinación con aditivos deslizantes. es posible fabricar envases rígidos para una amplia variedad de productos, incluyendo frutas, verduras, huevos, alimentos cocidos, asados, galletas, sándwiches y flores frescas. Estos envases también pueden tener usos adicionales, como servir como cubiertas para documentos en carpetas de archivos, resguardar tarjetas de crédito y brindar protección a equipos médicos (Plastec USA, 2023).

El reciclado de PET como combustible se ha dado múltiples usos para la producción de maderas plásticas, también para la producción de artículos de limpieza y utensilios alimenticios; por ejemplo, los



monofilamentos, aislantes térmicos, alfombras, los magos para las herramientas y auto accesorios (Martinez et al., 2015).

De acuerdo a Martinez et al. (2015) los usos principales del PET reciclado mediante procesos mecánicos se centran en la elaboración de fibras. Estas fibras se clasifican de acuerdo con sus propiedades en:

- Viscosidad Intrínseca Mayor a 0.80 dL/g: Fibras de alta resistencia que compiten con acero o polipropileno.
- Fibras Cortadas (5-150 mm, 1-200 denier): Utilizadas en prendas de vestir, con espesores de 1 a 200 denier.
- Filamento Continuo: Fibras continuas enrolladas, con mayor costo y riesgo de defectos.
- Fibra de Relleno: Empleada como aislante en indumentaria impermeable, bolsas de dormir, almohadas y cubrecamas.
- Fibras No Tejidas: Usadas en filtros y productos absorbentes. En este proceso especial, las botellas PET lavadas se secan y someten a extrusión para recuperar transparencia.

2.2.5. Reciclaje del PET

Según la Real Academia Española (2023) reciclar es “someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar”.

A diferencia de técnicas convencionales como el vertido o la incineración, el reciclaje se presenta como una alternativa más deseable desde la perspectiva ambiental. Esta práctica implica la recolección, clasificación y procesamiento de materiales desechados con la finalidad de reintegrarlos en el ciclo productivo



como materias primas secundarias. El reciclaje se posiciona como una estrategia integral que contribuye a la sostenibilidad ambiental al cerrar el ciclo de vida de los materiales y minimizar el impacto negativo en el entorno construido y natural (Rivera, 2004).

En este sentido surge estrategias de tratamiento de residuos la que llamamos la triple R (RRR) (Martinez et al., 2015).

- Reducir: el cual es la acción para minimizar el factor producción de objetos susceptibles que se conviertan en residuos.
- Reutilizar: consiste en actividades con características de volver a utilizar el producto para darle una segunda vida útil, el uso puede ser el mismo u otro diferente.
- Reciclar: técnicamente se refiere al grupo de operaciones de acopio y procedimiento, técnicas para el tratamiento de para darle otra vida útil a los residuos.

Existen tres clases de reciclaje y se especifican como sigue:

2.2.5.1. Reciclaje físico o mecánico

El proceso de reciclado mecánico se emprende con la selección y separación de los residuos plásticos. Dada la naturaleza incompatible de los distintos tipos de plásticos y la dificultad en su separación, esta etapa resulta esencial. Para abordar esta cuestión, se han implementado técnicas avanzadas de clasificación con el objetivo de mejorar la eficiencia en este proceso, ya que la calidad del producto final depende en gran medida de una clasificación precisa (Rivera, 2004).



2.2.5.2. Reciclaje químico

Consiste en la despolimerización de tres tipos principales de plásticos presentes comúnmente en residuos domésticos: PET, Nylon-6 y policarbonatos. Este proceso implica la combinación de desechos plásticos con etinglicol, resultando en la recristalización y degradación de los polímeros. Como resultado, los plásticos se reducen a partículas diminutas y se forman copolímeros de bloque o injertos de polímeros. Los residuos de RPET, PC y Nylon-6 sometidos a este proceso generan monómeros de alta calidad con un rendimiento destacado. Este enfoque demuestra que los desechos plásticos derivados del petróleo pueden convertirse en una alternativa valiosa para la producción de materiales con una nueva vida útil, ofreciendo una solución sostenible para gestionar productos plásticos que ya no pueden tener otro uso (Elgegren et al., 2012).

2.2.5.3. Reciclaje energético

Conocido como valorización energética, es aplicable a la mayoría de los desechos y tiene la capacidad de reducir su volumen hasta en un 99%. Durante este proceso, se eliminan los agentes de espuma, contribuyendo a la eficiencia en la gestión de residuos. Sin embargo, es importante señalar que este proceso también conlleva la liberación de dióxido de carbono (CO_2), lo cual representa un impacto negativo en términos de calentamiento global (Vázquez et al., 2014).

El reciclaje mecánico se caracteriza por el proceso de triturar y fundir envases de PET. Este método busca la producción de nuevos envases, fibras textiles y otros productos plásticos. Por otro lado, el



reciclaje químico implica procesos más complejos que van más allá de la trituración y fusión. En este caso, se utilizan técnicas químicas para convertir el PET en productos químicos y combustibles. Ambas metodologías representan enfoques distintos en la gestión sostenible de plásticos, con el reciclaje mecánico orientado a la reutilización directa de materiales y el reciclaje químico buscando transformaciones más avanzadas y diversificadas (Javier et al., 2023).

2.2.6. Fibras PET reciclado

La fabricación de fibras de PET implica un proceso que comienza con la selección de su cristalinidad después de haber sido recicladas. Estas fibras se obtienen a partir de desechos de botellas PET, los cuales se someten a un proceso de limpieza. En este proceso, los desechos se clasifican inicialmente según su color, es decir, su cristalinidad. Posteriormente, se eliminan las etiquetas y chapas de las botellas, y finalmente, se lleva a cabo el proceso de molido, transformándolas en hojuelas, o se realizan cortes con dimensiones específicas según el uso requerido. Este método se destaca por la importancia de la clasificación y preparación adecuada de los desechos para la fabricación eficiente de fibras de PET reciclado (Mansilla y Ruiz, 2009).

2.2.6.1. Verificación e inspección

Se destaca la importancia de una meticulosa selección de materiales con propiedades homogéneas. El proveedor desempeña un papel crucial al suministrar botellas previamente caracterizadas, minimizando los daños estructurales para preservar la condición del producto final. Durante la inspección, se realiza una detección rigurosa y



se evita la presencia de materiales contaminantes, tales como suciedad, restos de hierro o papel. Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de corte preciso en la parte superior, es decir, el cuello de la botella, así como en la parte trasera de las botellas PET. Este enfoque garantiza que solo los materiales adecuados, libres de contaminantes, sean utilizados en la producción de fibras PET, asegurando así estándares de calidad óptimos en la producción de las fibras PET (Javier et al., 2023).

2.2.6.2. Lavado

En esta fase del proceso, se lleva a cabo la separación de algunos residuos, como materiales orgánicos, tierra y restos de etiquetas, del plástico molido. El material reciclado se somete a un lavado utilizando una mezcla de agua y detergente en polvo en una proporción del 50/50. La combinación de agua y detergente industrial tiene como objetivo eliminar grasas y bacterias, etiquetas y pegamento, que puedan estar presentes en el plástico reciclado. Simultáneamente, la soda cáustica se utiliza con el propósito de desinfectar el material, eliminando cualquier residuo orgánico que pudiera estar presente. Este enfoque de lavado integral contribuye a obtener un material plástico reciclado limpio y libre de impurezas, preparándolo para la siguiente etapa del proceso (Rivera, 2004).

2.2.6.3. Secado

Los fragmentos de PET, una vez inspeccionados y limpios, deben someterse a un proceso de secado antes de ingresar al paso de fundido para el hilado. Este secado se realiza bajo un control constante de temperatura. Se pueden emplear dos métodos para el secado: uno mediante un sistema



al vacío o, en su defecto, utilizando un sistema simple de aire libre (Mansilla y Ruiz, 2009).

2.2.6.4. Corte de la estructura

Los residuos plásticos previamente clasificados y lavados son sometidos a un acondicionamiento para facilitar su molienda. Este acondicionamiento implica reducir el tamaño de los residuos de manera que sean más manejables; el corte de las fibras PET puede llevarse a cabo de dos maneras distintas. La primera opción es el corte manual, que implica el uso de machetes o pequeñas cizallas. Sin embargo, este método presenta una baja productividad y un riesgo significativo de accidentes. La segunda opción es el corte mecánico, que se realiza utilizando una máquina equipada con una banda transportadora y una guillotina accionada intermitentemente por un sistema de biela-manivela, generalmente impulsado por un motor eléctrico. Otra alternativa mecánica es el uso de sierras de cinta. Estos métodos mecánicos ofrecen una mayor eficiencia y reducen los riesgos asociados con el corte manual, siendo más adecuados para un proceso de reciclaje eficiente de fibras PET (Rivera, 2004).

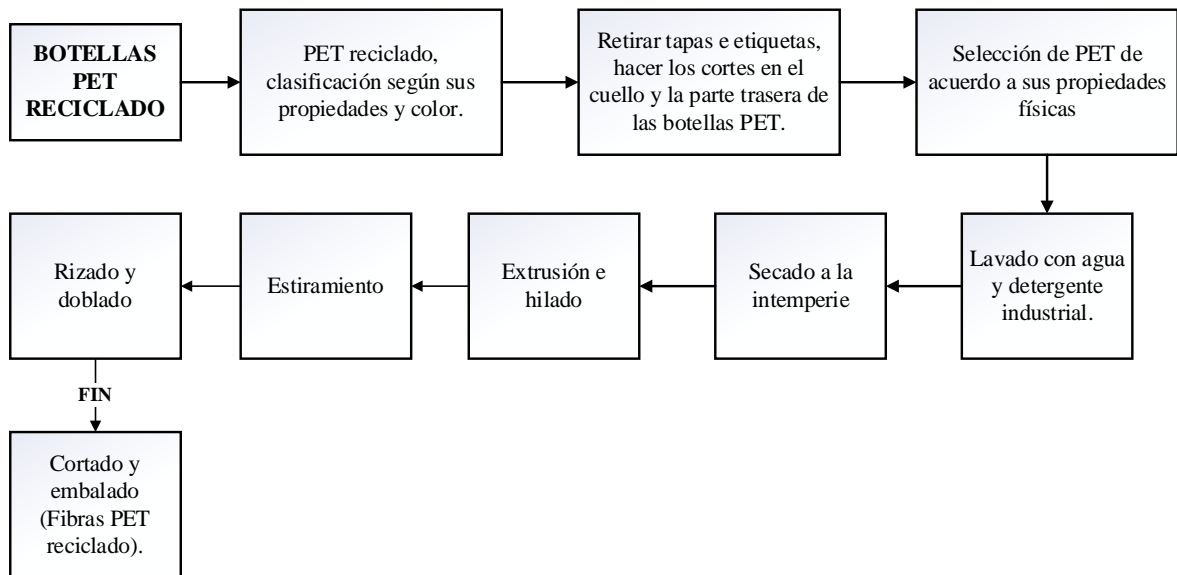
2.2.6.5. Corte y obtención de las fibras PET

Las fibras de PET se obtienen mediante el corte manual de botellas de PET de diferentes marcas. Inicialmente se cortan fibras delgadas de ranura recta y fibras de ranura ancha recta con tijeras y/o guillotina, mientras que otras fibras se perforan con una plancha de soldar y luego se cortan con tijeras.

Para la construcción a gran escala, se pueden utilizar maquinarias especializadas, como trituradoras, en lugar del corte manual (Kumar y Kumar, 2018). La preparación de fibras se observa en la Figura 2:

Figura 2

Proceso de la producción de la fibra PET



Nota. Se visualiza el proceso para la producción de las fibras del tereftalato de polietileno reciclado desde su clasificación hasta el proceso de corte y distribución al mercado. Fuente: Equipo de trabajo.

Finalmente, se corta las dimensiones requeridas y está listo para su comercialización bajo el nombre de fibras PET reciclado.

2.2.7. El reciclaje PET y la construcción

El PET destaca como uno de los plásticos con notables perspectivas de reutilización después de pasar por diversos procedimientos de recuperación en la industria de la construcción. Esta perspectiva es particularmente óptima porque el PET puede experimentar un proceso de degradación que se extiende durante siglos si se dispone únicamente en vertederos. En consecuencia, con el objetivo de evitar



que las botellas de PET adquieran el papel de factor contaminante, se impone la necesidad de universalizar la práctica de su reciclaje (Castings México, 2019).

La contribución más significativa radica en la comprensión del comportamiento térmico del PET cuando se combina con otros materiales. Esta valiosa información te brinda la posibilidad de construir viviendas con muros de PET que ofrezcan confort térmico a lo largo de todo el año, especialmente en climas semi fríos y secos. Esta metodología no solo resulta económica, sino que también te permite la autoconstrucción con la participación de toda tu familia (Reyes, 2013).

Desde el enfoque constructivo y ambiental se contempla la opción de valorizar los residuos plásticos mediante la utilización de agregados de plástico reciclado, ya sea como sustituto completo o parcial de los agregados naturales. Esta propuesta es atractiva porque el concreto es un material de construcción muy empleado a nivel mundial. El interés radica en la capacidad de reducir la dependencia de los recursos naturales al incorporar materiales reciclados, al tiempo que se aborda la preocupación ambiental asociada con el consumo significativo de materia prima y energía durante la fabricación del hormigón tradicional (Ojeda y Mercante, 2021).

2.2.8. Unidades albañilería

La unidad de albañilería según el autor Abanto (2017) son los ladrillos y bloques. De acuerdo a los autores Drysdale. et al. (1994) son elaboradas de materia prima: arcilla, concreto, sílice – cal, piedra y vidrio; pero lo más comunes son ladrillos y bloques fabricadas de arcilla y concreto.

2.2.8.1. Tipos de unidades de albañilería

Según la dimensión o por su tamaño, la unidad de albañilería de acuerdo a Gallegos y Casabonne (2005) se denominan ladrillos o bloques. Así mismo, en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2020) considera como ladrillo a aquella cuyo tamaño y peso posibilita su manipulación por una mano. En cambio, el bloque por su tamaño y peso, debe manipularse con las dos manos.

Los autores San Bartolomé et al. (2018) señalan que las dimensiones en los ladrillos que son empleados en edificios de albañilería son de 11 a 14 cm de ancho, de 23 a 29 cm de largo, de 6 a 9 cm de alto y de 3 a 6 kg de peso por unidad. En cambio, las dimensiones habituales de los bloques oscilan entre 14 y 19 cm de ancho, 19 y 39 cm en largo y 20 cm de elevación. Los bloques suelen emplearse en construcciones de albañilería armada. El peso de los bloques oscila en el rango 12 y 20 kg.

2.2.8.2. Materia prima y fabricación de unidades de albañilería

Para Gallegos y Casabonne (2005), se fabrica a partir de varias materiales, una de ellas la arcilla, concreto y la combinación de sílice y cal. Esta clasificación se basa en la materia prima utilizada en la producción.

2.2.8.2.1. Unidades de arcilla

Según el autor Arango (2002) se denomina ladrillos de arcilla y/o cerámicos. El autor San Bartolomé (1994) lo clasifica como calcáreo o no calcáreo. Las primeras presentan el 15 % de CaCO_3 que origina que se



forme unidades amarillentas; la segunda, destaca el silicato de alúmina incluido el 5 % de Fe_2O_3 , lo que da como resultado un color rojizo.

De acuerdo a los autores Gallegos y Casabonne (2005) las unidades efectuados con moldes metálicos producen una textura lisa, mientras que los moldes de madera arenada producen una textura rugosa.

2.2.8.2.2. Unidades de concreto

Según el autor Gallegos y Casabonne (2005) las unidades de concreto son de dos tipos: ladrillos y bloques. Las unidades se fabrican mediante moldeo a presión, vibración o ambos, y su color natural es gris e gris verdoso.

La virtud de las unidades de concreto de acuerdo a San Bartolomé (1994) depende de la mezcla utilizada (cemento, arena, confitillo y agua), se puede obtener unidades con resistencias elevadas depende del uso que se requiera. Su textura generalmente presenta poros abiertos, se puede aligerar con piedra pómez.

2.2.8.2.3. Unidades Sílico – Calcáreas

Según Gallegos y Casabonne (2005) pueden ser ladrillos y bloques. Las unidades sílico – calcáreas se forma a través de moldeo a alta presión. La materia prima según San Bartolomé (1994) se basa de un 10% cal hidratada. Además, la arena contiene el 75% de sílice, produciendo unidades blancas con un tinte rosado, amarillo o gris, depende de la arena utilizada.



2.2.8.3. Clasificación de huecos de unidades de albañilería

Según el RNE (2020) las unidades se pueden clasificar mediante el porcentaje de vacíos que contiene en las aberturas o alvéolos presentes en la zona de contacto de asiento de la unidad y la disposición que tenga.

2.2.8.3.1. Unidad de albañilería sólida o maciza

Para San Bartolomé (1994) es aquella que no presentan alvéolos, no obstante, poseen aberturas perpendiculares al área de contacto de asiento. En otros términos, contiene un área superior o igual al 70% del área bruta de la superficie de asiento (RNE, 2020, p.16). Dicho esto, si excede el porcentaje se clasificará como una unidad de albañilería hueca. Según el autor Gallegos y Casabonne (2005) la limitación en 30% en la zona alveolar no es casual; se debe al comportamiento estructural dúctil – no frágil; es decir se vuelve muy frágil la unidad.

2.2.8.3.2. Unidad de albañilería hueca

De acuerdo a RNE (2020) es cuando el área neta en cualquier zona paralelo al área de contacto de asiento es inferior al 70% de área bruta. Cuando se vierte concreto líquido en las aberturas de la unidad de albañilería hueca durante su uso, se convierten en una sólida (Gallegos y Casabonne, 2005).

2.2.8.3.3. Unidades de albañilería tubular

Para San Bartolomé (1994) son aquellas que exhiben perforaciones o alvéolos paralelos a la zona de asiento; en esta categoría se clasifica el ladrillo pandereta, utilizados en muros no portantes y tabiques.

2.2.8.3.4. Unidades de albañilería alveolar

Según el RNE (2020) es una unidad de albañilería hueca o sólida que presenta celdas o alvéolos capaz de alojar los refuerzos verticales. Se utiliza en las edificaciones de muros armados.

2.2.8.4. Clasificación para fines estructurales

El RNE (2020) clasifica la unidad de albañilería según el fin de diseño estructural, según sus características señaladas en la Tabla 4.

2.2.8.5. Limitaciones de uso para fines estructurales

De acuerdo a las variaciones de las propiedades que presenta las unidades de albañilería, el RNE (2020) menciona que la aplicación estará condicionada según las zonas sísmicas definidos en la norma E.030 - Diseño Sismorresistente, remítase a la Tabla 5 sobre su limitación.

Tabla 4

Clasificación de unidad de albañilería

Clase	Variación de la dimensión (máxima en porcentaje)			Alabeo (máximo en mm)	Resistencia característica a compresión f'_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

Nota. La f'_b en kg/cm² se presentan en paréntesis. Datos tomados de Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020.

Tabla 5*Limitaciones de uso de unidad de albañilería*

Tipo	Zona Sísmica 2 y 3		Zona Sísmica 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

Nota. Datos tomados de Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020.

2.2.9. Propiedades

De acuerdo al autor San Bartolomé (1994) las unidades de albañilería presentan propiedades relacionadas referente a la resistencia y otras como es la durabilidad que estará expuesto al aire libre. En ese contexto, las propiedades importantes son:

- a) La **resistencia de la unidad**:
 - Resistencia en compresión y tracción
 - Alabeo y variación dimensional
 - Absorción

- b) La **durabilidad en la unidad**:
 - Densidad y resistencia en compresión.
 - Absorción, eflorescencia y succión

Para determinar estas propiedades se emplea las Normas Técnicas Peruanas y/o Normas con procedencia internacional con respecto a unidades de concreto, son las siguientes:

- NTP 399.601 (revisada en el 2015)
- NTP 399.604 (revisada en el 2015), ASTM C145, ASTM C55 y ASTM C90.
- ASTM C-140 (2012)
- Norma E.070 - Albañilería

Así mismo, para clasificar la unidad de albañilería según sus propósitos estructurales se presenta en la Tabla 4, según sus características que dependen de:
a) Resistencia a compresión; b) Variación de la dimensión y c) Alabeo

2.2.9.1. Propiedades físicas

2.2.9.1.1. Variación dimensional

De acuerdo al autor Gallegos y Casabonne (2005) la variación dimensional incide en la conformación de hiladas del muro, por cada incremento de esta, se requiere elevar la anchura de la junta de mortero superior a lo regularmente requerido, que varía de 9 a 12 mm, pues una variación significativa conduce a que se obtenga una albañilería menor a la especificada en resistencia a compresión.

Por otro lado, el autor San Bartolomé (1994) señala que la variación dimensional es importante ejecutarla para calcular el grosor de la junta de mortero. Así mismo, cuando se realice una variación o adición de 3 mm con respecto al grosor con respecto a juntas horizontales al valor de 10 mm, el resultado obtenido en la resistencia en compresión del prisma



se reduce en un 15%. Así mismo, surgirá el efecto en la disminución de la resistencia al corte.

El RNE (2020) sugiere que, para precisar la variación dimensional en la unidad de albañilería, se ceñirá al método señalado en la NTP 399.604 y NTP 399.613.

2.2.9.1.2. Alabeo

Según el autor San Bartolomé (1994) cuando presenta considerable alabeo (convexidad o concavidad) en el ladrillo incide en un incremento de grosor de la junta. Además, disminuye la adhesión de la unidad y el mortero, al generarse zonas vacías en puntos alabeadas; es más, presentaría fallas inducidos por flexión en la unidad de albañilería.

El RNE (2020) sugiere para precisar el alabeo en las unidad de albañilería, se ceñirá el método especificado en la NTP 399.613.

2.2.9.1.3. Absorción

Según el autor Gallegos y Casabonne (2005) señala que en el ensayo de absorción, la unidad se sumerge en agua fría durante 24 hr para medir su absorción. Seguidamente, las unidades se secan y pesan, hasta limitar a un peso constante. La resta del peso del espécimen saturada y seca, sobre el peso del espécimen seca, calculada en (%) se conoce como absorción.

En el RNE (2020) indica que las pruebas en laboratorio se efectuarán según la NTP 399.604 y NTP 399.613.

2.2.9.2. Propiedades Mecánicas

2.2.9.2.1. Resistencia a compresión de unidades de albañilería

Es una propiedad muy esencial para la unidad de albañilería. Para el autor Gallegos y Casabonne (2005) indica que los valores elevados de resistencia en compresión presentan una calidad superior con fines estructurales. En cambio, las unidades de baja resistencia son poco duraderas. Sin embargo, esta propiedad es difícil de analizar correctamente. Por otro lado, el autor San Bartolomé (1994) menciona que la resistencia en compresión f'_b revela la calidad en la unidad, si presenta buena resistencia significa mayor durabilidad. Además, el valor f'_b está ligado a la elevación de la unidad, a una menor elevación, mejor es su resistencia. La diversidad de dimensiones y configuraciones de las unidades de albañilería, básicamente en su altura, dificulta relacionar los resultados determinados en ensayo a compresión con sus datos reales que es la resistencia de la muestra. También, es ocasionado por el cabezal de la máquina a compresión, que varía sus esfuerzos de la unidad.

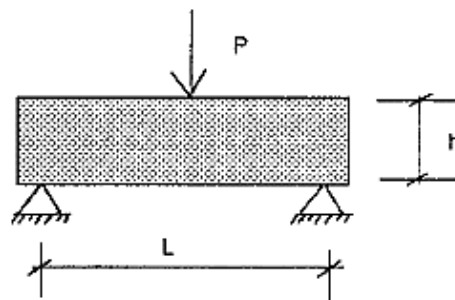
Según el RNE (2020) sugiere que, para hallar la resistencia de unidad de albañilería, se verifica en laboratorios bajo los lineamientos de la NTP 399.613 y 399.604. El valor f'_b se deduce disminuyendo la desviación estándar al promedio de resultado de resistencia de las muestras, en la estadística se interpreta que un 84% de la muestra analizada se obtendrá una resistencia mayor al dato característico, el restante de 16% expresa que se puede usar las unidades con defectos, este porcentaje está avalado en la Normativa para el acápite de diseño estructural.

2.2.9.2.2. Resistencia a flexión de unidades de albañilería

La resistencia a flexión (f_r) es otra propiedad que verifica la calidad en la unidad de albañilería. Para el autor San Bartolomé (1994) señala que se efectúa el ensayo cuando presenta la incertidumbre sobre su uso como unidad de tipo IV o V, o exista alta probabilidad de alabeo que puede producir la falla por flexión. Esto se debe a que el muro sometido a compresión, la falla puede ocurrir por flexión en la sección transversal de la unidad. Lo que significa lo necesario analizar esta propiedad, pero su análisis o medición conduce únicamente a conseguir resultados significativos, en muestras regularmente macizos. Las pruebas más usuales son: a) Prueba de tracción indirecta y/o prueba de tracción por flexión (Gallegos y Casabonne, 2005).

Figura 3

Aplicación de carga en la prueba por flexión



Nota. Disposición de la carga en la zona céntrica sobre la superficie de la unidad. Tomado de Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural (p.116), por San Bartolomé A., 1994, Fondo Editorial PUCP.

La prueba se basa en someter a la unidad una carga concentrada creciente en la zona céntrica como en la Figura 3, a una velocidad de 1.25

mm/min. Posteriormente, se halla el módulo de rotura (f'_t) con el uso de la Ecuación (1) de flexión simple (San Bartolomé et al., 2018).

$$f'_t = \frac{M_y}{I} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

Donde:

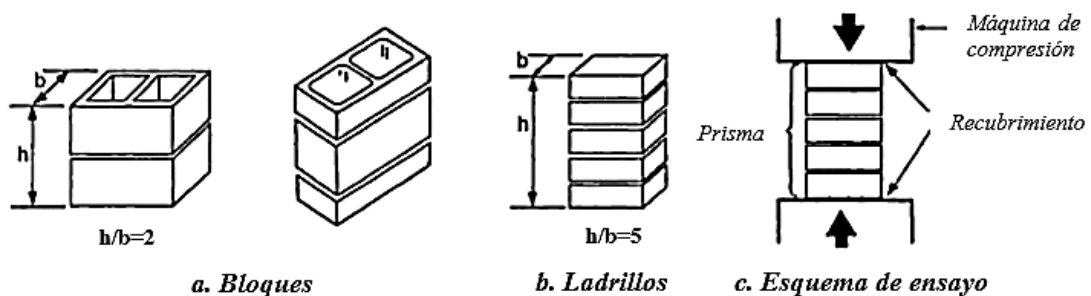
- b = Ancho de la unidad
- $y = h/2$

2.2.9.2.3. Resistencia a compresión de pilas de albañilería

Para hallar la resistencia a compresión en Pilas de primas de albañilería se encuentra estandarizado a nivel internacional, que es básicamente en un prisma con unidades de albañilería adheridas por el mortero. En caso de unidades huecas que están apiladas o asentadas se llenan concreto líquido al prisma, esta metodología se utiliza para determinar su resistencia de este tipo de albañilería (Gallegos y Casabonne, 2005).

Figura 4

Esquema de la prueba de resistencia en pilas



Nota. h/b = relación de esbeltez en ladrillos y bloques. Disposición de la carga para la ejecución de ensayo. Tomado de Albañilería Estructural (p.202), por Gallegos y Casabonne, 2005, Fondo Editorial PUCP.

Según los autores San Bartolomé et al. (2018) asegura el ensayo es útil para calcular la resistencia a compresión axial (f_m^*) con respecto al área bruta de la cara superior de la pila. Además, es factible deducir el módulo de elasticidad en la pila (E_m), cuando es instrumentado y anota la deformación axial de la pila. En la Figura 4 se muestra el esquema del ensayo.

La esbeltez y altura mínima de la pila de acuerdo al autor Arango (2002) indica que dependen básicamente si se utiliza ladrillos o bloques. En prismas efectuados con ladrillo tienen la proporción en alto/ancho entre 2 y 5 cm, con un alto mínimo de 30 cm.

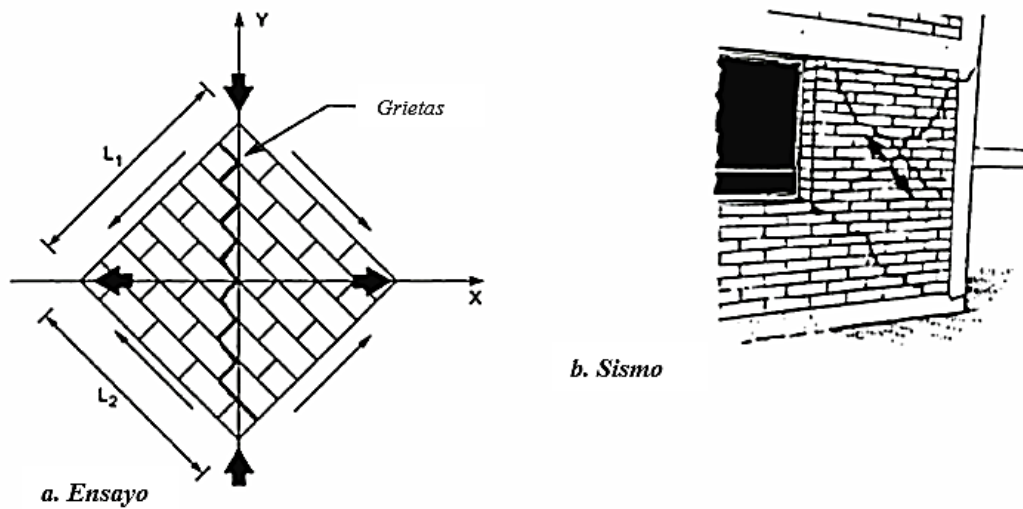
Por otro lado, el autor San Bartolomé (1994) indica que las pilas tienen una falla por tracción ortogonal o grieta vertical. Es decir, que el mortero está sometido en compresión y la unidad de albañilería se expande lateralmente; la otra manera de falla es por la trituración entre la unidad y mortero que se produce por la baja calidad resistencia que tiene el material empleado.

2.2.9.2.4. Resistencia al corte diagonal de Muretes

La prueba que se utiliza para deducir la resistencia a compresión diagonal, mostrado en la Figura 5. La falla que presenta luego de someter el ensayo del prisma se asemeja con las fallas de muros de albañilería que ocurre después de un evento sísmico, a lo que los investigadores consideran un ensayo muy representativo o ideal. Sin embargo, las condiciones de punto de aplicación de la carga en el borde, son diferentes con la realidad y el ensayo (Gallegos y Casabonne, 2005).

Figura 5

Similitud de falla entre el ensayo y un evento sísmico



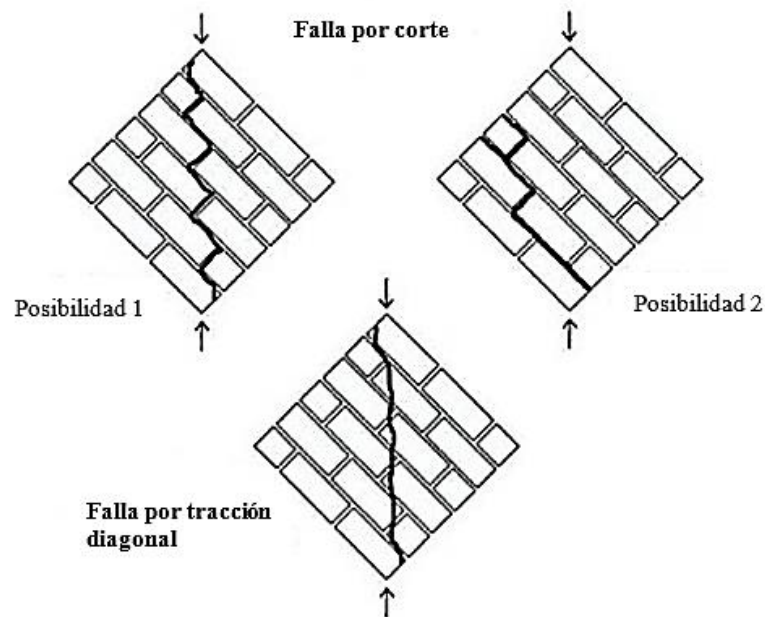
Nota. Modos de falla en un ensayo y sismo, pero las condiciones del borde son diferentes. Tomado de Albañilería Estructural (p.238), por Gallegos y Casabonne, 2005, Fondo Editorial PUCP.

Para los autores San Bartolomé et al. (2018) con la prueba a compresión diagonal es posible deducir el módulo de corte (G_m), cuando es instrumentado y se anota las deformaciones diagonales.

La forma de falla se refleja por el grado de adherencia que tenga el mortero y la unidad de albañilería, de acuerdo al autor San Bartolomé (2008) asegura que una óptima unión es cuando la falla cruza a la unidad y el mortero, logrando así una máxima fuerza cortante. Sin embargo, cuando la adherencia no es ideal, la falla se produce de forma escalonada en la zona de las juntas. Los modos de fallas de muretes se visualizan en la Figura 6.

Figura 6

Modos de falla por tracción diagonal (Muretes)



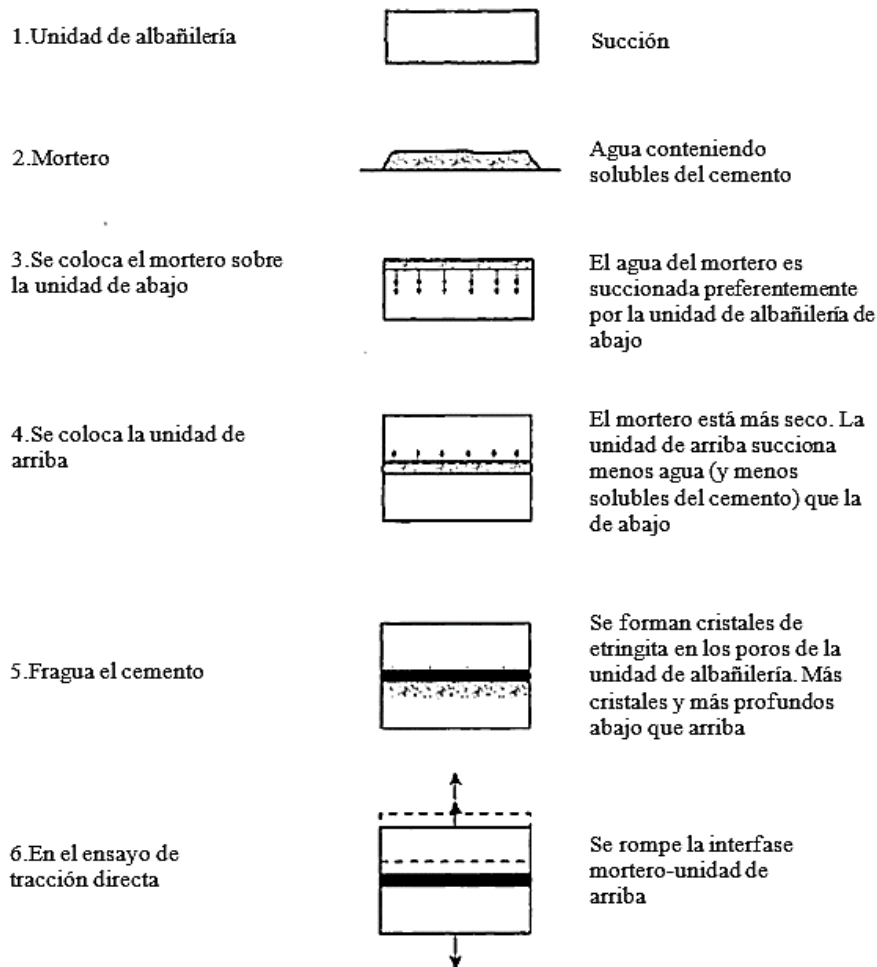
Nota. Modos de falla por corte y tracción diagonal. Tomado de *Albañilería Estructural* (p. 240), por Gallegos y Casabonne, 2005, Fondo Editorial PUCP.

2.2.10. Mortero

El mortero de acuerdo al autor San Bartolomé (1994) indica que se utiliza principalmente para adherir las unidades de albañilería. Así mismo, para corregir sus imperfecciones y sellar las juntas, que resguarda del aire y la humedad. Así mismo, el autor Arango (2002) también asegura que la cualidad más importante del mortero es la de unir las y/o adherirlas la unidad en el proceso de construcción, proporcionando la rigidez suficiente en la hilada para permitir el asentado de la próxima hilada y formando un compuesto duradero, impermeabilizado y con buena resistencia a cortante. Lo cual significa que asentar las unidades de albañilería es unir las, pegarlas como un adhesivo denominado mortero de acuerdo a la ubicación prefijada.

Figura 7

Proceso mecánico de adherencia entre mortero-unidad



Nota. Se muestra la mecánica de adhesión. Tomado de Albañilería Estructural (p. 133), por Gallegos y Casabonne, 2005, Fondo Editorial PUCP.

Según el autor Arango (2002) la adhesión mortero-unidad de albañilería se caracteriza por ser de una naturaleza mecánica, está en función de cantidad de cemento, cal y agua en el grosor de mortero, también de la succión que presenta en la unidad y de la capacidad de los poros capilares de almacenar los cristales de etringita. El proceso como surge el fenómeno de la adhesión mecánica entre mortero-unidad es la siguiente: Al entrar en contacto el mortero con la unidad de albañilería comienza a succionar agua de él, como el agua presenta partículas solubles de cemento, estas se introducen durante la fase de succión de agua en los



poros capilares en la unidad de albañilería, luego de cristalizar se forma el engrape mecánico que es la parte muy importante entre la unión del mortero y la unidad de albañilería (Gallegos y Casabonne, 2005). La mecánica de adhesión se complementa en la Figura 7.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y la metodología usadas en la investigación se detallan de la siguiente manera:

3.1. MATERIALES

3.1.1. Cemento

Para elaborar los ladrillos de concreto se ha empleado el cemento de tipo IP de la marca “RUMI” con un peso específico que está en el rango de 2.75 a 2.85 g/cm³ de acuerdo al ANEXO 14. Además, cumple los requisitos señalados en la NTP 334.009: 2013.

3.1.2. Agregado fino

El agregado fino fue obtenido en la cantera Alfaro-El Collao, la cual tiene la información en la Tabla 6:

Tabla 6

Características de agregado fino

Descripción	Resultados
T.M.N.	N° 4
Peso específico (g/cm ³)	2.47
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1529
Peso unitario compactado seco (kg/m ³)	1644
Contenido de humedad (%)	0.91
Porcentaje de absorción (%)	2.51
M. F.	2.84

Nota. Las propiedades de agregado fino se determinaron en el laboratorio de construcciones (Véase el ANEXO 1). Fuente: Equipo de trabajo.



3.1.3. Agua

En el estudio se utilizó agua potable que es suministrada por la Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno S. A. en la población de Puno que, para la creación de ladrillos de concreto y curado.

3.1.4. Fibras de PET reciclado

3.1.4.1. Dosificación de fibras PET

Kumar y Kumar (2018), estudió las fibras PET reciclado adicionado en el concreto de 0%, 0.5%, 1.5% y 2% con geometría rectangular de 50x3mm, en donde señala que mejora la resistencia en compresión con 0.5% de fibras PET reciclado, y con 1% mejoró la resistencia a flexión. Marco et al. (2013), elaboraron el ladrillo reforzado con las adiciones porcentuales de 20%, 25%, 30%, 35% y 40% de PET en forma de hojuelas, donde se obtuvieron mejora con un 20% de PET en los ensayos de absorción y flexo compresión. Khalid et al., (2018) utilizó el PET reciclado con dosificaciones de 0.5%, 1% y 1.5% de PET en base al peso de la arena natural. Los resultados indican que la proporción compuesta de RCA de 25% y 0.5% PET disminuyeron la resistencia a compresión.

Quenta (2019) elaboró mezclas de concreto con la inclusión de 2%, 4%, 6% y 8% de fibras de botellas PET en base al peso de cemento; el autor señala que la resistencia en compresión al incluir el 2% de fibras PET superó en un 2.6% a la prueba patrón, con 4% fibras PET la resistencia en flexión incrementaron en un 24%. Para continuar esa línea de investigación, se optó la inclusión de las fibras PET reciclado en 3%, 6%



y 9% para evaluar sus propiedades físicas - mecánicas con las fibras de PET, algo que aún no se ha explorado en unidades de concreto.

3.1.4.2. Geometría de las fibras PET

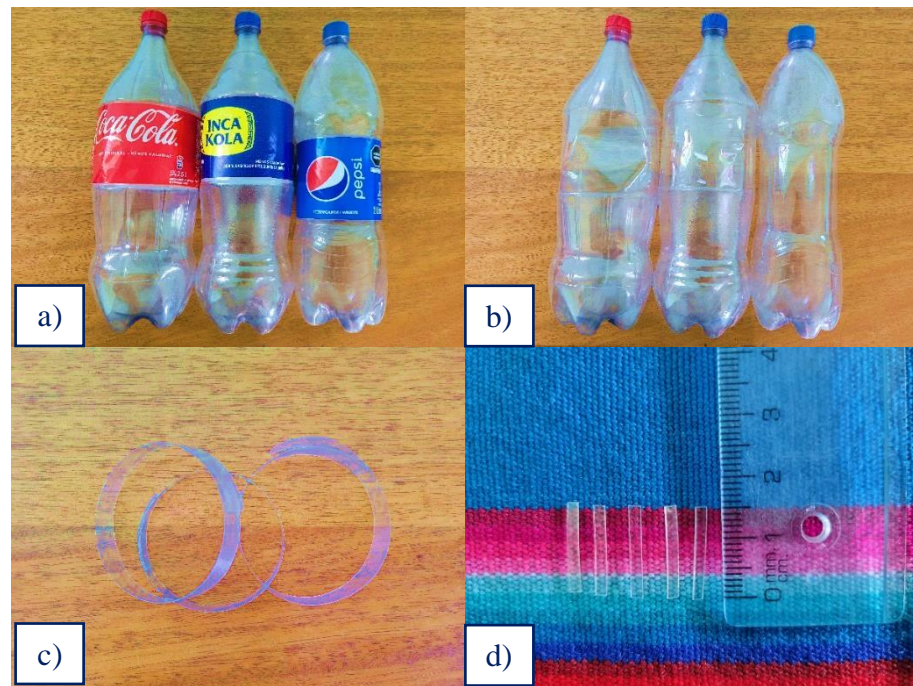
Khalid et al. (2018) utilizó las fibras de PET reciclado de dimensiones 5x50 mm, indicando que cuánto más largas las fibras reducen la resistencia a compresión, las cortas no. Según Kumar y Kumar (2018) sugiere que el largo de la fibra PET está en función del T.M.N. del agregado; que es básicamente de dos a tres veces en el tamaño normal máximo nominal del agregado.

Para continuar esa línea de investigación, se consideró la geometría en forma de un rectángulo, teniendo la longitud en base al T.M.N. del agregado y ancho de fibras PET reciclado con dimensiones de 15 y 2 mm respectivamente, la preparación de las fibras PET se basó en el reciclado de las botellas de PET (tereftalato de polietileno) luego de su post – consumo con capacidad mayor a 2 litros; entre ellas se encuentra las bebidas de Inca Kola, Coca Cola y Pepsi, que se realizó en la localidad de Puno y en interior de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno; el proceso de reciclaje de las botellas tomo alrededor de un mes.

Seguidamente se retiraron las etiquetas y tapas, se lavaron y se secaron para eliminar gérmenes, bacterias y sales antes de obtener las fibras; luego se procedió a cortar únicamente el cuerpo de las botellas de PET recicladas. Finalmente, mediante el uso de guillotina y tijeras se cortaron las fibras PET reciclado en la dimensión deseada de 15 mm en largo y 2mm de ancho que se presenta en la Figura 8:

Figura 8

Obtención de las fibras PET reciclado



Nota. Se muestra el proceso de producción de fibras PET reciclado. a) Botellas de PET reciclado, b) Retiro de etiquetas, c) Corte de láminas de fibras PET reciclado con tijera y guillotina y d) Fibras PET reciclado de 15x2mm. Fuente: Equipo de trabajo.

3.2. EQUIPOS

Los equipos empleados en la presente investigación para las pruebas de unidades y prismas de albañilería son:

- Herramientas manuales (buggy, palas, cucharón, badilejo, plancha de empastar, mazo de goma 16 onzas y flexómetro)
- Zaranda
- Mezcladora de concreto
- Molde metálico de King Koncreto para 2 unidades de 9 x 13 x 22 cm.
- Cono de abrams y varilla compactadora de 5/8"
- Prensa de compresión axial de marca "ELE"
- Balanza digital



- Tamices
- Vernier
- Regla metálica

3.3. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Enfoque de investigación: Cuantitativa

Según Borja (2016) la investigación plantea una estructura para evidenciar la realidad por intermedio de la recolección y análisis de datos, el cual responde a las cuestiones e hipótesis de la investigación cuantitativa; se utilizó para la validación de datos la medición numérica, conteo y la estadística; con el objetivo de tener un patrón de comportamiento a partir de una muestra seleccionada.

Esta investigación se caracteriza por tener una o varias hipótesis, se sometió a pruebas, se cuantifica las nociones en la hipótesis para las variables para luego analizarlas con técnicas estadísticas, de esta manera se extiende los resultados para generalizar y fortalecer una posible teoría.

3.3.2. Tipo de la investigación: Pura o básica

Para Sánchez y Meza (2015), la investigación califica como pura o básica, esta modalidad conduce a la exploración de nuevos conocimientos. El propósito de la investigación es la recopilación de información de la realidad con el fin de enriquecer el conocimiento científico, orientándose hacia el descubrimiento de principios y leyes fundamentales que puedan tener aplicaciones directas o implicaciones.



3.3.3. Nivel de la investigación: Explicativo

Según Borja (2016) la investigación es explicativo porque busca explicar las causas o el ¿Por qué? ocurre cierto fenómeno físico y/o social. La intención de la investigación es describir el contexto por el que se da este fenómeno, por qué hay una relación o cruce de variables. Busca la interrelación de las variables dependiente e independiente. Según Hernández (2014), la presente investigación califica como transversal porque se centra en caracterizar el fenómeno recopilando datos en un instante, momento y/o tiempo único. No le interesa la posible evolución del fenómeno.

3.3.4. Diseño de la investigación: Cuasi-Experimental

Para Hernández (2014) la investigación se considera cuasiexperimental; porque las muestras no se asignaron al azar en los grupos, estos grupos ya lo conformamos antes de acuerdo a los ensayos y unidades de muestras que requerimos, en este diseño cuasiexperimental se pretende tener el control de los grupos ya formados.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

La población en la investigación comprende el grupo de ladrillos de concreto con la adición de fibras PET reciclado en 0%, 3%, 6% y 9% en base al peso de cemento. Estimando la cantidad total de 340 ladrillos de concreto que va a ser evaluada las propiedades físicas y mecánicas.



3.4.2. Muestra

El muestreo es no probabilístico de tipo intencional, que es definida a criterio o juicio preestablecido del investigador (Arias, 2006). A continuación, se detallan los criterios y normas técnicas para la cuantificación de las muestras tomadas.

3.4.2.1. Muestra en asentamiento de concreto fresco

La American Society for Testing and Materials C172 (ASTM, 2004) indica en mezcladoras estacionarias se muestree dos o más porciones de concreto a la mitad de la descarga y se integre en una sola las porciones obtenidas para fines de ensayo. Así mismo, la NTP 339.036 (2017) señala que tome por recolección de dos o más porciones durante la descarga en media del lote y esta se combina como una muestra compuesta para los ensayos. Por ende, se tomó cinco muestras representativas del lote con inclusión en (%) de fibras PET reciclado, mostrado en la Tabla 7, para la determinación de ensayo de asentamiento de concreto (SLUMP) en su estado fresco.

Tabla 7

Número de muestras en el asentamiento del concreto

Mezcla	PET (%)	Cantidad
0% PET (Muestra patrón)	0	5
3% PET	3	5
6% PET	6	5
9% PET	9	5
TOTAL		20

Nota. Para cada condición de adición de fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

3.4.2.2. Muestra para las propiedades físicas

Para determinar el muestreo de las propiedades físicas se analizó para cada ensayo que son:

3.4.2.2.1. Variación dimensional y alabeo

La NTP 399.604 (2015) señala que para el análisis de medición de dimensiones se medirá tres unidades y el RNE (2020) indica que se toma la muestra al azar diez unidades en donde se efectúa el ensayo de variación dimensional e alabeo. Entonces se definió cinco muestras para cada ensayo al agregar porcentajes de fibras PET reciclado que se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8

Número de muestras en la prueba variación dimensional y alabeo

Descripción	N° de Unidades
0% PET (Muestra patrón)	10
3% PET	10
6% PET	10
9% PET	10
TOTAL	40

Nota. Para cada condición de adición de fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

3.4.2.2.2. Absorción

La NTP 399.604 (2015) señala que se muestrea seis unidades, sin embargo, para el ensayo se utiliza tres unidades y el RNE (2020) indica que el ensayo se efectúa con cinco unidades. Por consiguiente, se definió el número de muestras requeridas para efectuar el ensayo al agregar porcentajes de fibras PET reciclado, según se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9

Número de muestras en la prueba absorción

Descripción	N° de Unidades
0% PET (Muestra patrón)	5
3% PET	5
6% PET	5
9% PET	5
TOTAL	20

Nota. Para cada condición de adición de fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

3.4.2.3. Muestra para las propiedades mecánicas

Para determinar el muestreo de las propiedades se analizó para cada ensayo que son:

3.4.2.3.1. Resistencia a compresión de unidades de albañilería

La NTP 399.604 (2015) señala que, de las seis muestras, se someterá tres unidades a ensayo de compresión. La ASTM C140 (2012) indica que se efectúa la prueba con tres muestras. Así mismo, el RNE (2020) indica que se efectúa el ensayo con cinco unidades, por la cual se definió en cinco muestras requeridas para efectuar la prueba a la edad de 28 días, como se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10

Número de muestras en la prueba resistencia a compresión

Descripción	N° de Unidades
0% PET (Muestra patrón)	5
3% PET	5
6% PET	5
9% PET	5
TOTAL	20

Nota. Para cada condición de adición de fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

3.4.2.3.2. Resistencia a flexión de unidades de albañilería

La NTP 399.613 (2017) señala en unidades de arcilla el ensayo se efectuará en cinco unidades secas. La ASTM C67 (2005) indica que se realiza el ensayo con cinco especímenes, pero para unidades de concreto no se detalla el procedimiento del ensayo, por la cual se definió el número de muestras según las normas citadas con la inclusión de porcentajes de fibras PET reciclado, mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11

Número de muestras en la prueba resistencia a flexión

Descripción	N° de Unidades
0% PET (Muestra patrón)	5
3% PET	5
6% PET	5
9% PET	5
TOTAL	20

Nota. Para cada condición de adición de fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

3.4.2.3.3. Resistencia a compresión de pilas de albañilería

Tabla 12

Número de muestras de pilas y unidades requeridas para el ensayo

Descripción	N° de Pilas	N° de Unidades
0% PET (Muestra patrón)	3	9
3% PET	3	9
6% PET	3	9
9% PET	3	9
TOTAL	12	36

Nota. Por cada condición de prisma (Pilas) con ladrillos de concreto. Fuente: Equipo de trabajo.

La NTP 399.605 (2013), señala que la muestra se basa al menos tres pilas elaboradas en todos de igual similitud de ladrillo, por la cual se definió el número de pilas requeridas para efectuar el ensayo a la edad de 28 días y la cantidad de ladrillos de concreto requeridos para cada categoría

al agregar porcentajes de fibras PET reciclado, como se muestra en la Tabla 12.

3.4.2.3.4. Resistencia al corte diagonal de Muretes

La NTP 399.621 (2004), señala que el número de especímenes se realiza al menos tres muretes elaborados de igual similitud de ladrillos, mortero y el personal técnico. Así mismo, la ASTM E519 (2002), indica que para el ensayo se usa tres muretes fabricados con el mismo tipo de albañilería, mortero y la mano de obra; por consiguiente, se definió el número de muretes requeridas para efectuar el ensayo y la cantidad de ladrillos de concreto requeridos para cada categoría al agregar porcentajes de fibras PET reciclado, según la información detallada en la Tabla 13.

Tabla 13

Número de muestras de muretes y unidades requeridas para el ensayo

Descripción	N° de Muretes	N° de Unidades
0% PET (Muestra patrón)	3	45
3% PET	3	45
6% PET	3	45
9% PET	3	45
TOTAL	12	180

Nota. Por cada condición de prisma (Muretes) con ladrillos de concreto. Fuente: Equipo de trabajo.

En resumen, la Tabla 14 se dispone el tamaño de unidades de ladrillos de concreto con las dosificaciones de fibras PET reciclado para las pruebas requeridos en las unidades y prismas de albañilería:

Tabla 14*Tamaño unidades de concreto para esta investigación*

Ensayos de laboratorio	N° de muestras de ladrillos de concreto con fibras PET			
	0%	3%	6%	9%
Variación dimensional	5	5	5	5
Alabeo	5	5	5	5
Absorción	5	5	5	5
Resistencia a compresión	5	5	5	5
Resistencia a flexión	5	5	5	5
Resistencia a compresión en pilas	9	9	9	9
Resistencia a compresión de muretes	45	45	45	45
Sub – Total	79	79	79	79
Total	316 unid.			

Nota. Total, de unidades de concreto = 316 (79 por cada condición de adición de fibras PET). Fuente: Equipo de trabajo.

3.5. ÁMBITO DE ESTUDIO

3.5.1. Geográficas

La ubicación geográfica de los laboratorios utilizados es como sigue a continuación; el diseño de mezcla, las pruebas de las propiedades del ladrillo y pilas de albañilería se efectuó en laboratorio de Construcciones e laboratorio de Suelos y Materiales en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

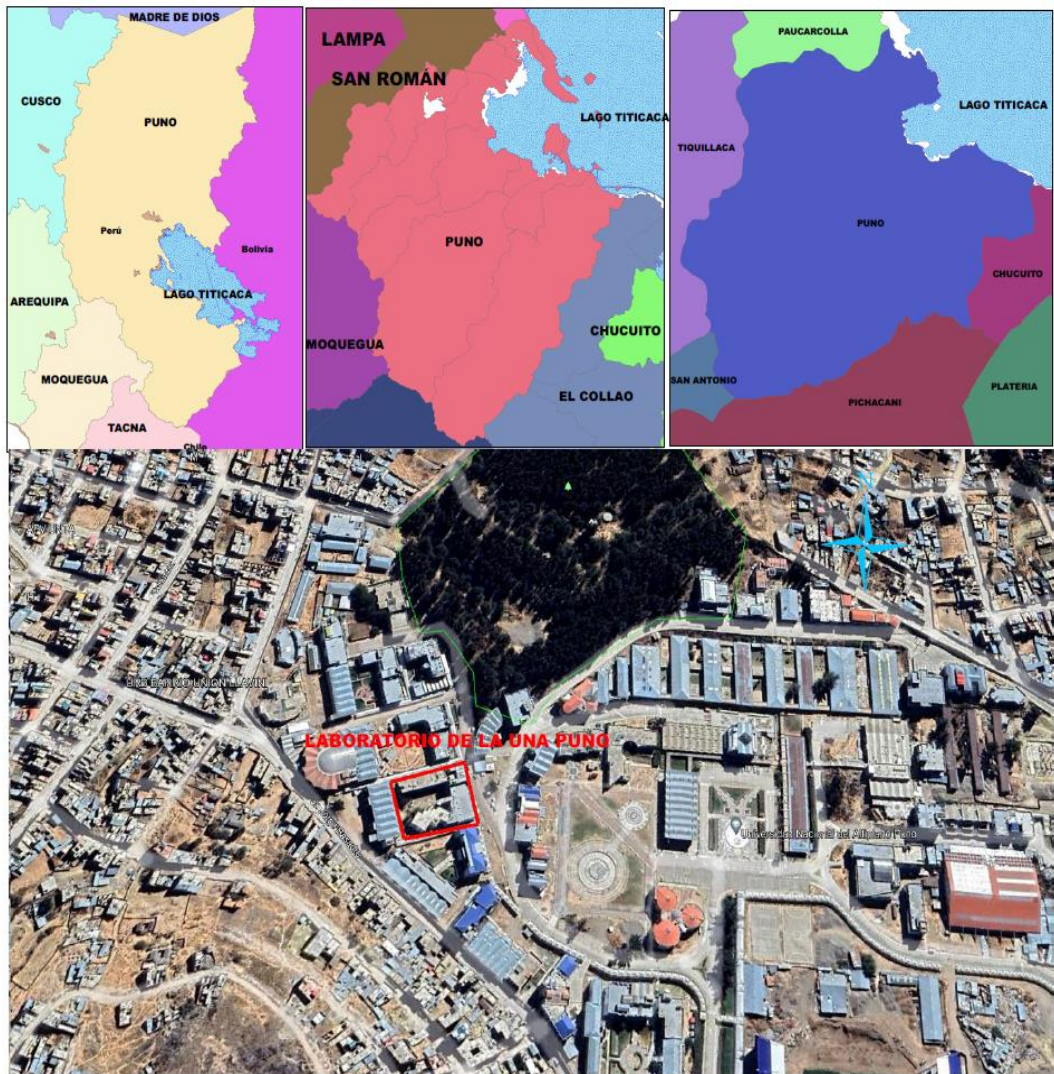
Tabla 15*Ubicación de la instalación del laboratorio de la UNA - PUNO*

Localización		Coordenadas UTM	
Dirección	: Av. Floral N° 1153	Norte	: 8'250,265.00
Distrito	: Puno	Este	: 390,944.00
Provincia	: Puno	Altitud	: 3,837.00 msnm
Región	: Puno		

Nota. Se efectuó el diseño de la mezcla, los ensayos de propiedades de unidades y pilas. Fuente: Equipo de trabajo.

Figura 9

Ubicación de laboratorio de construcciones, suelos y materiales



Nota. Se visualiza la ubicación de ejecución de ensayos experimentales de la investigación.
Fuente: Equipo de trabajo.

Además, se realizó en el laboratorio G&C Geotechnik el ensayo de resistencia flexión y en el laboratorio GeoControl Total el ensayo de resistencia a corte de prismas de muretes de albañilería. En la Tabla 15, 16 y 17 se puede apreciar las ubicaciones los laboratorios. Así mismo, en la Figura 9, 10 y 11 se muestra la imagen satelital facilitada por Google Maps.

Tabla 16

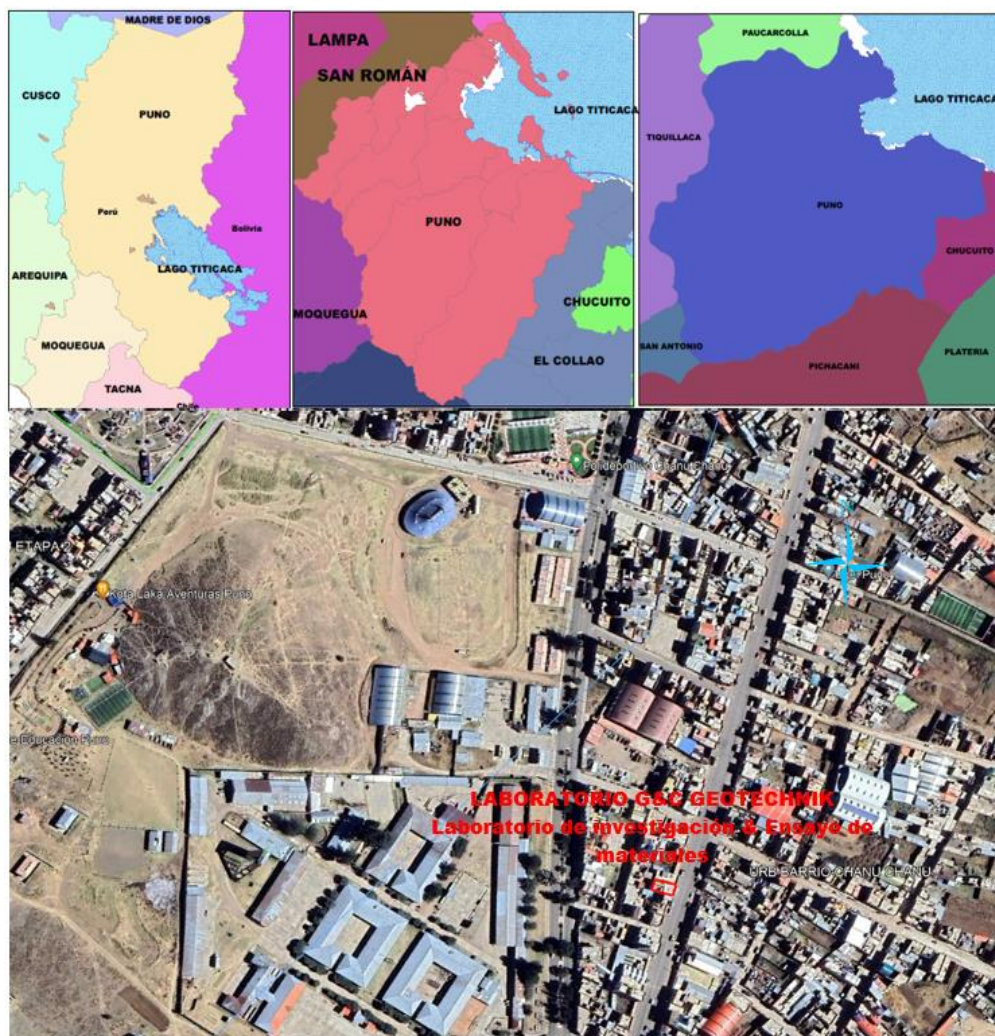
Ubicación de la instalación del laboratorio G&C Geotechnik

Localización		Coordenadas UTM	
Dirección	: Av. Simón Bolívar N° 2740	Norte	: 8' 246,734.50
Distrito	: Puno	Este	: 392,072.27
Provincia	: Puno	Altitud	: 3,830.02 msnm
Región	: Puno		

Nota. Se realizó la prueba de la resistencia a la flexión. Fuente: Equipo de trabajo.

Figura 10

Ubicación del laboratorio GyC Geotechnik en la ciudad de Puno



Nota. Se visualiza la ubicación de ejecución de ensayo de resistencia a flexión. Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 17

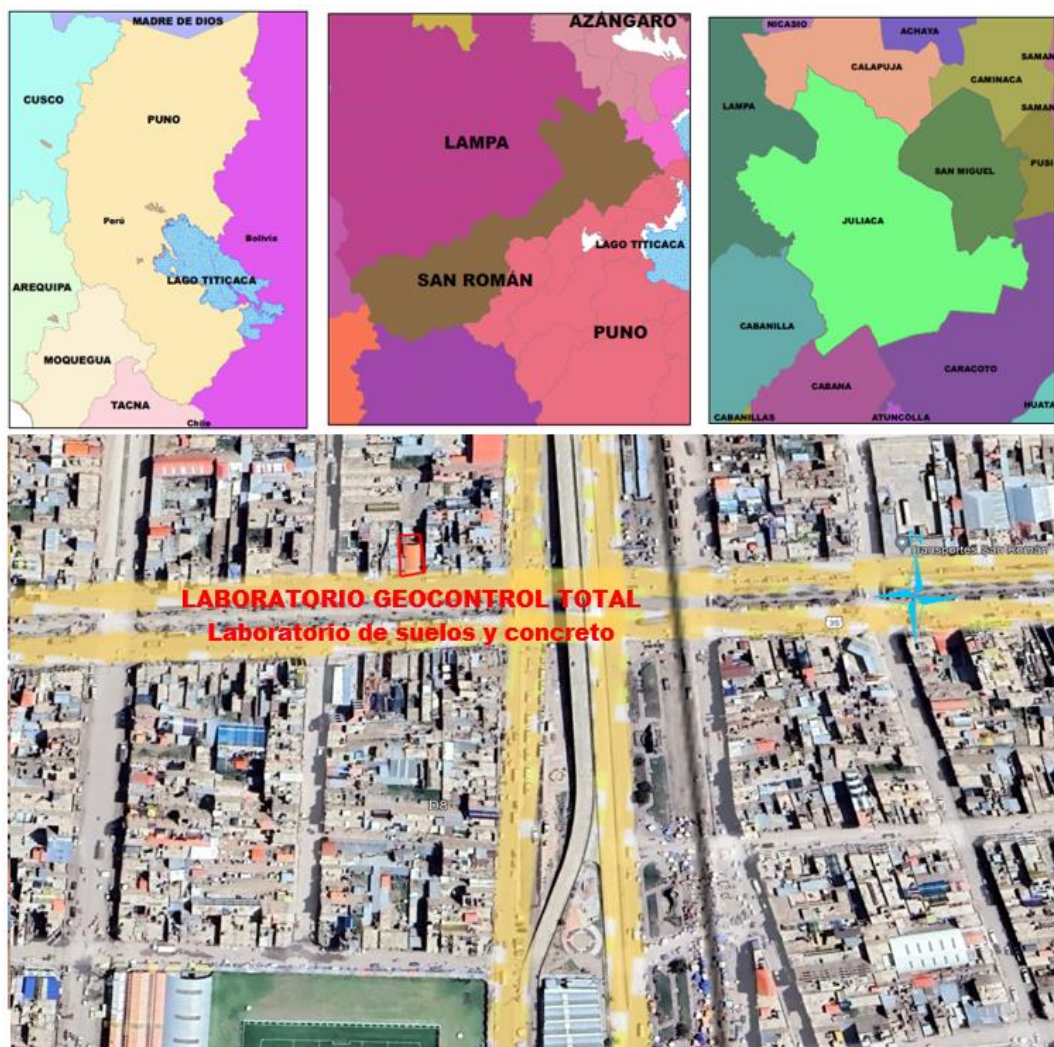
Ubicación de la instalación del laboratorio GeoControl Total

Localización		Coordenadas UTM	
Dirección	: Av. Circunvalación N° 1728	Sur	: 8'288,120.00
Distrito	: Juliaca	Este	: 378,071.00
Provincia	: San Román	Altitud	: 3,831.00 msnm
Región	: Puno		

Nota. Se realizó la prueba resistencia a corte (Muretes). Fuente: Equipo de trabajo.

Figura 11

Ubicación del laboratorio GeoControl Total en la ciudad de Juliaca.



Nota. Se visualiza la ubicación de ejecución de ensayo de resistencia a corte. Fuente: Equipo de trabajo.



3.6. TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El tiempo de duración de la siguiente investigación es de 1 año y un mes; desde agosto de 2022 a setiembre del 2023.

3.7. DISEÑO ESTADÍSTICO

3.7.1. Prueba de normalidad

El método para verificar que los valores muestrales de la variable dependiente presentan una distribución normal, se encuentra entre lo más populares la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la primera se utiliza cuando se verifica que el tamaño de muestra es igual o inferior de 30; la segunda para muestras grandes (Delgado, 2004). Actualmente se encuentran distintos programas computacionales para validar la normalidad. En esta investigación se usó el software estadístico SPSS, teniendo en cuenta que solo se tiene una muestra menor a 30, por lo cual se recurre a la prueba de Shapiro-Wilks.

3.7.1.1. Prueba de Shapiro-Wilks

Gutiérrez y De la Vara (2012) considera que los datos muestrales proceden de una distribución no conocida. Por ende, se quiere evaluar si los datos de la variable dependiente tienen la distribución aproximadamente normal por medio de hipótesis estadísticas:

Hipótesis estadísticas

H_0 : Los datos no son distintas a la distribución normal.

H_1 : Los datos son distintas a la distribución normal.

Regla de decisión

Si **p-valor** ≤ 0.05 , rechace la hipótesis nula.

Si **p-valor** > 0.05 , no rechace la hipótesis nula.

Por último, si el p-valor supera al nivel de significancia $\alpha = 0.05 = 5\%$, significa que los datos proceden de una distribución normal (Martínez et al., 2020).

3.7.2. Análisis paramétrico

Hernández y Mendoza (2018) señalan que se efectúa a partir de las siguientes condiciones: los datos provienen de una distribución normal, con niveles de medición razón o intervalo, varianza homogénea entre grupos. Por ende, si cumple los criterios señalados, se selecciona la prueba estadística paramétrica. En la investigación se usó la prueba paramétrica de coeficiente de correlación de Pearson y ANOVA.

3.7.2.1. Prueba de coeficiente de correlación de Pearson

Quezada (2010) indica que esta prueba permite analizar si las variables se asocian entre ellas, pero no evalúa la casualidad. El coeficiente (r) se deduce con la Ecuación (2):

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (2)$$

Donde:

- **n** : Número datos muestrales
- **x** : Valores de x



- y : Valores de y

Los valores de coeficiente de correlación r varia en el rango de $[-1,1]$; para la interpretación del valor de r según los autores Hernández et. al (2010) señala:

- ± 0.90 = Correlación muy elevada
- ± 0.75 = Correlación elevada
- ± 0.50 = Correlación regular
- ± 0.25 = Correlación baja
- ± 0.10 = Correlación muy baja
- 0.00 = No presenta correlación

El signo (+) indica una correlación positiva y (-) correlación negativa. Para la prueba de hipótesis estadísticas:

Hipótesis estadísticas

$H_0: \rho = 0$ No existe una correlación

$H_1: \rho \neq 0$ Existe una correlación

Regla de decisión

Si **p-valor** ≤ 0.05 , rechace la hipótesis nula.

Si **p-valor** > 0.05 , no rechace la hipótesis nula.

Entonces, si el p-valor es bajo con respecto al nivel de significancia $\alpha = 0.05 = 5\%$, significa que existe una correlación entre las variables (Triola, 2018).

3.7.2.2. Prueba análisis de varianza (ANOVA)

Hernández y Mendoza (2018) señala que la prueba permite determinar si presenta las diferencias significativas entre ellas y compara las medias de varias muestras. Además, Gutiérrez y De la Vara (2012) indican que su objetivo es realizar la prueba de hipótesis mediante la igualdad de los tratamientos frente a la media de la variable de respuesta:

Hipótesis estadísticas

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

$H_1: \mu_i \neq \mu_j$ para algún $i \neq j$ Al menos un efecto es diferente de cero.

Por último, no rechazar H_0 se afirma que el efecto sobre los k tratamientos es estadísticamente μ y en cambio, rechazar H_0 significa que al menos un efecto es diferente de μ .

Tabla 18

Tabla ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	F_0
Entre las muestras	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$k - 1$	$CM_{Trat} = \frac{SC_{Trat}}{k - 1}$	$F_0 = \frac{CM_{Trat}}{CM_{Error}}$
Dentro de las muestras	$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$N - k$	$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{N - k}$	
Total	$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$N - 1$		

Nota. SC_{Trat} = Suma de cuadrados de tratamientos; SC_{Error} = Suma de cuadrados de error; SC_{Total} = Suma total de cuadrados; CM_{Trat} = Cuadrado medio de tratamientos; CM_{Error} = Cuadrado medio de error; F_0 = Razón F. Adoptado de Estadística para Ingenieros y Científicos (p.630), Navidi (2006).



Donde:

- N_i : Número total de pruebas en tratamiento
- k : Número total de grupos
- $\bar{x}_{..}$: Media total de las pruebas en tratamiento
- \bar{x}_i : Media por grupo

En consecuencia, se puede concluir que hay diferencias y/o efectos en las medias de los grupos con tratamiento de fibras PET reciclado cuando:

$$F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$$

La variable aleatoria F_0 se distribuye de acuerdo con una distribución F, con grados de libertad $(k-1)$ en el numerador y $(N-k)$ en el denominador. El análisis de varianza (ANOVA) correspondiente se presenta de manera resumida en la Tabla 18.

En la presente investigación para el contraste de hipótesis se evalúa inicialmente la normalidad de los datos; luego se verifica la asociación de variables mediante la prueba de coeficiente de correlación de Pearson y finalmente se aplica el estadístico de prueba paramétrica ANOVA.

3.8. PROCEDIMIENTO

3.8.1. Extracción de agregado

3.8.1.1. Agregado fino

Para la investigación el agregado fino fue obtenido de la cantera de la comunidad de Alfaro – El Collao, la cual se encuentra ubicado a 1.5 km

de la panamericana Sur entre Puno y Desaguadero. Esta cantera es aprovechada para el material de construcción de viviendas autoconstruidas y diferentes obras de infraestructura civil; en esta situación para la fabricación de ladrillos de concreto. En la Tabla 19, se detalla la posición del banco de material.

Tabla 19

Ubicación de la cantera de agregado fino

Cantera	Departamento	Provincia	Distrito	Coordenadas UTM	
				Este (X)	Norte (Y)
Comunidad Alfaro	Puno	El Collao	Ilave	427,691.00	8°217,587.00

Nota. Se muestra la ubicación de la cantera de donde fue extraído el material de agregado fino. Fuente: Equipo de trabajo.

En la Figura 12 se visualiza el material obtenido por los tesisistas, según las exigencias de la NTP 400.010 (2016).

Figura 12

Extracción del agregado fino



Nota. Se muestra la cantera de la comunidad de Alfaro, en la provincia de El Collao. Fuente: Equipo de trabajo.

3.8.2. Muestreo de materiales para los ensayos

Para efectuar el muestreo de la cantera de la comunidad de Alfaro, se basó en el procedimiento señalado de la NTP 400.010 (2016), en donde indica que se selecciona la muestra al azar y se obtiene al menos tres incrementos iguales del lugar que es muestreada, esta se combina para obtener una muestra igual o superior a la sugerida en la Tabla 20, requeridas a efectos de realizar los ensayos del agregado.

De acuerdo a la Tabla 20, se determinó la cantidad de muestra según el T.M.N. especificada, para un T.M.N. de N° 4 se requiere mínimamente 10 kg; se optó una muestra de 20 kg con fines de caracterización del agregado.

Tabla 20

Medida de masa de la muestra

Tamaño agregado	Masa de la muestra de campo, min. kg (lbs)	Muestra de campo Volumen, min L (Gal)
Agregado fino		
2.36 mm (N° 8)	10 (22)	8 (2)
4.75 mm (N° 4)	10 (22)	8 (2)
Agregado grueso		
9.5 mm (3/8 in.)	10 (22)	8 (2)
12.5 mm (1/2 in.)	15 (35)	12 (3)
19.0 mm (3/4 in.)	25 (55)	20 (5)
25.0 mm (1 in.)	50 (110)	40 (10)
37.5 mm (1 1/2 in.)	75 (165)	60 (15)
50.0 mm (2 in.)	100 (220)	80 (21)
63.0 mm (2 1/2 in.)	125 (275)	100 (26)
75.0 mm (3 in.)	150 (330)	120 (32)
90.0 mm (3 1/2 in.)	175 (385)	140 (37)

Nota. Cantidad de masa recomendada para efectuar los ensayos en el laboratorio. Tomado de AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras (p. 6), por INACAL - NTP 400.010. (2016).



3.8.3. Propiedades físicas del agregado

3.8.3.1. Análisis granulométrico de agregado fino

La muestra empleada en la investigación proveniente de la cantera de la comunidad de Alfaro – El Collao, se redujo a una muestra representativa superior a los 300 g mediante el procedimiento de método B – Cuarteo según la NTP 400.043 (2015); se efectuó la separación de material a través de mallas que tienen aberturas de forma decreciente, para obtener el porcentaje de material retenido en el tamiz frente al peso inicial, que se basa según la NTP 400.012 (2018).

a) Materiales y equipos

- Balanza de precisión a 0.1g
- Tamices para material fino
- Bandejas y recipientes para la muestra
- Brocha y cepillo

b) Procedimiento

- Se secó la muestra obtenida de la cantera a temperatura ambiente durante el transcurso del día.
- La muestra se redujo según mecanismo de cuarteo descrito en la NTP 400.043 (2015) a una cantidad deseada de 950.43 g que supera los 300 g. Como mínimo para efectuar el ensayo.
- Se seleccionó y ordenó los tamices de forma decreciente según la abertura; la muestra seca se dispuso encima del tamiz 4.75 mm (N° 4). Luego se realizó el tamizado manualmente durante 1 min.,

teniendo en cuenta al finalizar que no supere el 1% de masa retenida en cada tamiz.

- Se registro el peso retenido de cada tamiz en la balanza de aproximación a 0.1g, como se muestra en la Figura 13. Además, se comprobó que la masa final de la muestra no varíe en 0.3% respecto a la masa inicial.

Figura 13

Análisis granulométrico de agregado fino



Nota. Se visualiza las muestras retenidas en cada tamiz durante el ensayo de análisis granulométrico. Fuente: Equipo de trabajo.

c) Cálculos

Se proporciona el resultado del análisis granulométrico del agregado fino en la Tabla 21. Además, en la Figura 14 se exhibe la representación gráfica de la distribución granulométrica del agregado fino ensayado, la cual se sitúa dentro de los límites establecidos por los husos granulométricos especificados en la norma NTP 400.037 (2018).

Tabla 21

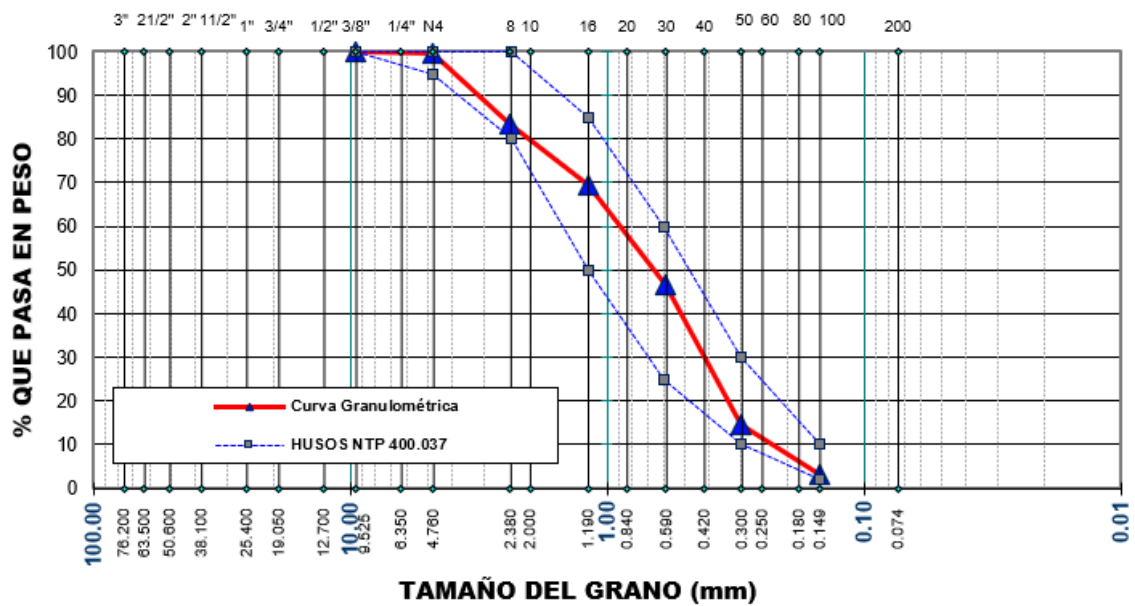
Granulometría

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acum. (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8"	9.5	0	0	0	100
N° 4	4.75	3.17	0.33	0.33	99.67
N° 8	2.36	154.76	16.30	16.64	83.36
N° 16	1.18	133.81	14.09	30.73	69.27
N° 30	0.60	216.76	22.83	53.56	46.44
N° 50	0.30	303.94	32.02	85.58	14.52
N° 100	0.15	106.35	11.20	96.78	3.22
N° 200	0.075	21.16	2.23	99.01	0.99
Base		9.41	0.99	100.00	0.00
Total		949.36	100.00		
% pérdida		0.11			

Nota. Se muestra el peso retenido en cada tamiz durante el ensayo en el laboratorio y su cálculo de porcentaje retenido, porcentaje acumulado retenido y porcentaje que pasa en el tamiz. Fuente: Equipo de trabajo.

Figura 14

Curva granulométrica



Nota. Se muestra la gráfica granulométrica correspondiente al agregado fino, que cumple los usos señalados en la NTP 400.037. Fuente: Equipo de trabajo.

d) Módulo de fineza (mf)

El M.F. se calculó sumando el porcentaje retenido de serie de tamices: 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100; el resultado se dividió en 100 que se basa según la NTP 400.012 (2018).

El M.F. se calculó con la Ecuación (3):

$$mf = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado}}{100} \quad (3)$$
$$mf = \frac{0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.33 + 16.64 + 30.73 + 53.56 + 85.58 + 96.78}{100}$$
$$mf = 2.84$$

e) Tamaño máximo

La NTP 400.037 (2018), indica que es el inferior tamiz por el cual pasara toda la muestra durante el tamizado, en la Tabla 22 se tiene:

Tabla 22

Tamaño máximo de agregado

Descripción	Tamiz
Tamaño máximo de agregado	3/8"

Nota. Se determinó del ensayo de análisis granulométrico. Fuente: Equipo de trabajo.

f) Tamaño máximo nominal (T.M.N.)

La NTP 400.037 (2018), define que es el inferior tamiz por el cual se presenta su primer retenido de 5% y 10%, en la Tabla 23 se tiene:

Tabla 23

Tamaño máximo nominal de agregado

Descripción	Tamiz
T.M.N.	N° 4 (4.75mm)

Nota. Se cálculo de la Tabla 21. Fuente: Equipo de trabajo.

3.8.3.2. Contenido de humedad

Para deducir el contenido de humedad, la muestra extraída de la cantera se redujo a muestras representativas solicitadas de acuerdo al T.M.N. que superan los 500 g, y se efectuó según el método B – Cuarteo que especifica en la NTP 400.043 (2015); se colocaron las muestras al horno a temperatura controlada hasta obtener una masa seca constante, para luego realizar los cálculos, el ensayo se basa según la NTP 339.185 (2018).

a) Materiales y equipos

- Balanza con precisión a 0.1g
- Horno
- Bandejas y recipientes (tara)
- Cuchara de metal y espátula

b) Procedimiento

- Se seleccionó el tamaño de muestra según la Tabla 24 teniendo en cuenta el T.M.N. y se redujo a una muestra requerida utilizando el método de cuarteo.
- Se determina el peso de recipiente de la tara y se añade su identificación.



- La muestra húmeda se pesa junto con el recipiente de la tara.
- Se coloca el recipiente de la tara junto a la muestra húmeda en el horno a una temperatura igual a 110 ± 5 °C y esta debe ser constante. como se muestra en la Figura 15, durante 24 hr. Teniendo en cuenta que la masa estará seca cuando se aplique calor adicional que genere una pérdida adicional de 0.1% de masa.
- Se remueve la muestra seca más el recipiente de la tara del horno, para luego dejarlo enfriado lo suficiente. Finalmente, se pesa la masa en la balanza y el recipiente de la tara.

Tabla 24

Cantidad de muestra para el ensayo

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg.)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4.75 (N° 4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2.0
19.0 (3/4)	3.0
25.0 (1)	4.0
37.5 (1 ½)	6.0
50.0 (2)	8.0
63.0 (2 ½)	10.0
75.0 (3)	13.0
90.0 (3 ½)	16.0
100.0 (4)	25.0
150.0 (6)	50.0

Nota. Tamaño de muestra requerida para efectuar el ensayo en el laboratorio. Tomado de AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado (p. 5), por INACAL - NTP 339.185 (2018).

Figura 15

Muestra húmeda en el horno



Nota. Se muestra las muestras húmedas de agregado fino en el interior del horno luego de reducir la muestra por cuarteo. Fuente: Equipo de trabajo.

c) Cálculos

Tabla 25

Contenido de humedad

Descripción	Recipiente de la tara		
	Z-03	RM-1	A-2
Peso de tara (g)	64.98	89.97	59.96
Peso de tara + M. húmeda (g)	580.01	664.99	644.95
Peso de tara + M. seca (g)	574.99	659.96	639.98
Peso de agua (g)	5.02	5.03	4.97
Peso de muestra seca (g)	510.01	569.99	580.02
Contenido de humedad (%)	0.98	0.88	0.86
Promedio de contenido humedad (%)	0.91		

Nota. En el agregado fino. Fuente: Equipo de trabajo.

Se utiliza la Ecuación (4):

$$w(\%) = \frac{W_W - W_D}{W_D} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

- **w (%)**: Porcentaje de humedad en la muestra

- W_W : Peso con muestra húmeda
- W_D : Peso con muestra seca

3.8.3.3. Peso específico y absorción de los agregados finos

Es un indicador de la calidad de este mismo, mientras más peso tenga el agregado indica un material de buen comportamiento, y si es de bajo peso indica un material muy absorbente y débil.

a) Materiales y equipos

Figura 16

Instrumentos para el ensayo



Nota. Se muestra los instrumentos necesarios para efectuar el ensayo. Fuente: Equipo de trabajo.

- Balanza con precisión a 0.1g
- Frasco volumétrico de 500 cm³
- Molde cónico metálico
- Varilla metálica
- Recipientes de metal
- Cocina y gas para el secado uniforme
- Cucharones

- Pipeta
- Horno Eléctrico

b) Procedimiento

- Teniendo la muestra, se procede a mezclar y por medio de cuarteo señalado en la NTP 400.043 (2015), se obtiene 1 kg aproximadamente de muestra como se visualiza en la Figura 17, la cual se somete al horno a 110 °C con temperatura controlada.
- Seguidamente, se sumerge la muestra reducida en un recipiente con agua, se satura por un día (24 horas), cumplido el tiempo de saturación se vacía el agua en exceso del recipiente, evitando perder el agregado fino.
- Para obtener estado superficialmente seco, se utiliza una cocina y los materiales que se muestra en la Figura 16; a continuación, se extiende sobre una bandeja plana la muestra saturada de agregado fino, esta se remueve constantemente hasta determinar el SSS.

Figura 17

Ensayo de cuarteo de la muestra



Nota. Se muestra la reducción hasta un 1 kg por el método del cuarteo del agregado fino para el ensayo respectivo. Fuente: Equipo de trabajo.

- Se pesa el frasco volumétrico (picnómetro) seco y vacío.
- En seguida, se pesó 500 g de estado superficialmente seco SSS, el cual se dispuso en el frasco volumétrico (picnómetro), luego completo la cantidad de agua hasta alcanzar aproximadamente el 90% de su límite del picnómetro.
- Seguidamente se gira y agita el frasco volumétrico (picnómetro) hasta eliminar completamente las burbujas de aire, este método se usó manualmente; su giro se basa sobre el cuello del picnómetro y cubierta con una franela. Una vez suprimido el contenido de aire se introduce a un recipiente con temperatura de $23.0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$; este método se realiza por tres ciclos. Luego, se llena el recipiente hasta el nivel y la marca del picnómetro, como se visualiza el procedimiento en la Figura 18.

Figura 18

Proceso de la prueba peso específico y absorción



Nota. Se visualiza el proceso para obtener los datos primigenios del ensayo de laboratorio.

Fuente: Equipo de trabajo.



- Se pesó, el picnómetro, la muestra y agua.
- A continuación, se retira del picnómetro el agregado fino y agua, en una tara; para obtener la muestra seca en el horno a 110°C con su rango de error de $\pm 5^\circ\text{C}$ por un día (24 hr).
- Después de 24 hr se pesa la tara junto con el agregado fino seco.

c) Cálculos

Con los datos registrados de gravedad específica y absorción, detallados en la Tabla 26, se lleva a cabo el cálculo utilizando las ecuaciones (5), (6) y (7):

Tabla 26

Datos de la prueba gravedad específica y absorción

Descripción	Peso (g)
(S) Peso de la muestra SSS	500.00
(B) Peso del frasco + peso de agua (23°C, 4 ciclos de 15 min, 1 hora total)	708.13
(C) Peso de la muestra SSS + peso del frasco + peso del agua	1010.90
(A) Peso de la muestra secada al horno	487.78
Peso muestra secada al horno + tara (24 horas)	569.75
Peso de tara	81.97

Nota. En el agregado fino y datos recopilados en laboratorio. Fuente: Equipo de trabajo.

- Peso específico aparente:

$$Ge_a = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (5)$$

$$Ge_a = \frac{487.78}{(708.13 + 500.00 - 1010.90)}$$

$$Ge_a = 2.47$$

- Peso específico aparente SSS:

$$Ge_{SSS} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (6)$$



$$Ge_a = \frac{500.00}{(708.13 + 500.00 - 1010.90)}$$

$$Ge_a = 2.54$$

- Porcentaje de absorción (%):

$$\% Abs. = \left(\frac{S - A}{A} \right) \times 100 \quad (7)$$

$$\% Abs. = \left(\frac{500.00 - 487.78}{487.78} \right) \times 100$$

$$\% Abs. = 2.51\%$$

Donde:

- **S** : Peso de la muestra SSS.
- **B** : Peso del frasco y agua.
- **C** : Peso de la muestra SSS + frasco + agua.
- **A** : Peso de la muestra secada al horno.

3.8.3.4. Peso unitario suelto y compactado del agregado

La prueba se basa según la NTP 400.017 (2016).

a) Materiales y equipos

- Balanza con precisión a 0.1g
- Molde metálico con el fondo y borde pulido.
- Varilla de 5/8" (liso) para la compactación.
- Pala o cucharón.

b) Procedimiento

Peso Unitario Suelto (P.U.S.)

- Se selecciona el molde metálico cilíndrico, la altura estará comprendida de 80 – 150% del diámetro.
- La muestra representativa se obtuvo por cuarteo NTP 400.043 (2015).
- Se agrega la muestra con el cucharón desde una altura no mayor a 2” (50 mm) hasta su reboce del molde metálico, según la Figura 19.

Figura 19

Colocado de la muestra en el molde metálico para Peso Unitario Suelto



Nota. Se muestra el colocado de la muestra representativa. Fuente: Equipo de trabajo.

- Se elimina el agregado fino sobrante del molde metálico con la varilla o una regla.
- Se pesa el molde metálico y la muestra; se registra los datos.
- El proceso se realiza tres veces y se promedia los tres resultados.

Peso Unitario Compactado (P.U.C.)

- Se selecciona el molde metálico cilíndrico con las dimensiones ya mencionadas anteriormente, se pesa el molde vacío en la balanza. Además, se determina el diámetro y la altura para hallar su volumen.
- La muestra representativa se obtuvo según el método B – Cuarteo que señala en la NTP 400.043 (2015). La muestra se coloca en tres capas

en el molde metálico cilíndrico, cada capa se compacta con la varilla de 5/8" (liso) con 25 golpes como en la Figura 20, su distribución debe ser uniforme siempre evitando golpear el fondo.

Figura 20

Compactado de la muestra junto al molde



Nota. Ejecución del ensayo. Fuente: Equipo de trabajo.

- Terminado el apisonado se enraza con la varilla. Finalmente, se pesa el molde cilíndrico y la muestra en la balanza.

c) Cálculos

En la Tabla 27 y 28 se muestra los datos obtenidos en el laboratorio:

Tabla 27

Datos de la prueba peso unitario suelto

Descripción	Ensayo		
	I	II	III
Peso del molde (g)	3,465.00	3,465.00	3,465.00
Peso molde + muestra (g)	14,260.00	14,215.00	14,280.00
Peso de la muestra (g)	10,795.00	10,750.00	10,815.00
Volumen del molde (cm ³)	7,056.61	7,056.61	7,056.61

Nota. En el agregado fino y datos recopilados en laboratorio. Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 28*Datos de la prueba peso unitario compactado*

Descripción	Ensayo		
	I	II	III
Peso del molde (g)	3,465.00	3,465.00	3,465.00
Peso molde + muestra (g)	15,045.00	15,085.00	15,070.00
Peso de la muestra (g)	11,580.00	11,620.00	11,605.00
Volumen del molde (cm ³)	7,056.61	7,056.61	7,056.61

Nota. En el agregado fino y datos recopilados en laboratorio. Fuente: Equipo de trabajo.

Con los registros de datos se determina el Peso Unitario Suelto y Compactado para lo cual se usó las ecuaciones (8) y (9):

- **Peso Unitario Suelto (P.U.S.)**

$$P.U.S. = \frac{\text{Peso del agregado fino suelto}}{\text{Volumen del molde}} \quad (8)$$

$$P.U.S._I = \frac{10,795.00}{7,056.61} = 1.53$$

$$P.U.S._{II} = \frac{10,750.00}{7,056.61} = 1.52$$

$$P.U.S._{III} = \frac{10,815.00}{7,056.61} = 1.53$$

$$P.U.S. = \frac{1.53 + 1.52 + 1.53}{3} = 1.53 \text{ gr/cm}^3 = 1529 \text{ kg/m}^3$$

- **Peso Unitario Compactado (P.U.C.)**

$$P.U.C. = \frac{\text{Peso del agregado fino compactado}}{\text{Volumen del molde}} \quad (9)$$

$$P.U.C._I = \frac{11,580.00}{7,056.61} = 1.64$$

$$P.U.C._{II} = \frac{11,620.00}{7,056.61} = 1.65$$

$$P.U.C._{III} = \frac{11,615.00}{7,056.61} = 1.64$$

$$P. U. C. = \frac{1.64 + 1.65 + 1.64}{3} = 1.64 \text{ gr/cm}^3 = 1644 \text{ kg/m}^3$$

3.8.4. Elaboración de las fibras PET reciclado

3.8.4.1. Reciclado mecánico de las botellas PET

Figura 21

Acopio y cúmulo de botellas recicladas



Nota. Se muestra el cúmulo de las botellas recicladas por los investigadores para efectuar el proceso de limpieza. Fuente: Equipo de trabajo.

La obtención de las botellas PET se efectuó por medio de reciclado mecánico – manual con diferentes marcas como: Coca-Cola, Inca Kola y Pepsi por su espesor y su transparencia opaca. Se recicló 12 kg de botellas PET requerida para elaborar las fibras PET, como se visualiza en la Figura 21.

3.8.4.2. Limpieza y lavado de las botellas PET reciclado

Las botellas recicladas se seleccionaron, despejaron las etiquetas y se desecharon las tapas, la zona de cuello y la parte inferior de las mismas; el proceso de lavado y limpieza se efectuó con detergente para eliminar bacterias, parásitos y etc., que se visualiza en la Figura 22. Posteriormente,

se procedió a secar las botellas a temperatura ambiente, con las cuales se elaborará las fibras.

Figura 22

Lavado del cuerpo de las botellas PET recicladas seleccionadas



Nota. Se muestra el lavado y limpieza del cuerpo de las botellas PET reciclado con detergente. Fuente: Equipo de trabajo.

3.8.4.3. Geometría de las fibras tereftalato de polietileno (PET)

De acuerdo a la Figura 23 se muestra las formas de la geometría de las fibras PET. Para continuar esa línea de investigación, según Kumar y Kumar (2018), la longitud de la fibra PET es dos a tres veces del T.M.N. del agregado.

El T.M.N. del agregado en la investigación es la N°4 (4.75 mm), por lo tanto, la longitud de la fibra PET se definió en 15 mm (1.5 cm) por un ancho de 2 mm de sección rectangular y sin textura de la superficie. Corte y obtención de la estructura de la fibra PET reciclado.

Para obtener la fibra PET con una estructura uniforme u homogénea se efectuó con el uso de un equipo de corte que es la guillotina; de los cuales se obtuvieron tamaños de 15x2mm, en donde la longitud es

15 mm y su ancho correspondiente a 2 mm. Como es mostrado en la Figura 24.

Figura 23

Geometrías de las fibras PET.

FIBER DIMENSION					
	THIN STRAIGHT SLIT FIBER	BROAD WIDTH STAIGHT SLIT FIBER	CENTER HOLED FIBER	2 SIDE CIRCULAR CUT FIBER	1 SIDE CIRCULAR CUT FIBER
PLAN AREA	150mm ²	250mm ²	441.095 mm ²	441.095 mm ²	220.55 mm ²

Nota. Diferentes formas geometrías de las fibras PET reciclados. Tomado de Effect of Geometry of Recycled Pet Fiber on The Properties of Concrete For Rigid Pavement (p.25023), por Kumar y Kumar 2018, International Journal of Recent Scientific Research Vol. 9, 3(F).

Figura 24

Corte y obtención de la fibra PET de 15x2mm



Nota. Se muestra la producción de las fibras PET utilizando una guillotina, con dimensiones requeridas de 15x2mm. Fuente: Equipo de trabajo.

3.8.5. Diseño de mezclas de concreto patrón $f'_c = 140 \text{ kg/cm}^2$

Luego de realizar los ensayos correspondientes, se empleó el diseño de concreto con una resistencia especificada de $f'_c = 140 \text{ kg/cm}^2$, siguiendo las directrices del ACI 211. Este diseño busca una proporción óptima entre sus componentes, incluyendo cemento, agregado fino y agua. En el marco de la investigación, se incorporaron porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% de PET reciclado en relación al peso del cemento. Se llevó a cabo una evaluación para analizar las influencias de estos porcentajes en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo.

3.8.5.1. Resistencia promedio requerida (f'_{cr})

De la Tabla 29, se efectuó la selección de la resistencia promedio de diseño mediante la Ecuación (10); dado que nuestro diseño es $f'_c=140 \text{ kg/cm}^2$ para elaborar la unidad de albañilería.

Tabla 29

Resistencia promedio

$f'_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	f'_{cr}
< de 210	$f'_c + 70$
De 210 a 350	$f'_c + 84$
> de 350	$f'_c + 98$

Nota. Selección de resistencia promedio requerida (f'_{cr}). Tomado de Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91), por ACI 211.1. (1991).

$$f'_{cr} = f'_c + 70 \quad (10)$$

$$f'_{cr} = 140 + 70$$

$$f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2$$

3.8.5.2. Selección del asentamiento según requerimiento

De la Tabla 30, se ha seleccionado una consistencia seca que igual a 0"-2", para asegurar la calidad y trabajabilidad del concreto en la creación de la unidad de albañilería añadiendo fibras PET reciclado.

Tabla 30

Selección tipo de consistencia

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" - 2"
Plástica	3" - 4"
Fluida	≥ 5"

Nota. Clasificación de mezcla de concreto según su consistencia. Tomado de Tecnología del Concreto (p. 63), por Abanto C., (2018).

3.8.5.3. Volumen unitario de agua

En la investigación se tiene el T.M.N. de N°4 (4.75 mm), en donde se aproximó al inmediato superior de 3/8" y asentamiento (Slump) de 1" a 2". Según la Tabla 31, se seleccionó de acuerdo al T.M.N. del agregado, para el diseño se usó el volumen unitario de 207 l/m³.

Tabla 31

Cantidad de agua de diseño

Slump Asentamiento (pulg.)	Agua en l/m ³ , para los tamaños máximos nominales de agregados y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	Concretos sin aire incorporado							
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	--

Nota. En la investigación se tiene una consistencia seca de 1 a 2". Tomado de Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) (p.8), por ACI 211.1. (1991).

3.8.5.4. Selección del contenido de aire

De la Tabla 32, se seleccionó el 3% de aire atrapado, el cual se consideró el inmediato superior a la N°4 que es 3/8”.

Tabla 32

Aire atrapado

T. M. N.	Aire Atrapado
3/8”	3.0 %
1/2”	2.5 %
3/4”	2.0 %
1”	1.5 %
1 1/2”	1.0 %

Nota. Se seleccionó 3% de aire atrapado. Tomado de Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) (p.8), por ACI 211.1. (1991).

3.8.5.5. Selección de relación de a/c

La elección de la relación agua/cemento (a/c) se basa en la resistencia promedio, como se indica en la Tabla 33:

Tabla 33

Relación a/c de acuerdo a su resistencia f'_{cr} .

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'_{cr}) (kg/cm²)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Nota. Relación de agua-cemento según su resistencia promedio requerida f'_{cr} . Tomado de Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) (p.8), por ACI 211.1. (1991).



De la Tabla 33, se obtiene la interpolación del límite superior y la inferior del cálculo siguiente:

$$\begin{array}{cc} f'_{cr} & a/c \\ \left(\begin{array}{c} 250 \\ 210 \\ 200 \end{array} \right) & \left(\begin{array}{c} 0.62 \\ x \\ 0.70 \end{array} \right) \end{array}$$

De la interpolación se deduce la relación de agua-cemento:

$$\frac{250 - 200}{210 - 200} = \frac{0.62 - 0.70}{x - 0.70}$$

Resolviendo se obtiene:

$$x = 0.68$$

Entonces, efectuando cálculos se tiene:

$$a/c = 0.68$$

3.8.5.6. Factor cemento

Para determinar el factor cemento puede expresarse como en la Ecuación (11):

$$F.C. = \frac{\text{Volumen Unitario de agua}}{\text{Relación } a/c} \quad (11)$$

$$F.C. = \frac{207 \text{ L/m}^3}{0.68} = 304.41 \text{ kg/m}^3$$

$$F.C. = \frac{304.41 \text{ kg/m}^3}{42.5 \text{ kg}} = 7.16 \cong 7.2 \text{ bolsas/m}^3$$

3.8.5.7. Cálculo del volumen absoluto

Conociendo el peso de componentes del agua, cemento y el contenido de aire; entonces se procede a calcular el volumen absoluto de

los componentes de concreto y se obtiene el peso del agregado fino para cada material por metro cúbico mediante la Ecuación (12).

Volúmenes absolutos de los componentes:

$$\text{Volúmen Absoluto} = \frac{\text{Peso Seco}}{p. e. \times 1000} \quad (12)$$
$$\text{Cemento} = \frac{\text{Factor Cemento}}{P. E. \text{ del Cemento}} = \frac{304.41 \text{ kg}}{2800 \text{ kg/m}^3} = 0.109 \text{ m}^3$$
$$\text{Agua} = \frac{\text{Vol. Unitario de Agua}}{P. E. \text{ del Agua}} = \frac{207 \text{ L}}{1000 \text{ L/m}^3} = 0.207 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \% \text{ de aire atrapado} = 3\% = 0.030 \text{ m}^3$$

Sumatoria de los volúmenes absolutos:

Cemento	0.109 m ³
Agua	0.207 m ³
Aire	0.030 m ³
Sub Total	0.346 m³

3.8.5.8. Contenido de agregado fino seco

El volumen absoluto se calcula restando el subtotal de los volúmenes absolutos determinados de un metro cúbico; al restar se encuentra el peso del agregado fino multiplicado por factor de peso específico como se muestra la Ecuación (13).

$$\text{Volumen Absoluto de Agregado Fino} = 1 - 0.346 = 0.654 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Abs. de A. F.} = 0.654 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso de Agregado Fino} = (\text{Vol. Abs. de A. F.}) \times (\text{P. E. Agregado Fino}) \quad (13)$$

$$\text{Peso de Agregado Fino} = 0.654 \times (2.47 \times 1000) \text{ kg}$$

$$\text{Peso de Agregado Fino} = 1615.38 \text{ kg}$$



3.8.5.9. Valores de diseño en seco

Los componentes del concreto por m³ con fines de diseño:

- Cemento : 304.41 kg
- Agregado Fino Seco : 1615.38 kg
- Agua para el diseño : 207.00 l

3.8.5.10. Corrección por humedad

Los valores hallados se encuentran en su estado seco. Además, se efectuó la corrección por humedad en el agregado fino según la Ecuación (14), (15), (16) y (17) con el objetivo de calcular datos reales a ser utilizados durante la investigación.

a) Peso húmedo del agregado fino:

$$A. Fino = (Peso Seco) \times \left(\frac{\% Humedad}{100} + 1 \right) \quad (14)$$

$$A. Fino = 1615.38 \text{ Kg} \times \left(\frac{0.91}{100} + 1 \right)$$

$$A. Fino = 1630.08 \text{ Kg/m}^3$$

b) Humedad superficial del Agregado Fino:

$$A. Fino = \text{Contenido de Humedad} - \text{Absorción} \quad (15)$$

$$A. Fino = 0.91 - 2.51 = -1.60\%$$

c) Aporte por humedad:

$$A. Fino = (Peso Seco) \times (Humedad) l/m^3 \quad (16)$$

$$A. Fino = (1615.38) \times \left(-\frac{1.60}{100} \right) l/m^3$$

$$A. Fino = -25.85 \text{ l/m}^3 \text{ (Agua Libre)}$$



d) Agua efectiva:

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Agua de diseño} - \text{Agua Libre} \quad (17)$$

$$\text{Agua Efectiva} = 207 - (-25.85)$$

$$\text{Agua Efectiva} = 232.85 \text{ L/m}^3$$

e) Pesos corregidos de los componentes:

- Cemento : 304.41 kg/m³
- Agregado fino : 1630.08 kg/m³
- Agua efectiva : 232.85 l /m³

3.8.5.11. Proporciones de la mezcla en peso

El diseño con los valores de las proporciones corregidas son las cantidades para preparar para un m³ de concreto. La proporción por kg de cemento resultó:

Cemento: Agregado Fino/Agua

$$\frac{304.41}{304.41} : \frac{1630.08}{304.41} / \frac{233.00}{\frac{304.41}{42.5}}$$

$$1: 5.35/0.76$$

$$1: 5.35/32.3 \text{ lt/bolsa}$$

3.8.6. Proporción de los componentes de concreto con fibras PET reciclado

Las fibras PET reciclado se calculó en base al peso de cemento, la Tabla 34 presenta los porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% que se añadirá en las proporciones usadas en peso para un concreto.

Tabla 34*Proporciones de mezcla de concreto con fibras PET*

Cemento (kg/m³)	Agregado fino (kg/m³)	Relación a/c	PET (%)	Fibras PET (kg/m³)
304.41	1,630.08	0.68	0	0.0
304.41	1,630.08	0.68	3	9.1
304.41	1,630.08	0.68	6	18.3
304.41	1,630.08	0.68	9	27.4

Nota. Se muestra la cantidad de fibras PET para cada adición. Fuente: Equipo de trabajo.

Las fibras PET reciclado requeridas en la elaboración de ladrillos con porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9%, se detalla específicamente en la Tabla 35.

Tabla 35*Cantidad total de fibras PET para cada de tipo de ladrillo*

Tipo de Ladrillo	Dimensión de la unidad de albañilería (cm)	Fibras PET (%)	Fibras PET (kg/m³)	Fibras PET (kg)
MLC-0%	22x13x9	0	0.0	0.0
MLC-3%	22x13x9	3	9.1	2.0
MLC-6%	22x13x9	6	18.3	4.0
MLC-9%	22x13x9	9	27.4	6.0
Cantidad de fibras PET reciclado (kg)				12.0

Nota. MLC = Muestra de ladrillo de concreto. Fuente: Equipo de trabajo.

3.8.7. Elaboración de ladrillo de concreto con fibras PET reciclado

3.8.7.1. Diseño y fabricación de molde

El molde metálico es el más comercial por sus dimensiones 22x13x9cm, el cual corresponde al largo, ancho y su altura respectivamente. Para la fabricación del molde se usó plancha metálica laminada de 5 mm. Teniendo en consideración que los ladrillos de Clase IV son aptas para muros portantes en las edificaciones y su resistencia

mínima es de 130 kg/cm^2 , este tipo de ladrillo son de alta resistencia y durabilidad, la cual se puede emplear bajo rigurosas condiciones de servicio.

3.8.7.2. Proceso de elaboración de ladrillos con fibras PET reciclado

Para el inicio de la producción de ladrillos se tuvo a disposición el terreno nivelado cubierto con plástico, con los equipos adecuados, los materiales proporcionados en peso. Por ende, se efectuó la fabricación de ladrillos de concreto con fibras PET reciclado.

En la producción de unidades de concreto con fibras PET reciclado se cuenta con espacios adecuados para sus diferentes etapas de elaboración. Además, de la disposición de agua y el flujo eléctrico.

El área de trabajo para la elaboración es de 100 m^2 que fueron distribuidos de la siguiente manera:

- Zona de agregados y materiales.
- Zona de mezcla y elaboración.
- Zona de desmoldeo y puesta de la unidad de albañilería.
- Zona del curado.
- Zona de almacenamiento y apilado.

3.8.7.2.1. Selección de materiales

Para una correcta producción de ladrillos de concreto con fibras PET, se hizo la siguiente selección de materiales, como se visualiza en la Figura 25:

- Agregado fino tamaño máximo 4.75 mm (N°4).
- Cemento Portland IP RUMI.
- Fibras PET de 1.5x15mm y agua potable.

Figura 25

Materiales para la fabricación de los ladrillos de concreto



Nota. Se muestra los materiales como: cemento IP RUMI y las fibras PET. Fuente: El equipo de trabajo.

3.8.7.2.2. Disponibilidad de Equipos

Los equipos que se dispuso en la fabricación de ladrillos son los siguientes:

- Molde metálico para dos unidades por puesta (Véase la Figura 26).
- Trompo eléctrico de 5 pie³ (1/2 bolsa) (Véase la Figura 26).

Figura 26

Equipos para la fabricación de ladrillos de concreto



Nota. Se muestra el molde metálico, trompo eléctrico de 5 pie³. Fuente: El equipo de trabajo.

- Buggy.
- Balanza calibrada de 60 Kg.
- Cono de Abrams.
- 2 palas y baldes de 20 L.

3.8.7.2.3. Dosificación y proporciones

La proporción del material se efectuó por peso, utilizando como taras, baldes de 20 litros, balanza, palas y badilejos; en la siguiente relación cemento: agregado fino/agua. Evitando la proporción por volumen.

1: 5.35/32.3 lt/bolsa

3.8.7.2.4. Mezcla para elaborar el ladrillo de concreto

La mezcla de los materiales se hizo con una mezcladora tipo trompo de 5pie³(1/2 bolsa), el cual se considera el mezclado industrial o mecánico.

Figura 27

Mezcla en seco de los materiales y el agregado



Nota. Se muestra la mezcla entre los componentes de concreto y la fibra PET reciclado. Las dimensiones de fibras PET es de 15x2mm. Fuente: Equipo de trabajo.

La mezcla se efectuó en seco: cemento, agregado fino y fibras PET (Véase la Figura 27); hasta conseguir la mezcla de forma uniforme. En seguida, se agregó agua continuamente y se procede con la mezcla por unos 4 a 5 minutos.

Luego del mezclado (Véase la Figura 28) se realiza la prueba de consistencia con un asentamiento máximo de 1” para su fácil desmolde y no ocurra una alteración en su geometría.

Figura 28

Mezcla del concreto con fibras PET reciclado.



Nota. Se muestra la descarga del concreto adicionado de fibras PET reciclado. Fuente: Equipo de trabajo.

3.8.7.2.5. Moldeado de la unidad de albañilería

Después de la mezcla de concreto, se efectuó el proceso de moldeo a presión manual, dentro del molde metálico de dos unidades (Véase la Figura 29 y 30); el método consistió en la compactación de tres capas, para luego enrazar y acomodarlos con una varilla. La compactación es hasta conseguir en la superficie cierta película de agua, luego se procede a llevar al área de fraguado que es mostrado en la Figura 31.

Figura 29

Bañado y puesta del molde metálico con desmoldante



Nota. Se muestra la disposición del molde metálico. Fuente: El equipo de trabajo.

Figura 30

Elaboración del ladrillo de concreto y fibras PET



Nota. Se muestra la eliminación de aire con la comba de goma. Fuente: El equipo de trabajo.

Figura 31

Disposición final ladrillo de concreto



Nota. Se muestra el proceso final del moldeado del ladrillo con fibras PET. Fuente: El equipo de trabajo.

3.8.7.2.6. Fraguado de la unidad de albañilería

Tras completar el proceso de moldeado del ladrillo de concreto, esta se coloca estratégicamente en la zona de fragua, resguardada tanto del sol como del viento, teniendo en cuenta las condiciones ambientales. Este cuidado meticuloso busca prevenir cualquier alteración negativa en las propiedades del ladrillo y garantizar un ciclo normal de endurecimiento. El objetivo final es que la unidad alcance la resistencia necesaria, tal como se visualiza en la Figura 32.

Después de transcurrir 24 hr desde el fraguado inicial. Esta fase es crucial para consolidar las propiedades mecánicas y asegurar su durabilidad a largo plazo. Este enfoque proactivo en el cuidado post-moldeado y fraguado subraya la importancia de un proceso integral, bien planificado en la producción de unidades de albañilería con características óptimas.

Figura 32

Ladrillo en su etapa de fragua después de las 24 hr



Nota. Se muestra el ladrillo de concreto con la inclusión fibras PET, para siguiente proceso de curado por 7 días mínimo. Fuente: El equipo de trabajo.

3.8.7.2.7. Curado del ladrillo de concreto patrón y con fibras PET

Según el autor Abanto, T. (2018) indica que el curado significa conservar la humedad del concreto durante varios días luego de su disposición final, que tiene un propósito que permita la reacción química de cemento y agua, para conseguir una resistencia a compresión preestablecida. Por ende, es indispensable realizar el curado de ladrillo de concreto como fuese algún elemento de concreto.

Después de elaborar los ladrillos con diferentes dosificaciones con la adición de porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% de PET con respecto al peso de cemento, se dejó fraguar por un lapso de 24 hr para el curado de las unidades. El proceso de curado se efectuó en una poza por 7 días como se muestra en la Figura 33, de esta manera tener una buena calidad de la unidad de concreto con fibras PET y que cumpla los parámetros exigidos.

Figura 33

Curado del ladrillo de concreto con fibras PET



Nota. El proceso de curado de ladrillo de concreto se realizó en la poza. Fuente: El equipo de trabajo.



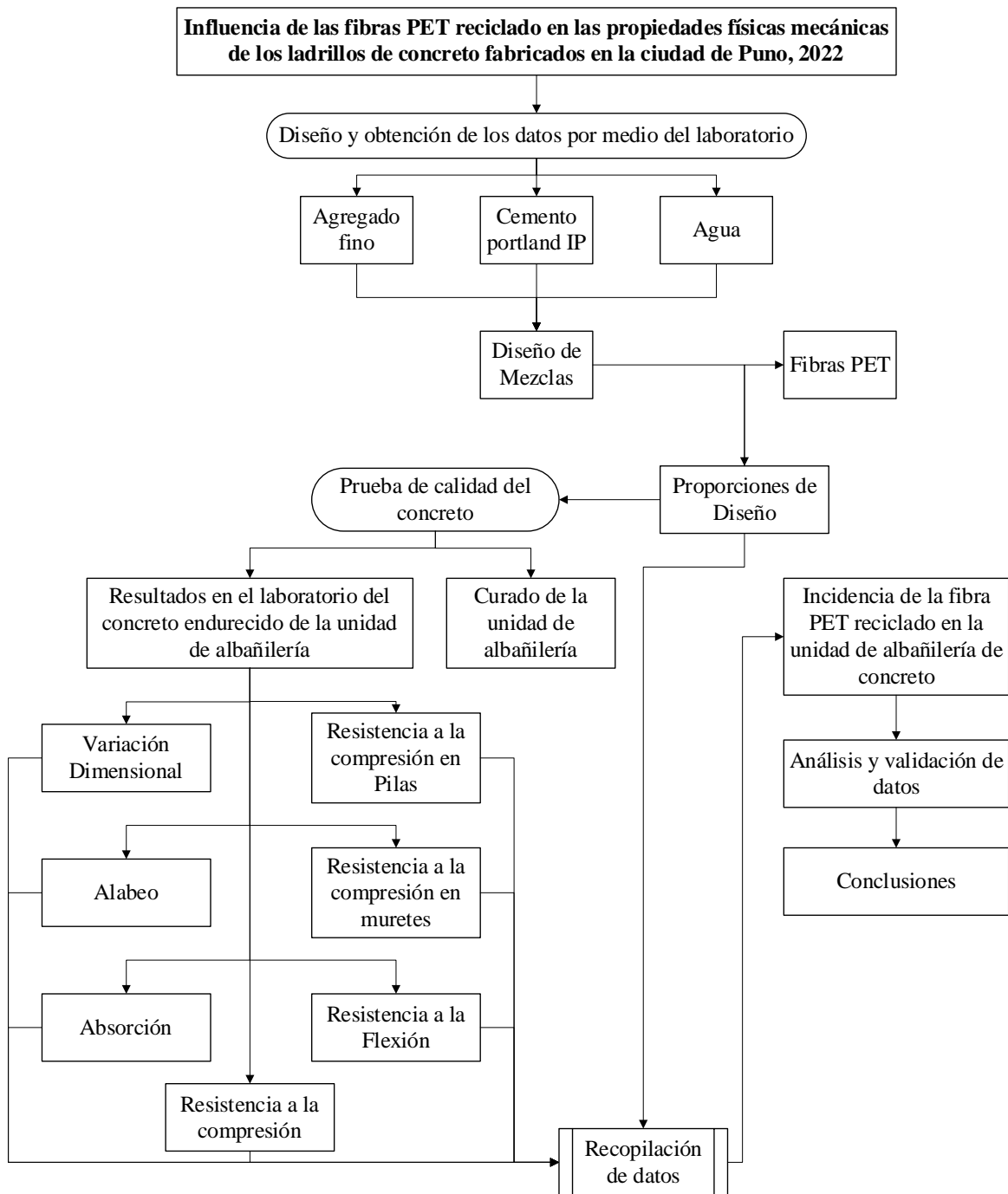
3.8.7.2.8. Almacenado

Es de suma importancia destacar que mantener la zona de almacenamiento completamente seca y libre de humedad durante los próximos 21 días resulta crucial para asegurar la óptima conservación de los ladrillos y así permitir desarrollar la resistencia requerida a los 28 días. Asimismo, la necesidad de precaución no se limita únicamente a la etapa de almacenamiento, sino que también se extiende al manejo y transporte de dichas unidades.

La meticulosidad en el manejo y transporte no solo resguarda la integridad estructural de las unidades, sino que también contribuye a su correcto desempeño en futuras aplicaciones. En este sentido, se establece una conexión directa entre el manejo precavido y la calidad final del trabajo de albañilería. La cohesión de estos aspectos resalta la importancia de un enfoque sistemático y atento en todas las fases del proceso, desde el almacenamiento hasta la aplicación final.

Figura 34

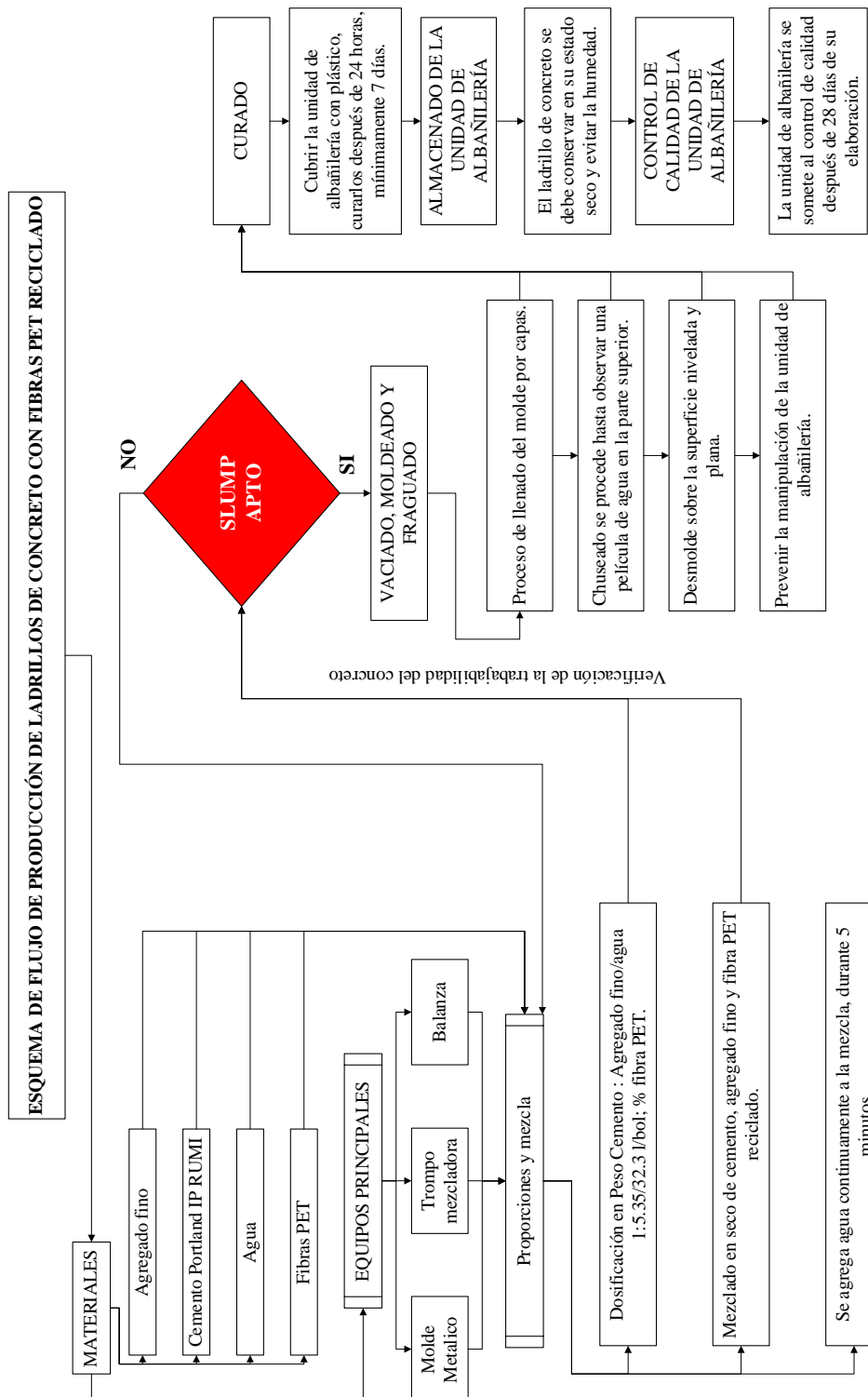
Diseño y obtención de datos de propiedades físicas-mecánicas



Nota. La Figura 34 muestra el esquema de recopilación datos de ladrillos de concreto. Fuente: Equipo de trabajo.

Figura 35

Esquema de producción de ladrillos con fibras PET reciclado



Nota. La Figura 35 presenta el esquema de elaboración de ladrillo. Fuente: Equipo de trabajo.



3.8.8. Ensayos efectuados en las unidades de albañilería

3.8.8.1. Ensayos del concreto fresco.

3.8.8.1.1. Ensayo de asentamiento de concreto

Para realizar la prueba de asentamiento de concreto se basó en la NTP 339.035, (2015). Las muestras con las adiciones de porcentajes de 3%, 6% y 9% de PET reciclado se tomó de acuerdo a la NTP 339.036 (2017), estas se colocaron en un molde troncocónico y se compactaron mediante varillado; luego se retiró verticalmente el molde y se verificó las medidas de asentamiento de concreto frente a la posición inicial para cada dosificación con incorporación de PET reciclado. Lo cual es uno de los indicadores en el objetivo específico de esta investigación.

a) Equipos

- Molde de cono de Abrams
- Varilla compactadora de 5/8"
- Flexómetro
- Cucharón metálico

b) Procedimiento

- Se humedeció la superficie interna del molde y se situó en una zona plana; el molde se aseguró a la base con las abrazaderas y pisando las aletas. La muestra extraída de concreto fresco se llena en el cono troncocónico en tres capas, cada una la tercera parte del volumen; esta es compactada por 25 golpes con la varilla de 5/8", distribuyendo y aplicando de forma espiral desde el perímetro al centro del molde.

- Las dos capas siguientes se aplica la misma metodología a un tercio del volumen, teniendo en cuenta que penetre ligeramente solo 25 mm por capa.
- La tercera capa se llena en exceso antes de aplicar la compactación, luego se enrasa con la varilla de 5/8". Seguidamente el cono de Abrams se retira verticalmente cuidadosamente y sin interrupción; este proceso no debe superar más de 2 min y 30s.
- Finalmente, se verifica la medida de asentamiento, esta se determina la variación de la cara superior del cono y la posición final de la mezcla, que se visualiza en la Figura 36.

Figura 36

Prueba de cono de Abrams para la trabajabilidad



Nota. Se evaluó la consistencia del concreto para cada condición de adición de fibras PET y la muestra de control. Fuente: Equipo de trabajo.

3.8.8.2. Ensayos en unidades de albañilería

Se determinaron mediante procedimientos establecidos en la NTP 399.604 (2015) y en concordancia el RNE (2020).

3.8.8.2.1. Ensayo de variación dimensional

La variación dimensional en la unidad de concreto con la adición de porcentajes de 3%, 6% y 9% de PET reciclado se efectuó según la NTP 399.604 (2015), considerando que si se obtiene una mayor variación dimensional se generará un grosor de junta superior al límite máximo especificado en la normativa E.070 - Albañilería, lo que ocasionará una menor resistencia en compresión de la albañilería. Se realizó el ensayo con cinco muestras para cada dosificación de adición con PET reciclado, con las dimensiones del ladrillo de 22 cm x 13 cm x 9 cm.

a) Materiales y equipos

- Ladrillos de concreto codificados
- Regla metálica
- Vernier
- Formatos de registro de datos

b) Procedimiento

- Se mide la longitud (L) y ancho (A) desde el punto medio de los extremos de los lados y caras, registrando cuatro dimensiones para cada caso, como se visualiza en la Figura 37. En seguida, se calcula el promedio de las medidas. Finalmente, se mide la altura (H) en cada

cara y en los extremos del punto medio del borde limitado en las caras, se registra cuatro medidas y promediar estas magnitudes.

Figura 37

Prueba de variación dimensional



Nota. Determinación de la variación de dimensiones en la unidad con dosificación de fibras PET de 9%. Fuente: Equipo de trabajo.

c) Cálculos

- Para determinar la variación dimensional V (%) se utiliza la Ecuación (18):

$$V (\%) = \frac{D_e - D_p}{D_e} \times 100 \quad (18)$$

Donde:

- V (%): Variación dimensional en porcentaje
- D_e : Dimensión nominal especificada (mm)
- D_p : Dimensión promedio en (mm)

3.8.8.2.2. Ensayo de alabeo

El ensayo se efectuó para cada dosificación de adición con PET reciclado según la NTP 399.613 (2017); el alabeo influye en el grosor de la junta.



a) Materiales y equipos

- Ladrillos de concreto codificados
- Regla metálica
- Cuña de medición en mm
- Vidrio

b) Procedimiento

- Superficies cóncavas, se dispone la varilla en dirección longitudinal o diagonal en la cara a medir, teniendo en consideración la mayor desviación a una línea recta, que se visualiza en la Figura 38. Se mide con la cuña o regla metálica la distancia mayor entre la varilla recta y la cara cóncava.
- En bordes cóncavas, se sitúa la varilla en los extremos de la arista del espécimen. En seguida, se mide con la cuña o regla de acero la distancia mayor entre la varilla recta y el borde.
- En caso de superficie convexa, se sitúa la cara convexa sobre una superficie plana. Se mide con la regla metálica graduada o el uso de cuña, en donde se registra la medida de los cuatros esquinas de la muestra. Finalmente, se anota únicamente el promedio de las medidas.
- En bordes convexas, se sitúa la varilla en los extremos de la arista convexa del espécimen. En seguida, se mide con la cuña o regla de acero la distancia mayor entre la varilla recta y el borde convexo.

Figura 38

Prueba de alabeo



Nota. Se muestra la determinación de alabeo utilizando la cuña o regla. Fuente: Equipo de trabajo.

3.8.8.2.3. Ensayo de absorción

La prueba de absorción de la unidad de concreto se efectuó con cada dosificación de adición de 0%, 3%, 6% y 9% PET reciclado siguiendo el procedimiento señalado en la NTP 399.604 (2015); en caso que supere la absorción más de 12% la unidad presenta porosidad y menor durabilidad ante la intemperie.

a) Materiales y equipos

- Ladrillos de concreto codificados
- Balanza de aproximación a 0.5 g
- Horno
- Recipiente

b) Procedimiento

- Preliminarmente, se seca la muestra durante 24 hr en un horno a temperatura controlada en un rango de 100 °C a 115°C. Seguidamente se realiza el pesado cada 2 hr verificando un peso constante.



- La muestra se satura en agua por 24 hr, transcurrido la duración, se pesa el espécimen sumergido en agua mientras está suspendido con alambre; se extrae el espécimen del agua y se limpia superficialmente con un paño durante 1 min, esta se pesa y anota como peso saturado.
- Finalmente, se seca la muestra por un tiempo de 24 hr en un horno a temperatura controlada en un rango de 100 °C a 115°C. Seguidamente se realiza el pesado cada 2 hr verificando hasta que no se produzca una pérdida de 0.2% con respecto al peso anterior. Por consiguiente, se registra como el peso del espécimen secado al horno.

c) Cálculos

- Para determinar la absorción Abs (%) se utiliza la Ecuación (20):

$$Abs (\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (19)$$

Donde:

- W_s : Peso del espécimen cuando está completamente saturado (kg)
- W_d : Peso del espécimen después de secarse en el horno (kg)

3.8.8.2.4. Ensayo de resistencia a compresión

La prueba se realizó con cinco muestras para cada dosificación de adición de porcentajes de 3%, 6% y 9% PET reciclado, la prueba se efectuó según la NPT 399.604 (2015); en las caras de asiento se efectuó el refrentado de yeso y cemento.

a) Materiales y equipos

- Ladrillos de concreto codificados

- Prensa axial de compresión de marca “ELE”
- Placas de apoyo

b) Procedimiento

Figura 39

Prueba de resistencia en compresión de ladrillo de concreto



Nota. Se muestra la prueba de resistencia a compresión provista de dos placas de acero de 1 pulg. (25 mm). Fuente: Equipo de trabajo.

- Se seleccionó cinco muestras para cada tipo de dosificación con adición de PET reciclado, según las exigencias de la NTP 399.604 (2015) y la normativa E.070 “Albañilería” (2020).
- Preliminarmente, se realiza el refrentado de yeso – cemento de la muestra con un espesor de 3.0 mm en ambas superficies de asiento con mortero.
- La prensa de compresión axial estará provista de dos placas de acero. Una de ellas sobre la muestra que transmitirá la carga y la otra debajo del espécimen.



- Se ensaya la muestra ubicando su centroide de la cara de asiento con respecto al eje del cabezal de la prensa axial de compresión, como se observa en la Figura 39.

c) Cálculos

- Para calcular la resistencia a la compresión (kg/cm^2), se emplea la Ecuación (20):

$$f'_b \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \frac{P_{\text{máx.}}}{A_g} \quad (20)$$

Donde:

- f'_b : Resistencia a compresión del ladrillo (kg/cm^2)
 - $P_{\text{máx}}$: Carga última de acuerdo a la prensa de compresión axial (kg)
 - A_g : Área bruta del espécimen (cm^2)
- Para determinar la resistencia característica a la compresión (kg/cm^2) según la normativa E.070 “Albañilería” (2020), se utiliza la Ecuación (21):

$$f'_b \text{ (kg/cm}^2\text{)} = f'_{b \text{ prom.}} - \sigma \quad (21)$$

Donde:

- f'_b : Resistencia característica a compresión característica del ladrillo (kg/cm^2)
- $f'_{b \text{ prom.}}$: Resistencia a compresión promedio de los ladrillos (kg/cm^2)
- σ : Desviación estándar



3.8.8.2.5. Ensayo de resistencia a flexión

La prueba se efectuó con cinco muestras para cada dosificación de adición de porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% PET reciclado, al no tener referencias en la NPT 399.604 (2015), la prueba se basó en el procedimiento descrito según la NTP 399.613 (2017).

a) Materiales y equipos

- Ladrillos de concreto codificados
- Prensa de ensayo por flexión, incluidos los apoyos de la muestra
- Regla metálica

b) Procedimiento

- Preliminarmente, se seleccionó cinco muestras secas para cada tipo de dosificación de adición con PET reciclado, según los lineamientos de la NTP 399.613 (2017).
- Se apoya la muestra en la dirección con mayor longitud sobre los apoyos cilíndricos y se aplica la carga en la parte central superior mediante una placa de 1/4" x 1 1/2" sobre la muestra.
- Finalmente, se efectúa a una velocidad de carga no mayor a 8900 N/m. Corroborando la velocidad de cabezal que es menor a 1.3 mm/min.

c) Cálculos

- Para calcular la resistencia a la flexión (en kg/cm^2), se aplica la Ecuación (22):



$$f'_r \text{ (MPa)} = \frac{3 \times P_{m\acute{a}x.} \times (\frac{l}{2} - x)}{bd^2} \quad (22)$$

Donde:

- f'_r : M3dulo de rotura o resistencia a flexi3n de la unidad (Mpa)
- $P_{m\acute{a}x.}$: La carga m3xima de rotura seg3n la prensa de ensayo a flexi3n se expresa en newtons (N).
- l : Distancia entre apoyos (mm)
- b : Ancho de la unidad (mm)
- d : Atura de la unidad (mm)
- x : Distancia entre el punto medio de la unidad y el plano de falla (mm)

3.8.9. Ensayos realizados en prismas de albañilería

En la investigaci3n se efectu3 los ensayos para determinar las propiedades f3sicas de agregado fino que es utilizado en el mortero, con el fin de obtener un diseño de mezcla conveniente y adecuado. As3 mismo, las pruebas de las propiedades de mortero en su estado endurecido; para realizar los ensayos correspondientes de pilas y muretes, lo cual se us3 ladrillos de concreto que est3n incluidos el 3%, 6% y 9% fibras PET reciclado con dimensiones de 13x22x9 cm fabricados en la ciudad de Puno.

3.8.9.1. Propiedades f3sicas del agregado para el mortero

Las propiedades f3sicas de agregado fino se determinaron siguiendo la metodolog3a señalada en Norma T3cnica Peruana (NTP). Los resultados que se obtuvieron, se detallan de la siguiente manera:

3.8.9.1.1. Análisis granulométrico de agregado fino

El procedimiento se basó según la NTP 400.043 (2015), para determinar la muestra representativa. Además, se efectuó la prueba de análisis granulométrico de agregado fino bajo las exigencias NTP 400.012 (2018).

Se presenta el resultado de la prueba en la Tabla 36:

Tabla 36

Granulometría de agregado fino

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	Retenido parcial (%)	Retenido acum. (%)	Porcentaje que pasa (%)
N° 4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.36	1.17	0.22	0.22	99.78
N° 16	1.18	61.33	11.51	11.73	88.27
N° 30	0.60	113.25	21.26	32.99	67.01
N° 50	0.30	243.05	45.63	78.62	21.38
N° 100	0.15	91.34	17.15	95.76	4.24
N° 200	0.075	21.92	4.11	99.88	0.12
Base		0.64	0.12	100.00	0.00
Total		532.70	100.00		
% pérdida		0.23			

Nota. Se determinó el peso retenido en cada tamiz durante el ensayo. Fuente: Equipo de trabajo.

En la Figura 40, se tiene la gráfica granulométrica de la muestra ensayada, el porcentaje que pasa se encuentra en el rango de los límites de husos granulométricos establecidos en la NTP 399.607 (2018) y el RNE (2020).

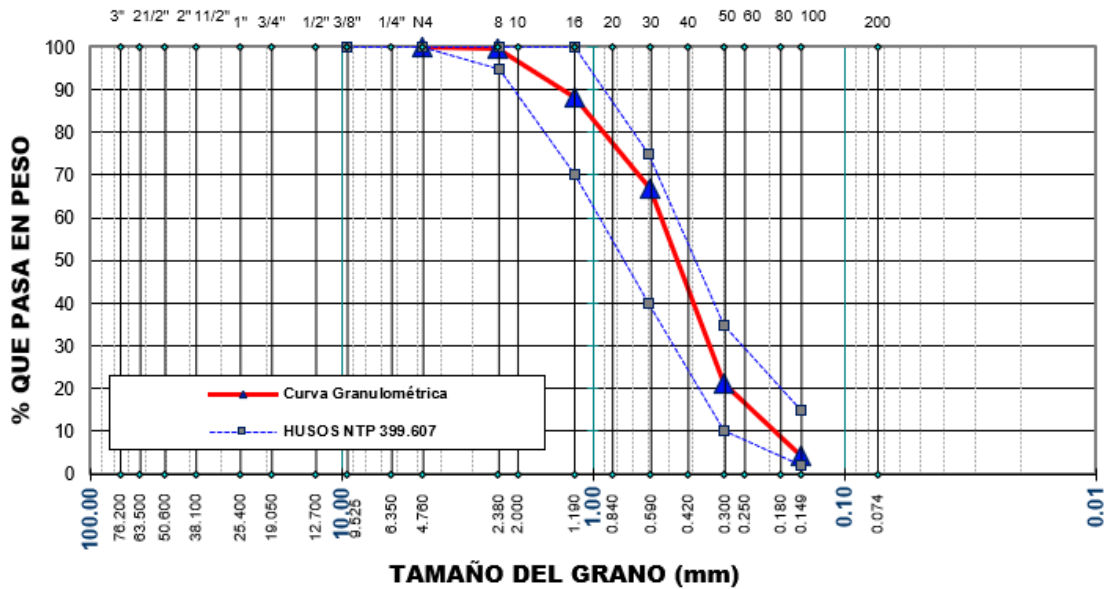
El M.F. se obtuvo aplicando la Ecuación (3) y se basa según la NTP 400.012 (2018).

$$mf = \frac{0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.00 + 0.22 + 11.73 + 32.99 + 78.62 + 95.76}{100}$$

$$mf = 2.19$$

Figura 40

Curva granulométrica



Nota. La gradación es según los usos señalados en la NTP 399.607. Fuente: Equipo de trabajo.

El M.F. hallado se encuentra en el rango de 1.6-2.5 señalado en el RNE (2020), validando que la muestra es apta para elaborar el mortero.

3.8.9.1.2. Contenido de humedad

Para deducir la cantidad de humedad que presenta la muestra, se basó en la NTP 400.043 (2015) y la NTP 339.185 (2018). El ensayo se efectuó en su condición natural, la cantidad de humedad se calculó mediante la Ecuación (4); de lo cual se obtuvo tres resultados efectuados a la muestra, según se detalla en la Tabla 37.

Tabla 37*Contenido de humedad*

Descripción	Recipiente de la tara		
	A-01	A-02	A-03
Peso de tara (g)	117.5	132.16	143.55
Peso de tara + M. húmeda (g)	636.16	648.21	676.81
Peso de tara + M. seca (g)	631.38	643.4	671.7
Peso de agua (g)	4.78	4.81	5.11
Peso de muestra seca (g)	513.88	511.24	528.15
Contenido de humedad (%)	0.93	0.94	0.97
Promedio de contenido humedad (%)	0.95		

Nota. En el agregado fino – mortero. Fuente: Equipo de trabajo.

3.8.9.1.3. Peso específico y absorción de los agregados finos

Para hallar el peso específico y absorción de la muestra, se efectuó el ensayo según la NTP 400.022 (2018), que especifica el procedimiento y cálculos. En la Tabla 38 se registró datos de laboratorio:

Tabla 38*Datos de la prueba gravedad específica y absorción*

Descripción	Peso (g)
(S) Peso de la muestra SSS	500.00
(B) Peso del frasco + peso de agua (23°C, 4 ciclos de 15 min, 1 hora total)	665.09
(C) Peso de la muestra SSS + peso del frasco + peso del agua	966.96
(A) Peso de la muestra secada al horno	488.58
Peso muestra secada al horno + tara (24 horas)	605.91
Peso de tara	117.33

Nota. Datos recopilados en laboratorio. Fuente: Equipo de trabajo.

Con el apunte de datos de la gravedad específica y absorción se procede con el procesamiento de datos con las siguientes fórmulas:

- **Peso específico aparente:** Se calcula mediante la Ecuación (5):

$$Ge_a = \frac{488.58}{(665.09 + 500.00 - 966.96)}$$

$$Ge_a = 2.47$$

- **Peso específico aparente SSS:** Se calcula mediante la Ecuación (6):

$$Ge_a = \frac{500.00}{(665.09 + 500.00 - 966.96)}$$

$$Ge_a = 2.52$$

- **Porcentaje de absorción (%):** Se calcula mediante la Ecuación (7):

$$\%Abs. = \left(\frac{500.00 - 488.58}{488.58} \right) \times 100$$

$$\%Abs. = 2.34\%$$

3.8.9.1.4. Peso unitario suelto y compactado del agregado

Para determinar el peso unitario en su estado suelto y compactado, se efectuó la prueba señalada según la NTP 400.017 (2016). El registro de datos del laboratorio se presenta en la Tabla 39 y 40:

- **Peso Unitario Suelto (P.U.S.)**

Tabla 39

Datos de la prueba peso unitario suelto

Descripción	Ensayo		
	I	II	III
Peso del molde (g)	3,470.00	3,470.00	3,470.00
Peso molde + muestra (g)	13,490.00	13,455.00	13,435.00
Peso de la muestra (g)	10,020.00	9,985.00	9,965.00
Volumen del molde (cm ³)	7,052.49	7,052.49	7,052.49

Nota. En el agregado fino – mortero. Datos recopilados en laboratorio. Fuente: Equipo de trabajo.

- **Peso Unitario Compactado (P.U.C.)**

Tabla 40*Datos de la prueba peso unitario compactado*

Descripción	Ensayo		
	I	II	III
Peso del molde (g)	3,470.00	3,470.00	3,470.00
Peso molde + muestra (g)	14,385.00	14,490.00	14,505.00
Peso de la muestra (g)	10,915.00	11,020.00	11,035.00
Volumen del molde (cm ³)	7,052.49	7,052.49	7,052.49

Nota. En el agregado fino – mortero. Datos recopilados en laboratorio. Fuente: Equipo de trabajo.

Con los registros de datos se muestra los cálculos y resultados obtenidos:

- **Peso Unitario Suelto (P.U.S.):** Se calcula mediante la Ecuación (8):

$$P.U.S._I = \frac{10,020.00}{7,052.49} = 1.42$$

$$P.U.S._II = \frac{9,985.00}{7,052.49} = 1.42$$

$$P.U.S._III = \frac{9,965.00}{7,052.49} = 1.41$$

$$P.U.S. = \frac{1.42 + 1.42 + 1.41}{3} = 1.42 \text{ g/cm}^3 = 1,416.52 \text{ kg/m}^3$$

- **Peso Unitario Compactado (P.U.C.):** Se calcula mediante la Ecuación (9):

$$P.U.C._I = \frac{10,915.00}{7,052.49} = 1.55$$

$$P.U.C._II = \frac{11,020.00}{7,052.49} = 1.56$$

$$P.U.C._III = \frac{11,035.00}{7,052.49} = 1.56$$



$$P.U.C. = \frac{1.55 + 1.56 + 1.56}{3} = 1.56 \text{ g/cm}^3 = 1,558.31 \text{ kg/m}^3$$

3.8.9.2. Diseño de mezcla en el mortero

El criterio que se efectuó para determinar un adecuado diseño de mezcla de según los autores San Bartolomé et al. (2018) menciona que la resistencia de la unidad de albañilería y mortero sea semejante, con el propósito de que la albañilería presente homogeneidad y se evite la falla frágil. Por ende, sugiere se utilice el mortero 1:3 o 1:4 y el RNE (2020) recomienda que para muros portantes de tipo P1 y P2 la proporción volumétrica (cemento: cal: arena) es 1:0 a 1/4:3 a 3 ½ y 1:0 a ½:4 a 5 respectivamente. Además, la proporción de agua no es especificada.

En la presente investigación se seleccionó la dosificación volumétrica cemento:arena de 1:4 por recomendación de la RNE (2020), la cual se utilizará para elaborar las pilas y muretes de la investigación. Los componentes que intervienen en la dosificación se convertirán de la proporción volumétrica a peso.

Proporción volumétrica de 1:4 (En volumen)

- Cemento : 1 pie³
- Arena : 4 pie³
- Agua : 0.72 (Aproximadamente)

Pesos húmedos de los componentes (para 1 bolsa de cemento)

- Cemento : = 42.5 kg
- Arena : 4*1,416.52/35.31 = 160.47 kg



- Agua : $42.5 \cdot 0.72 = 30.6$ L (Aproximadamente)

Volumen absoluto de los componentes (para 1 bolsa de cemento)

- Cemento : $42.5/2800 = 0.01518$ m³
- Arena : $158.96/2470 = 0.06436$ m³
- Agua : $28.39/1000 = 0.02839$ m³
- Aire (1 %): $0.01518 \cdot 0.01 = 0.00015$ m³
- **Total** : = **0.10808** m³

Cantidad de bolsas de cemento por 1 m³

- Cemento : $1/0.10808 = 9.25$ bolsas

Pesos húmedos de los componentes por 1 m³

- Cemento : $42.5 \cdot 9.25 = 393.24$ kg
- Arena : $160.47 \cdot 9.25 = 1484.77$ kg
- Agua : $30.6 \cdot 9.25 = 283.13$ l (Aproximadamente)

Proporción en peso húmedos por 1 m³

Cemento: Agregado Fino/Agua

$$\frac{393.24}{393.24} : \frac{1484.77}{393.24} / \frac{283.13}{393.24}$$

$$1 : 3.78 / 0.72$$

3.8.9.3. Ensayo del mortero en su estado endurecido

3.8.9.3.1. Ensayo de resistencia a compresión de mortero

El ensayo se realizó con tres especímenes mortero endurecido de 50 mm de lado en cada periodo de 7, 14 y 28 días compuesto por una



proporción de 1:4; la prueba se basó en el método señalado según la NTP 334.051 (1998), en donde presenta el procedimiento de la elaboración del mortero, ensayo y el cálculo.

a) Materiales y equipos

- Arena graduada
- Prensa de compresión axial marca “ELE”
- Moldes para cubos
- Badilejo

b) Procedimiento

- Preliminarmente, se prepara la mezcla de mortero con una proporción de 1:4. Luego se realiza el llenado en el molde cúbico de 50 mm, el proceso de vertido se efectúa en dos capas de 25 mm y es compactado en 32 golpes con la compactadora de 13x15mm, en cuatro etapas con ocho golpes de forma adyacente en cada una, al culminar se enrasa con la ayuda de badilejo.
- Posteriormente, se protege las muestras de cubos de gotas de agua durante 24 h y las caras superiores estarán expuestas al aire. Se retira el molde después de 24 h y se sumerge en el agua hasta la fecha de ensayo.
- Para ejecutar el ensayo, los cubos de 50 mm deben estar libre de humedad o seco. Luego, se mide el ancho y largo de ambas superficies de contacto de la carga de los cubos.

- Se ensaya el cubo, disponiendo en el centroide del eje de la prensa axial, luego se somete hasta producir la carga máxima sin interrupción hasta que se produzca la falla, como se presenta en la Figura 41.

Figura 41

Prueba de mortero endurecido de 50 mm



Nota. Se muestra el ensayo en la prensa axial. Fuente: Equipo de trabajo.

c) Cálculos

- Para calcular la resistencia a la compresión del mortero (kg/cm^2), se emplea la Ecuación (23):

$$f_m (\text{kg}/\text{cm}^2) = \frac{P_{\text{máx.}}}{A} \quad (23)$$

Donde:

- f_m : Resistencia a compresión de mortero (kg/cm^2)
- $P_{\text{máx.}}$: Carga de rotura de acuerdo a la prensa de compresión axial (kg)
- A : Área de la superficie de carga (cm^2)



3.8.9.4. Ensayos prismas de albañilería

3.8.9.4.1. Ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería

El ensayo se realizó con tres prismas de pilas compuesto por tres unidades de concreto de cada dosificación con adición de porcentajes de 3%, 6% y 9% PET reciclado, lo cual está adherido con el mortero de junta de 1.5 cm de grosor; la prueba se basó en el método señalado según la NTP 399.605 (2013), en donde presenta el procedimiento de la elaboración del prisma, ensayo y el cálculo.

a) Materiales y equipos

- Prismas de pilas codificados
- Prensa de compresión axial marca “ELE”
- Placas de apoyo
- Regla metálica

b) Procedimiento

- Preliminarmente, se elabora los prismas con ladrillos de concreto asentadas una sobre cada unidad encima de la plataforma nivelada y plana; con una junta 1.5 cm de mortero. En seguida, se sella con la bolsa para contener la humedad.
- Para ejecutar el ensayo, se realiza el refrentado de la combinación entre yeso – cemento de las ambas superficies del prisma con un espesor de 3.0 mm.
- Luego, se mide el ancho y largo de ambas superficies de contacto de la carga de los prismas. Además, la distancia de la altura en el eje

central de cada lado; para obtener las distancias de ancho, largo y altura se promedia con cuatro distancias.

- Se dispone de dos placas de acero de 1" en la parte inferior y superior del prisma. Se aplica la carga en el centroide del espécimen.
- Se ensaya la pila en la prensa de compresión axial y se reconoce el modo de falla.

c) Cálculos

- Para el cálculo de la resistencia a compresión de pilas de albañilería (kg/cm^2) se utiliza la Ecuación (24):

$$f'_m (\text{kg}/\text{cm}^2) = \frac{P_{m\acute{a}x.}}{A_g} \quad (24)$$

Donde:

- f'_m : Resistencia a compresión de pilas de albañilería (kg/cm^2)
- $P_{m\acute{a}x.}$: Carga última de acuerdo a la prensa de compresión axial (kg)
- A_g : Área bruta de la pila (cm^2)
- Además, se calcula la esbeltez mediante la relación h_p/t_p . Seguidamente, se determina el coeficiente de corrección con la interpolación para el valor intermedio de h_p/t_p indicado en la Tabla 41.

Tabla 41

Coeficiente de corrección de f'_m por altura/espesor (esbeltez).

h_p/t_p	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Coeficiente de corrección	0.75	0.86	1.0	1.04	1.07	1.15	1.22

Nota. h_p = Altura del prisma. t_p = ancho del prisma. Tomado de UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería (p. 15), por INDECOPI - NTP 399.605 (2013).

- En seguida, la resistencia de la pila es multiplicado por el coeficiente de corrección calculado.
- Para hallar la resistencia característica a compresión en pilas de albañilería (f'_m) señalado en el RNE (2020), se utiliza la Ecuación (25):

$$f'_m \text{ (kg/cm}^2\text{)} = f'_{m \text{ prom.}} - \sigma \quad (25)$$

Donde:

- f'_m : Resistencia característica de compresión en pilas de albañilería (kg/cm²)
- $f'_{m \text{ prom.}}$: Resistencia a compresión promedio de las pilas de albañilería (kg/cm²)
- σ : Desviación estándar

3.8.9.4.2. Ensayo de resistencia al corte diagonal de Muretes

El ensayo se efectuó con tres muretes de albañilería compuesto por ladrillos de concreto de cada tipo de adición de 3%, 6% y 9% PET reciclado, considerando las juntas de mortero vertical y horizontal con un grosor de 1.5 cm; la prueba se basó en el procedimiento señalado en la NTP 399.621 (2004); descrito para la elaboración del prisma, ensayo y el cálculo.

a) Materiales y equipos

- Muretes cuadrados codificados
- Prensa de ensayo a compresión diagonal
- Escuadras de carga



- Regla metálica

b) Procedimiento

- Se construye tres muretes cuadrados con medidas mínimas de 0.60 m x 0.60 m sobre una plataforma nivelada y plana, empleando las mismas características del ladrillo, mano de obra y mortero. En cada hilada presenta como mínimo dos ladrillos enteros, con juntas de mortero horizontal y vertical de 1.5 cm de grosor. El murete está compuesto por seis hiladas, lo cual se verifica la horizontal con nivel de mano y la vertical mediante el uso de plomada; cabe resaltar que se usó mortero 1:4.
- Se mide el largo (L), altura (H) y espesor (t) con cuatro medidas en cada prisma o murete. Luego se promedia las distancias.
- Se dispone las escuadras de carga en la zona inferior y superior del murete. Además, se sitúa la muestra sobre la escuadra inferior y con la ayuda de la plomada, se fija con respecto a la línea de carga, como se visualiza en la Figura 42.
- Se instrumenta con extensómetros y compresómetros para medir la deformación en el sentido horizontal y vertical de la diagonal del prisma o murete. Además, se registra dichas longitudes.
- Se ensaya el prisma o murete en la prensa de compresión diagonal, con cargas continuas con la finalidad de obtener al menos 10 lecturas de deformación y que las lecturas sean muy próximas a la carga última. Sin embargo, en caso que la muestra podría presentar una falla

inminente, se retira la instrumentación y luego se continua hasta obtener la carga máxima.

Figura 42

Prueba de resistencia a corte de murete cuadrado



Nota. Disposición de escuadras de carga. Fuente: Equipo de trabajo.

c) Cálculos

- Para calcular la resistencia al corte (kg/cm^2), se usa la Ecuación (26):

$$v'_m (\text{kg}/\text{cm}^2) = \frac{0.707 * P_{m\acute{a}x.}}{A_g} \quad (26)$$

Donde:

- v'_m : Resistencia al corte en muretes de albañilería (kg/cm^2)
- $P_{m\acute{a}x.}$: Carga última de acuerdo a la prensa de compresión diagonal (kg)
- A_g : Área bruta del espécimen (cm^2), para ello se utiliza la Ecuación (27):

$$A_g (\text{cm}^2) = \left(\frac{L + H}{2} \right) * t \quad (27)$$

Donde:

- ✓ L : Largo del espécimen (cm)



- ✓ H : Altura del espécimen (cm)
- ✓ t : Espesor del espécimen (cm)
- Para calcular la deformación angular (γ), se usa la Ecuación (28), (29) y (30):

$$\gamma = |\varepsilon_H| + |\varepsilon_V| \quad (28)$$

$$\varepsilon_H = \frac{\delta_H}{Lo_H} \quad (29)$$

$$\varepsilon_V = \frac{\delta_V}{Lo_V} \quad (30)$$

Donde:

- γ : Deformación angular (mm/mm)
- ε_H : Deformación unitaria horizontal (mm/mm)
- ε_V : Deformación unitaria vertical (mm/mm)
- δ_H : Deformación horizontal (mm)
- δ_V : Deformación horizontal (mm)
- Lo_H : Longitud inicial en la horizontal (mm)
- Lo_V : Longitud inicial en la vertical (mm)
- Para calcular el módulo de rigidez (G) se determina las variaciones de la resistencia a corte y deformación angular en el rango de 10% y 50% de la resistencia a corte última del ensayo, la Ecuación (31):

$$G (kg/cm^2) = \frac{\Delta v'_m}{\Delta \gamma} \quad (31)$$

Donde:

- G : Módulo de corte (kg/cm^2)
- $\Delta v'_m$: Variación de esfuerzo cortante (kg/cm^2)
- $\Delta \gamma$: Variación de deformación angular (mm/mm)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.9. RESULTADOS DE CONCRETO EN SU ESTADO FRESCO

3.9.1. Asentamiento de concreto fresco

Los resultados de la prueba de asentamiento de concreto fresco, se visualiza en la Tabla 42, para la muestra prueba patrón, con una relación a/c de 0.68, se obtuvo un asentamiento de diseño de 23.60 mm. Sin embargo, al agregar un 9% de fibras de PET al concreto, este valor se redujo intempestivamente en un 43.73% en comparación con el concreto normal. Los resultados demuestran que los valores del asentamiento son susceptibles a la disminución, al adicionar las fibras PET reciclado.

Tabla 42

Resultados de la prueba asentamiento en concreto fresco

Fibras PET (%)	Asentamiento (mm)	σ	Asentamiento (mm)	C.V. (%)
0	23.60	1.14	22.46	5.08%
3	21.40	0.96	20.44	4.71%
6	16.50	0.79	15.71	5.03%
9	13.20	0.57	12.63	4.51%

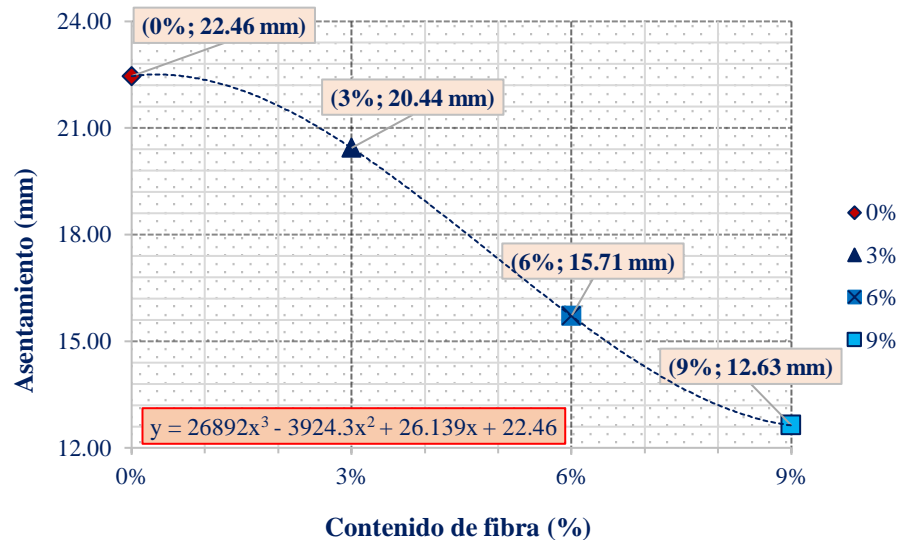
Nota. Se muestra los valores medios de asentamiento para cada condición de adición de fibras PET, así mismo el coeficiente de variación. Los resultados en laboratorio (Véase en el ANEXO 3). Fuente: Equipo de trabajo.

De acuerdo a la Figura 43, se puede apreciar que el asentamiento disminuye con el aumento de contenido de fibra. Cuando se adiciona en un 3% de fibras PET el valor de asentamiento tiene una variación mínima con respecto a la prueba patrón. Sin embargo, se observa cuando se adiciona un 9% de fibra PET presenta una disminución considerable de 7.9 mm, la cual repercute

negativamente en la consistencia de concreto fresco. Los resultados hallados según la definición de los autores Montejo et al. (2013) se clasifican de una consistencia muy seca que es menor a 25 mm.

Figura 43

Resultados de ensayo del asentamiento en el concreto



Nota. Esta figura demuestra la variación de resultados del asentamiento de concreto cuando es añadido en un 3%, 6% y 9% de fibra PET. Fuente: Equipo de trabajo.

3.10. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

En esta investigación, se efectuó los ensayos para investigar la influencia de las fibras PET reciclado de las propiedades físicas en la unidad de albañilería, el cual se adicionó las fibras con porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% PET reciclado con una dimensión de 15.0x2.00mm que provienen de las botellas de PET luego de consumir su contenido; para determinar las propiedades de la unidad de concreto se ensayaron después de 28 días. Por ende, se extrajeron los siguientes resultados de las propiedades físicas en ladrillos de concreto realizados de acuerdo a ensayos normalizadas.

3.10.1. Variación Dimensional

Tabla 43

Resultados de variación dimensional-0% de fibras PET

Descripción	Largo (L)	Ancho (A)	Alto (H)
Dimensiones brindadas por el fabricante (mm):	220.00	130.00	90.00
σ :	0.45	0.30	0.14
Promedio de las medidas (mm):	221.26	131.02	89.36
C.V. (%):	0.20	0.23	0.16
Variación dimensional (%):	-0.57	-0.78	0.71

Nota. Variación dimensional: -0.57% en largo, -0.78% en ancho, 0.71% en alto. Cumplen requisitos de Tabla 4, clasificados como ladrillos clase V según ensayo de laboratorio (ver ANEXO 4). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 44

Resultados de variación dimensional-3% de fibras PET

Descripción	Largo (L)	Ancho (A)	Alto (H)
Dimensiones brindadas por el fabricante (mm):	220.00	130.00	90.00
σ :	0.34	0.28	0.32
Promedio de las medidas (mm):	220.44	131.32	90.28
C.V. (%):	0.15%	0.21%	0.35%
Variación dimensional (%):	-0.20%	-1.01%	-0.31%

Nota. Variación dimensional: -0.20% en largo, -1.01% en ancho, -0.31% en alto. Cumplen requisitos de Tabla 4, clasificados como ladrillos clase V según ensayo de laboratorio (ver ANEXO 4). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 45

Resultados de variación dimensional-6% de fibras PET

Descripción	Largo (L)	Ancho (A)	Alto (H)
Dimensiones brindadas por el fabricante (mm):	220.00	130.00	90.00
σ :	0.32	0.29	0.78
Promedio de las medidas (mm):	220.55	131.28	89.75
C.V. (%):	0.15%	0.22%	0.86%
Variación dimensional (%):	-0.25%	-0.98%	0.28%

Nota. Variación dimensional: -0.25% en largo, -0.98% en ancho, 0.28% en alto. Cumplen requisitos de Tabla 4, clasificados como ladrillos clase V según ensayo de laboratorio (ver ANEXO 4). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 46

Resultados de variación dimensional-9% de fibras PET

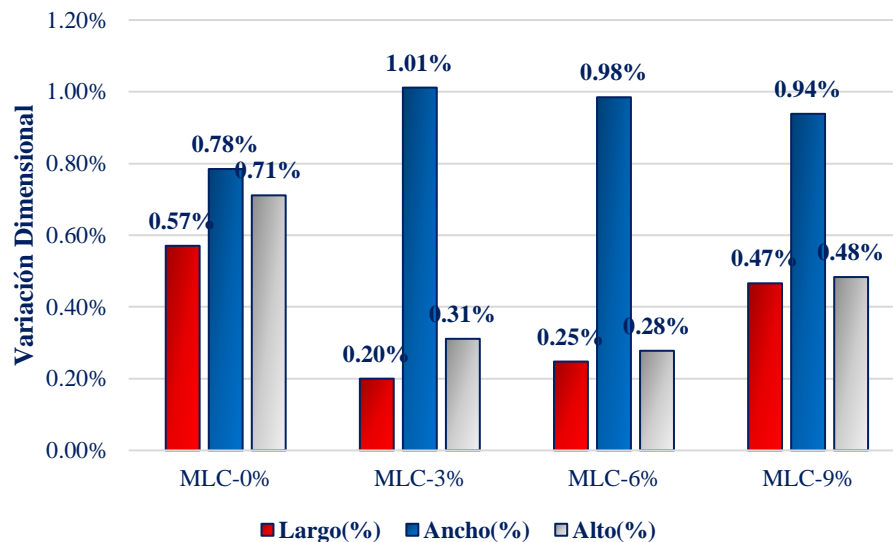
Descripción	Largo (L)	Ancho (A)	Alto (H)
Dimensiones brindadas por el fabricante (mm):	220.00	130.00	90.00
σ :	0.35	0.38	0.54
Promedio de las medidas (mm):	221.03	131.22	89.57
C.V. (%):	0.16	0.29	0.60
Variación dimensional (%):	-0.47	-0.94	0.48

Nota. Variación dimensional: -0.47% en largo, -0.94% en ancho, 0.48% en alto. Cumplen requisitos de Tabla 4, clasificados como ladrillos clase V según ensayo de laboratorio (ver ANEXO 4). Fuente: Equipo de trabajo.

Se estimó los valores de los resultados de variación dimensional de acuerdo a la NPT 399.604 (2015), en las muestras para adiciones de fibras PET en 3%, 6% y 9 %; el resultado se indica en la Tabla 43, 44, 45 y 46. Además, las diferencias de los resultados es mostrado en la Figura 44.

Figura 44

Comparación de los resultados en variación dimensional V (%)



Nota. MLC = Muestras de ladrillos de concreto con 0%, 3%, 6% y 9% de fibras PET. El gráfico demuestra la variación en los resultados correspondiente en largo, ancho y alto. Fuente: Equipo de trabajo.

Según el RNE (2020) establece límites con respecto a las dimensiones del ladrillo, la longitud tiene una tolerancia máxima de $\pm 1\%$, el ancho $\pm 2\%$, y la altura $\pm 3\%$, lo cual se puede afirmar que cumple con los criterios establecidos y los resultados clasifican a los ladrillos como clase V. En la Figura 44 se detallan los resultados de variación dimensional en los ladrillos con incorporación de fibras PET, los cuales están en los parámetros exigidos por la norma. Estas variaciones son controladas por la geometría de molde de ladrillo, lo cual son esenciales para garantizar la integridad estructural y la calidad de las construcciones de albañilería.

3.10.2. Alabeo

Los resultados de alabeo para cada adición de fibras PET se presenta en la Tabla 47, 48, 49 y 50.

Tabla 47

Resultados de alabeo con 0% de fibras PET

MLC-0% PET	Concavidad	0.45 mm
	Convexidad	0.50 mm

Nota. MLC-0% PET = Muestra de ladrillo de concreto sin fibra PET (0%). Se clasifican como un ladrillo de clase V según el ensayo de laboratorio, con un valor máximo permitido de 2mm (ver ANEXO 5). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 48

Resultados de alabeo con 3% de fibras PET

MLC-3% PET	Concavidad	0.30 mm
	Convexidad	0.55 mm

Nota. MLC-3% PET = Muestra de ladrillo de concreto con fibra PET (3%). Se clasifican como un ladrillo de clase V según el ensayo de laboratorio, con un valor máximo permitido de 2mm (ver ANEXO 5). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 49

Resultados de alabeo con 6% de fibras PET

MLC 6% PET	Concavidad	0.00 mm
	Convexidad	0.80 mm

Nota. MLC-6% PET = Muestra de ladrillo de concreto con fibra PET (6%). Se clasifican como un ladrillo de clase V según el ensayo de laboratorio, con un valor máximo permitido de 2mm (ver ANEXO 5). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 50

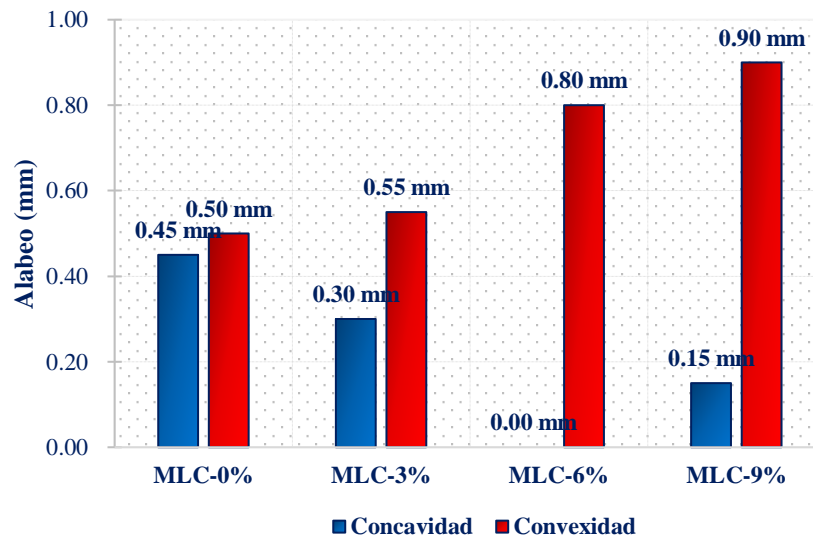
Resultados de alabeo con 9% de fibras PET

MLC 9% PET	Concavidad	0.15 mm
	Convexidad	0.90 mm

Nota. MLC-9% PET = Muestra de ladrillo de concreto con fibra PET (9%). Se clasifican como un ladrillo de clase V según el ensayo de laboratorio, con un valor máximo permitido de 2mm (ver ANEXO 5). Fuente: Equipo de trabajo.

Figura 45

Variación en los resultados en alabeo



Nota. MLC = Muestras de ladrillos de concreto con 0%, 3%, 6% y 9% de fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

La Figura 45 revela que la MLC-6% no presenta concavidad (0 mm), a diferencia de la MLC-0%, que exhibe una concavidad mayor que todas las MLC

de 3%, 6% y 9% de PET, siendo esta de 0.45 mm. Por otro lado, la MLC-3% muestra un equilibrio entre concavidad y convexidad.

En la Figura 45, el valor de la convexidad máxima observada con adiciones de 0%, 3%, 6%, y 9% de fibras PET es de 0.90 mm. Este resultado es significativamente inferior al límite especificadas en el RNE E.070 - Albañilería, que especifica un valor máximo permitido de 2 mm para la convexidad en ladrillos de clase V. En cumplimiento con la norma es un indicativo positivo de la calidad y la conformidad de las MLC con los estándares de construcción establecidos. La convexidad, que se refiere a la deformación de la cara de un ladrillo, es un parámetro crítico que influye en la estabilidad estructural y la apariencia estética de las construcciones.

3.10.3. Absorción

Se estimó los valores de los resultados de absorción de acuerdo a la NPT 399.604 (2015) en las muestras para adiciones de fibras PET en porcentajes de 3%, 6% y 9 %; el resultado se indica en la Tabla 51:

Tabla 51

Resumen de resultados en prueba de absorción

Resultados	Ladrillos de concreto con porcentajes de fibras de PET reciclado			
	0%	3%	6%	9%
Absorción promedio (%)	9.56	8.67	8.03	7.49
σ (%)	0.12	0.50	0.45	0.36
C.V. (%)	1.30	5.76	5.65	4.77

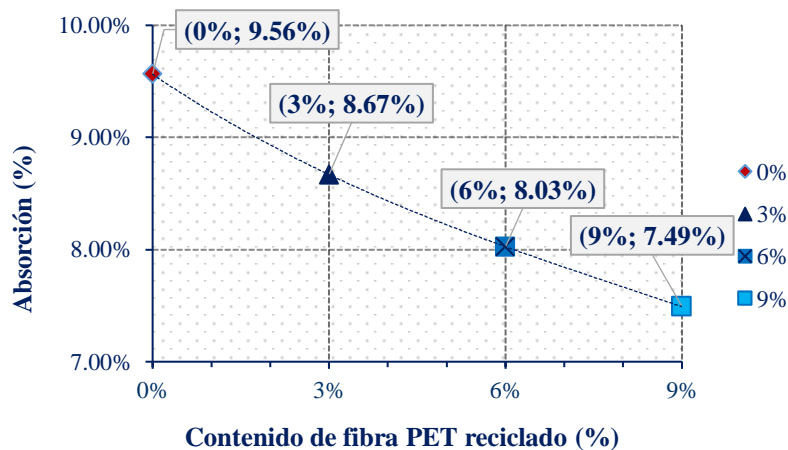
Nota. Se evaluó para cada condición de adición de fibras PET. Los resultados del ensayo en laboratorio (Véase en el ANEXO 6). Fuente: Equipo de trabajo.

Al realizar la estimación de resultados presentados en la Tabla 51, se demuestra que la absorción promedio, tras 28 días, con las adiciones de fibras PET varía significativamente. Los valores registrados son de 9.56%, 8.67%, 8.03% y 7.49%, en comparación con los porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9%, respectivamente. Estos datos reflejan de manera precisa el impacto de las fibras PET en la absorción, destacando una reducción de valor de absorción a medida que se eleva el porcentaje de fibra agregada.

La Figura 46 complementa estos hallazgos al visualizar la reducción de la absorción de 9.56% a 7.49%. El valor mínimo registrado es del 7.49%, y este se alcanza mediante la incorporación del 9% de fibras PET en la mezcla. Este resultado sugiere una eficacia significativa en la mejora de la propiedad de absorción de la unidad de albañilería al utilizar una proporción específica de fibras PET.

Figura 46

Resultados de absorción con contenido de fibras PET reciclado



Nota. Se detalla la variación de los resultados de absorción con la inclusión de fibras PET. Presenta una disminución al incrementar las fibras. Fuente: Equipo de trabajo.



Los valores de absorción obtenidos no superan el 12% según los lineamientos de la NTP 399.601 (2015), al contrario, va disminuyendo de 9.56% a 7.49% este comportamiento se explica por el incremento de las fibras PET que absorbe menor cantidad de agua según las propiedades físicas de la Tabla 2. Además, la porosidad del PET es mucho menor, lo que minimiza las preocupaciones sobre la absorción de agua, la estructura interna de las unidades de albañilería es menos porosa o hueca lo cual no ayuda a contener el agua. Por tanto, se tendrá mayor probabilidad de adherencia de mortero y la unidad; en resumen, los resultados de absorción influyen en efectos de la intemperie o la durabilidad.

3.11. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

En esta investigación, se efectuó los ensayos para investigar la influencia de las fibras PET reciclado en las propiedades mecánicas de la unidad de albañilería, el cual se adicionó las fibras con porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% PET reciclado con una dimensión de 15.00x2.00mm que provienen de las botellas de PET luego de consumir su contenido; para determinar las propiedades de los ladrillos de concreto se ensayaron después de 28 días. Por ende, se extrajeron los siguientes resultados de acuerdo a ensayos normalizadas.

3.11.1. Resistencia a compresión de unidades de albañilería

Se muestra los resultados procesados de la prueba de resistencia a compresión que se efectuó según las directrices de la NPT 399.604 (2015) para cada adición de las fibras en 0%, 3%, 6% y 9% PET reciclado en el ladrillo de concreto a la edad de 28 días.

Tabla 52*Resumen de resultados en prueba de resistencia a compresión*

Resultados	Ladrillos de concreto con fibras PET reciclado			
	0%	3%	6%	9%
Resistencia a compresión promedio (kg/cm ²)	139.25	142.23	132.63	122.22
σ (kg/cm ²)	3.03	2.97	3.64	2.58
f'_b (kg/cm ²)	136.22	139.26	128.99	119.64
C.V. (%)	2.18%	2.09%	2.75%	2.11%

Nota. Se evaluó cinco muestras para cada condición de adición de fibras PET. Los resultados del ensayo en laboratorio (Véase en el ANEXO 7). Fuente: Equipo de trabajo.

Según la Tabla 52, la resistencia característica a compresión (f'_b) se tiene como resultados 136.22 kg/cm², 139.26 kg/cm², 128.99 kg/cm² y 119.64 kg/cm² con la inclusión de las fibras PET reciclado como composición del ladrillo de concreto en porcentajes de 0%, 3%, 6% y 9% respectivamente que fueron curados en una poza durante 28 días.

Tabla 53*Resumen de resultados en porcentaje (%) de la resistencia a compresión*

Resultados	Ladrillos de concreto con fibras PET reciclado			
	0%	3%	6%	9%
f'_b	100.00%	102.23%	94.69%	87.83%

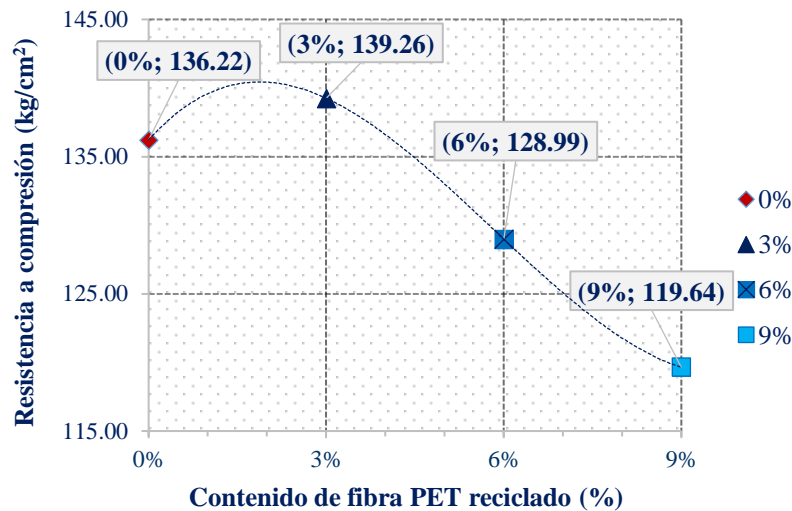
Nota. El cambio de los resultados en porcentajes del ensayo de laboratorio de resistencia a compresión. Fuente: Equipo de trabajo.

En la Tabla 53 se estimó el porcentaje de los resultados en función de la muestra patrón. La diferencia entre el valor prueba de control y los valores con la incorporación de las fibras PET reciclado de 3%, 6% y 9% es de -2.23%, 5.31% y 12.17% respectivamente, lo que significa que se incrementó en 2.23% cuando hay un 3% de fibras PET, pero existe una disminución de la resistencia característica relacionadas con el 6% y 9% de fibras PET.

De la Tabla 52 se tiene la Figura 47, muestra cómo las fibras PET recicladas afectaron la resistencia a la compresión del ladrillo de concreto después de 28 días.

Figura 47

Variación de resistencia a compresión

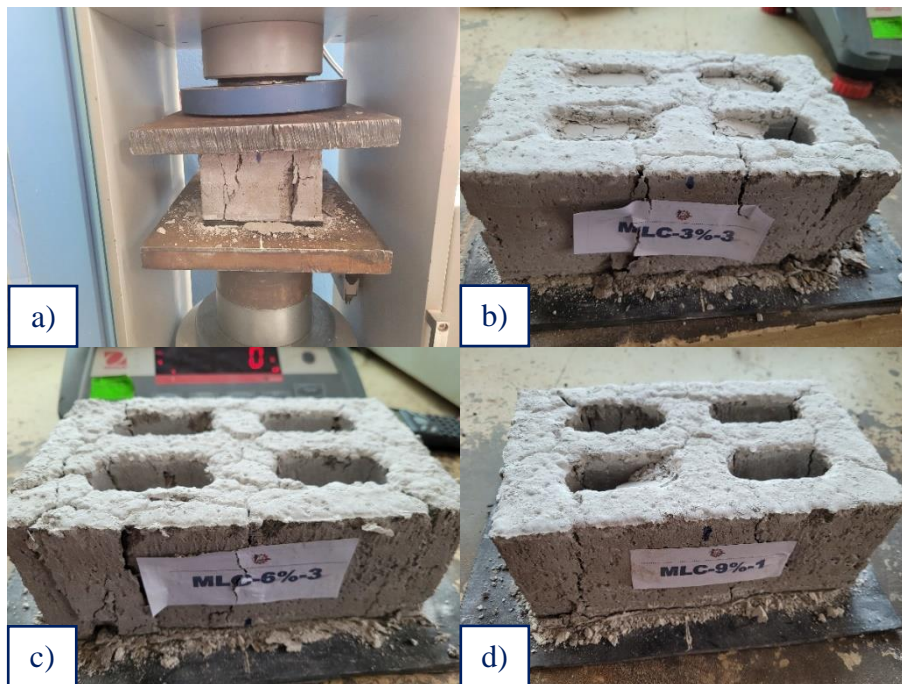


Nota. Cada punto representa el efecto de la resistencia característica a compresión con la incorporación de contenido de fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

De la Figura 47 cada punto en el gráfico representa la resistencia de la unidad al añadir las fibras PET. Se demuestra la elevación de la resistencia al añadir un 3% de fibra PET, clasificando el ladrillo como clase IV. Sin embargo, se registra la pérdida resistencia a compresión al incrementar las fibras PET al 6% y 9%, el cual lo clasifica como ladrillo de clase III bajo los directrices del RNE E.070. Estos resultados indican la influencia significativa de fibras PET en las propiedades mecánicas del ladrillo de concreto y resaltan la importancia de seleccionar cuidadosamente la cantidad de fibras para cumplir con los estándares de resistencia establecidos.

Figura 48

Modos de falla de unidades con fibras PET reciclado



Nota. Se muestra el estado del espécimen luego de someter la prueba de resistencia a compresión. a) Falla de la muestra con 0% fibra PET, b) Falla de la muestra con 3% fibra PET c) Falla de la muestra con 6% fibra PET y d) Falla de la muestra con 9% fibra PET. Fuente: Equipo de trabajo.

Los resultados demuestran con un bajo contenido de 3% de fibras PET si eleva la resistencia a compresión, pero presenta una disminución de los resultados cuando existe un 6% y 9% de fibras PET, el efecto se explica por la falta de homogeneidad del concreto, el área de contacto y el anclaje por las fibras PET, debido que es un punto débil del concreto lo cual debilita la adherencia entre sí o unión mecánica, las fibras PET no se ligan con el concreto y en dichas áreas se generan las fisuras por estar sometidos en la dirección de la carga durante el ensayo a compresión. Al incrementar los porcentajes de fibras PET en 6% y 9% se tiene baja probabilidad de cohesión entre la superficie lisa y concreto, el cual induce a la reducción de resistencia a compresión. Sin embargo, se mostró un mayor control de fisura en el sentido contrario de la dirección de carga, como se

visualiza en la Figura 48, el estado final de las unidades de concreto para cada adición de fibras PET en el ensayo a resistencia a compresión.

3.11.2. Resistencia a flexión de unidades de albañilería

Los resultados del ensayo de flexión se determinaron con cinco muestras que contiene las adiciones de fibras PET en 0%, 3%, 6% y 9%, según el lineamiento de la NPT 399.613 (2017) para edad de 28 días. Se presenta los resultados en la Tabla 54:

Tabla 54

Resumen de resultados de resistencia a flexión

Resultados	Ladrillos de concreto con fibras PET reciclado			
	0%	3%	6%	9%
Resistencia a flexión promedio (kg/cm ²)	25.49	25.36	20.93	19.22
σ (kg/cm ²)	1.54	1.39	1.28	1.27
f_r (kg/cm ²)	23.95	23.97	19.65	17.96
C.V. (%)	6.03	5.49	6.11	6.58

Nota. Se evaluó cinco muestras para cada condición de adición de fibras PET. Los resultados del ensayo en laboratorio (Véase en el ANEXO 8). Fuente: Equipo de trabajo.

Los valores de resistencia a flexión mostrados en la Tabla 54, se tiene como resultados 23.95 kg/cm², 23.97 kg/cm², 19.65 kg/cm² y 17.96 kg/cm² en cuanto al 0%, 3%, 6% y 9% de fibras PET respectivamente. La reducción de la resistencia a flexión es -0.02 kg/cm², 4.30 kg/cm² y 6.00 kg/cm² con respecto a la prueba patrón a los 28 días de edad.

En la Tabla 55 se estimó el porcentaje de los resultados frente a la muestra de ladrillo de concreto sin la inclusión de PET. Se incremento en 0.07% la resistencia a flexión al adicionar 3% de fibra PET, pero presenta reducciones en

17.97% y 25.03% para 6% y 9% de fibras PET respectivamente, lo que indica que si causa un efecto en la unidad de albañilería en su comportamiento mecánica.

Tabla 55

Resumen de resultados en porcentaje (%) de la resistencia a flexión

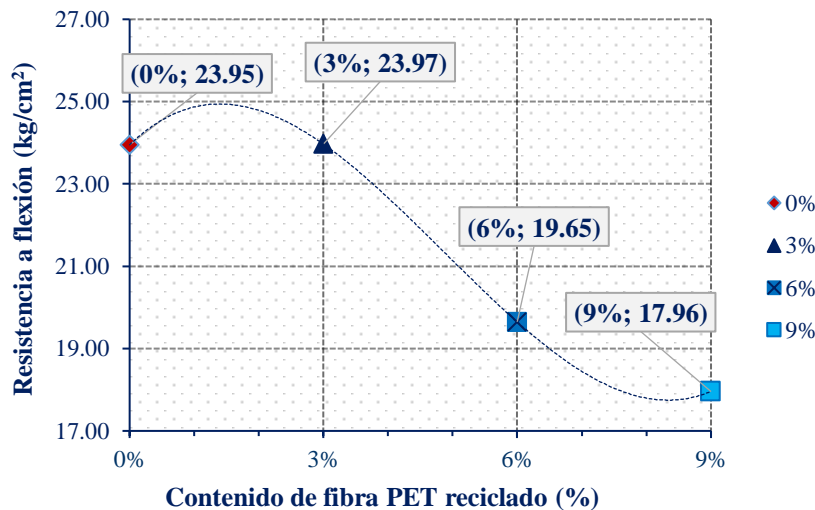
Resultados	Ladrillos de concreto con fibras PET reciclado			
	0%	3%	6%	9%
Resistencia a flexión f'_t	100.00%	100.07%	82.03%	74.97%

Nota. La variación de los resultados en porcentajes del ensayo de laboratorio de resistencia a flexión. Fuente: Equipo de trabajo.

De la Tabla 54 se tiene la Figura 49, el cual refleja los efectos de las fibras PET reciclado en el comportamiento de la resistencia a flexión de la unidad de albañilería con una edad de 28 días.

Figura 49

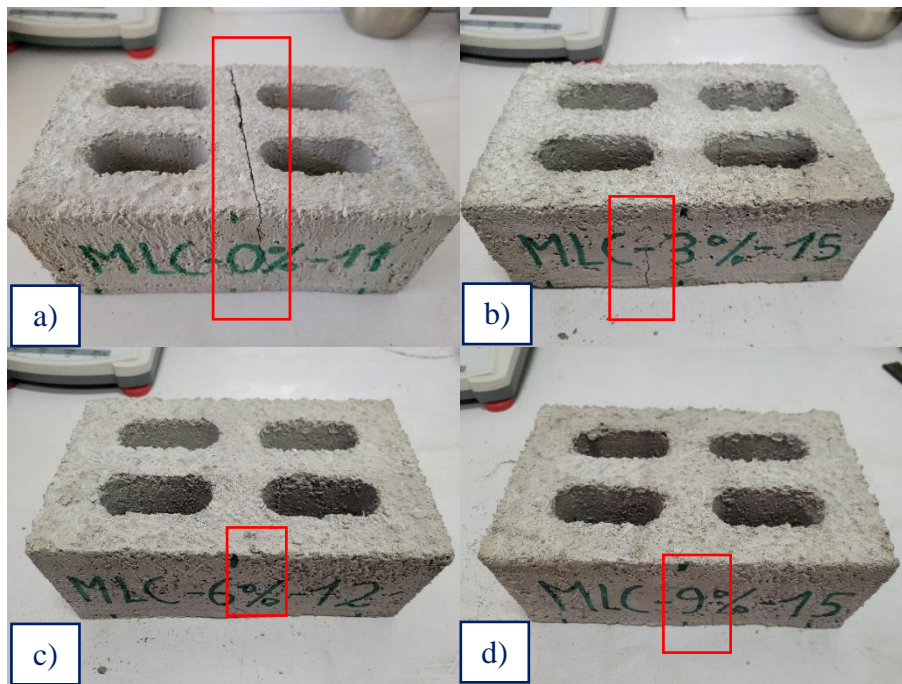
Variación de resistencia a flexión



Nota. Cada punto representa la resistencia a flexión con la adición de contenido de fibras PET, se verifica un incremento mínimo al adicionar un 3% de fibra PET; pero disminuye la resistencia a flexión al incrementar 6% y 9% de Fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

Figura 50

Modos de falla de unidades con fibras PET reciclado



Nota. Se muestra el estado del espécimen luego de someter el ensayo de resistencia a flexión. a) Falla de la muestra con 0% fibra PET, b) Falla de la muestra con 3% fibra PET c) Falla de la muestra con 6% fibra PET y d) Falla de la muestra con 9% fibra PET. Fuente: Equipo de trabajo.

Los resultados demuestran con un bajo contenido de 3% de fibras PET es insignificante en la mejora de la resistencia a flexión; pero disminuye los resultados cuando existe un 6% y 9% de fibras PET en la unidad, la disminución de la resistencia a flexión se atribuye por la superficie lisa y falta de rugosidad, la débil cohesión entre el concreto y las fibras PET al incrementar de forma ascendente. Sin embargo, se observa que después de someter el ensayo, las unidades sin contenido de fibras PET sufrieron rotura en dos partes, en cambio al añadir e incrementar las fibras PET sufrió un alto anclaje mecánico con el concreto en la dirección contraria de la carga en la zona de tensión del ladrillo de concreto como se muestra en la Figura 50. Esto demuestra que es beneficioso en contrarrestar en la formación y extensión de fisuras; lo que se puede atribuir a la influencia de las fibras PET.

3.11.3. Resistencia a compresión de pilas de albañilería

Tabla 56

Resultados de resistencia en pilas-0% de fibras PET

Espécimen	Resistencia a compresión (kg/cm²)
MP-0%-1:	86.96
MP-0%-2:	80.28
MP-0%-3:	83.70
Promedio (fm):	83.65
σ (kg/cm ²):	3.34
f^m (kg/cm ²):	80.31
C.V. (%):	3.99

Nota. Los resultados del laboratorio (ver ANEXO 9). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 57

Resultados de resistencia en pilas-3% de fibras PET

Espécimen	Resistencia a compresión (kg/cm²)
MP-3%-1:	91.03
MP-3%-2:	89.10
MP-3%-3:	87.47
Promedio (fm):	89.20
σ (kg/cm ²):	1.78
f^m (kg/cm ²):	87.42
C.V. (%):	1.99

Nota. Los resultados del laboratorio (ver ANEXO 9). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 58

Resultados de resistencia en pilas-6% de fibras PET

Espécimen	Resistencia a compresión (kg/cm²)
MP-6%-1:	74.00
MP-6%-2:	71.2
MP-6%-3:	68.91
Promedio (fm):	71.38
σ (kg/cm ²):	2.55
f^m (kg/cm ²):	68.83
C.V. (%):	3.57

Nota. Los resultados del laboratorio (ver ANEXO 9). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 59

Resultados de resistencia en pilas-9% de fibras PET

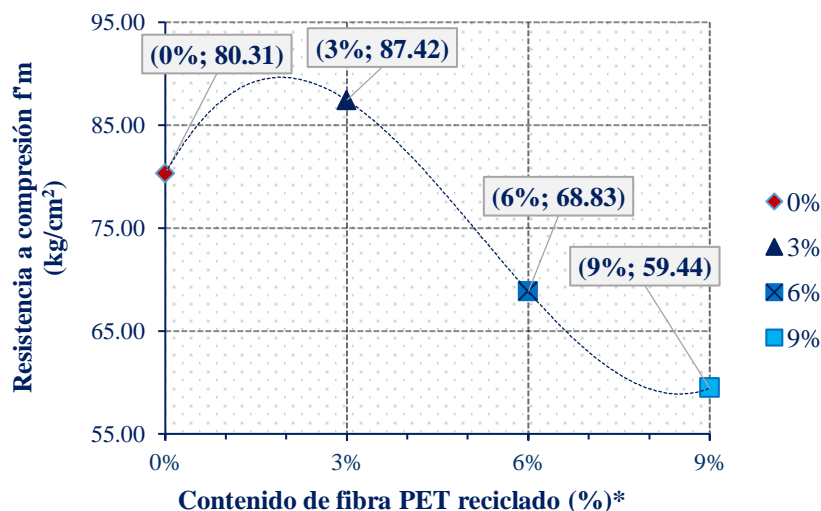
Espécimen	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
MP-9%-1:	62.19
MP-9%-2:	65.77
MP-9%-3:	59.62
Promedio (fm):	62.53
σ (kg/cm ²):	3.09
f'm (kg/cm ²):	59.44
C.V. (%):	4.94

Nota. Los resultados del laboratorio (ver ANEXO 9). Fuente: Equipo de trabajo.

Los resultados en pilas de albañilería, han sido detalladamente presentados en las Tablas 56, 57, 58 y 59. La información contenida en estas tablas proporciona una visión exhaustiva de los diversos parámetros y características evaluadas en relación con las distintas proporciones de fibras PET incorporadas en las mezclas para el moldeo de ladrillos de concreto.

Figura 51

Resultados de resistencia axial en Pilas



Nota. Cada punto representa la resistencia característica a compresión en prismas de pilas, se verifica un incremento al adicionar un 3% de fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

* Las fibras PET reciclado se adicionaron en las unidades de albañilería.

De acuerdo, a la Figura 51 se verifica visualmente un notable incremento en la resistencia al agregar un 3% de fibras PET a la mezcla, sugiere que la inclusión de dicho porcentaje de fibras tiene una incidencia positiva con respecto a la resistencia a compresión de las pilas, indicando una mejora significativa en comparación con los otros.

3.11.4. Resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería

Los resultados del ensayo se presentan en la Tabla 60 se determinaron con tres muestras según las directrices de la NPT 399.621 (2004) para edad de 28 días; efectuadas con ladrillos adicionados con fibras PET en 0%, 3%, 6% y 9%, el grosor de mortero es de 1.5 cm en la horizontal y vertical.

La Tabla 60 contiene los valores de resistencia a corte. Se evidencia la reducción de la resistencia a corte que son 2.36 kg/cm^2 , 2.64 kg/cm^2 y 4.75 kg/cm^2 con respecto a la muestra de prismas de unidades de concreto sin la inclusión de fibras PET a la edad de 28 días.

Tabla 60

Resumen de resultados en resistencia a corte

Resultados	Ladrillos de concreto con fibras PET reciclado			
	0%	3%	6%	9%
Resistencia a corte promedio (kg/cm^2)	15.85	13.45	13.19	11.40
σ (kg/cm^2)	0.72	0.68	0.71	1.03
v'_m (kg/cm^2)	15.13	12.77	12.49	10.37
C.V. (%)	4.53	5.07	5.36	9.00

Nota. Variaciones de resultados de resistencia a corte. Los resultados del ensayo en laboratorio (ver ANEXO 10). Fuente: Equipo de trabajo.

Se estimó los porcentajes de los resultados frente al espécimen de prisma con ladrillos de concreto sin la inclusión de fibras PET que se detalla en la Tabla

61. Las reducciones en la resistencia a corte son de 15.59%, 17.46%, 31.42% para 3%, 6% y 9% de fibras PET respectivamente, lo que indica que afecta en la adherencia unidad-mortero.

Tabla 61

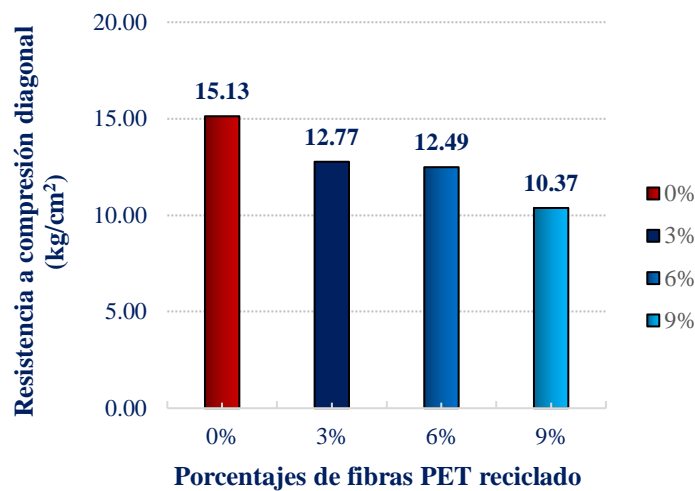
Resumen de resultados en porcentaje (%) de la resistencia a corte

Resultados	Prismas de ladrillos de concreto con porcentajes de fibras de PET reciclado			
	0%	3%	6%	9%
Resistencia a corte v'_m	100.00%	84.41%	82.54%	68.58%

Nota. Variaciones en porcentaje en los resultados del ensayo de resistencia a corte para cada dosificación de fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

Figura 52

Resultados de resistencia a corte



Nota. Los valores de resistencia a corte disminuyen de 15.13 kg/cm² a 10.37 kg/cm². Fuente: Equipo de trabajo.

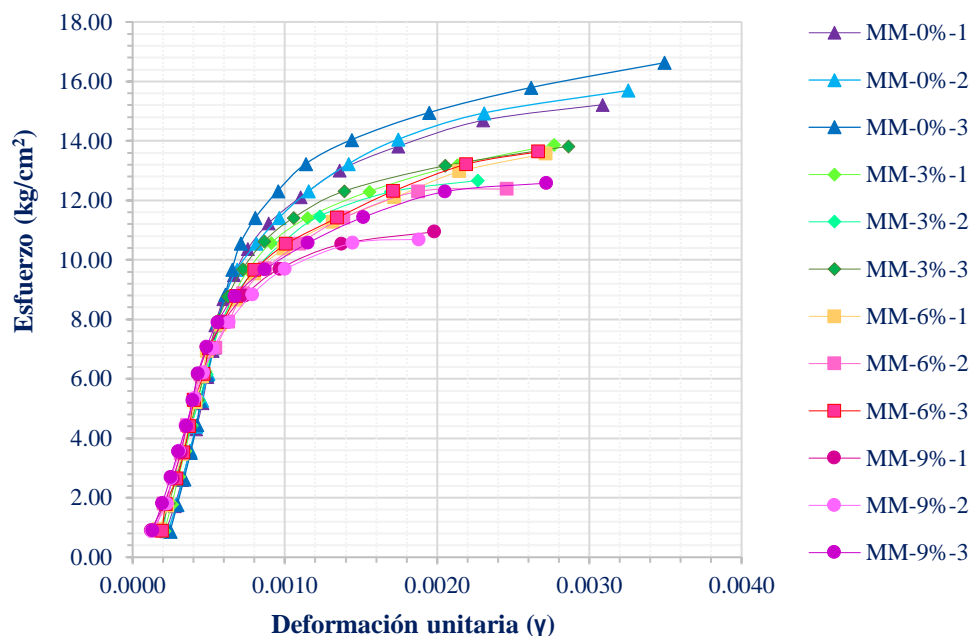
Así mismo, en la Figura 52, se visualiza que los resultados disminuyen cuando se eleva el contenido de fibras PET en la unidad de albañilería. Además, los prismas con ladrillos de concreto sin fibras PET presentan fallas que cruzan la unidad y el mortero, que es óptima según la definición de los autores San

Bartolomé et al. (2018). Se puede indicar q tiene un buen comportamiento de adherencia entre ambos elementos. Sin embargo, en prismas con contenido de fibras PET la falla es combinada de tipo cortante-tensión diagonal.

El comportamiento de esfuerzo-deformación unitaria de cada grupo de muretes con fibras PET incorporadas en la unidad de albañilería se visualiza en la Figura 53.

Figura 53

Curva esfuerzo-deformación unitaria en muretes



Nota. Curvas características esfuerzo-deformación unitaria para cada murete con la inclusión de fibras PET en ladrillos de concreto. Fuente: Equipo de trabajo.

Los resultados muestran un comportamiento lineal hasta cierto punto de limite elástico, seguido de un comportamiento no elástico y hasta ocurrir el punto de rotura para cada grupo de murete. En donde, se aprecia que los muretes efectuados con ladrillos sin incorporación de fibras PET tiene una deformación unitaria superior al grupo de muretes elaborados con adición de fibras PET; pero

presenta mayor resistencia a corte, lo cual no ocurre lo mismo cuando se incrementa las fibras PET.

3.11.5. Resistencia a compresión de mortero

La resistencia a compresión de cubos de mortero de 50 mm de lado es un indicador fundamental de la calidad del mortero y ha sido extensamente estudiada. En esta investigación, se evaluó las cargas ultimas que los morteros pueden tolerar a los 7, 14 y 28 días. Estos morteros se prepararon utilizando arena extraída de la cantera "Alfaro-Ilave" y siguiendo la proporción de cemento: arena de 1:4, el cual se puede apreciar en la Tabla 62.

Tabla 62

Dosificación del mortero 1:4

Descripción	Cemento	Arena fina	Agua
Dosificación en peso húmedo	1	3.78	30.60 l/bol
Dosificación en volumen:	1	4	0.72 l

Nota. Los resultados son 1:3.78:30.60 l/bolsa. Fuente: Equipo de trabajo.

Los resultados de los tres especímenes de mortero endurecido con lados de 50 mm compuesto por una proporción de 1:4 se detallan en la Tabla 62, 63, 64 y 65.

Tabla 63

Resistencia de cubos de mortero-7 días

Descripción	kg/cm ²	MPa
fm (Promedio)	110.31	10.82
σ :	2.56	0.25
fm	107.76	10.57
C.V.:	2.37%	

Nota. Los resultados del ensayo en laboratorio (Véase en el ANEXO 11). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 64

Resistencia de cubos de mortero-14 días

Descripción	kg/cm ²	MPa
fm (Promedio)	133.49	13.10
σ:	5.54	0.54
fm	127.95	12.55
C.V.:	4.33%	

Nota. Los resultados del ensayo en laboratorio (Véase en el ANEXO 11). Fuente: Equipo de trabajo.

Tabla 65

Resistencia de cubos de mortero-28 días

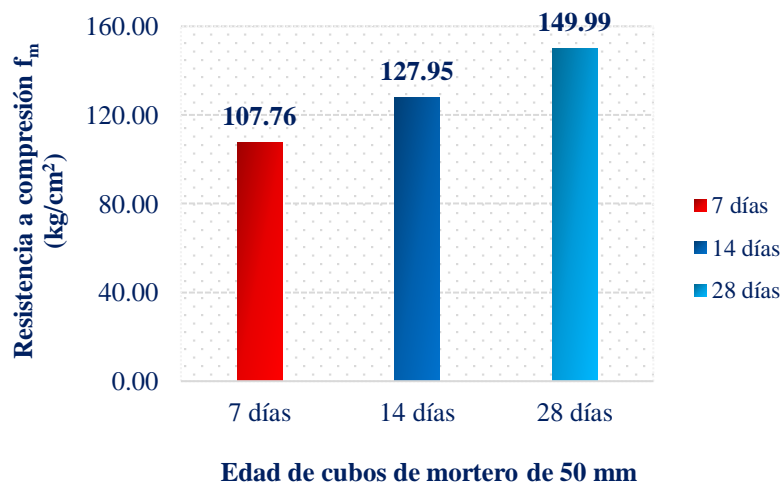
Descripción	kg/cm ²	MPa
fm (Promedio)	155.35	15.24
σ:	5.37	0.53
fm	149.99	14.71
C.V.:	3.58%	

Nota. Los resultados del ensayo en laboratorio (Véase en el ANEXO 11). Fuente: Equipo de trabajo.

En la Figura 54 se demuestra el comportamiento del mortero endurecido.

Figura 54

Resistencia de mortero endurecido con 1:4



Nota. Los resultados de la resistencia a compresión de los cubos para diferentes edades con una relación de 1:4 (cemento – arena). Fuente: Equipo de trabajo.

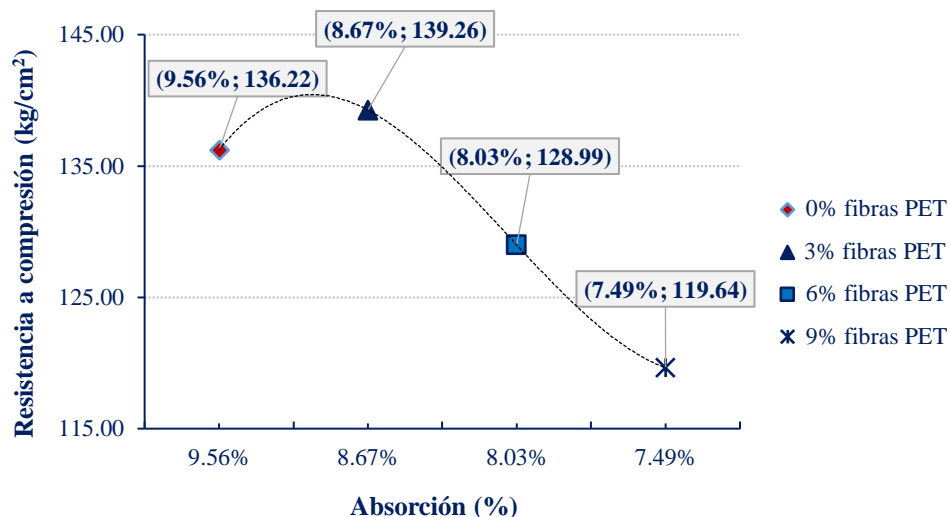
3.12. INTERPRETACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DE LADRILLO DE CONCRETO

Después de someter los diferentes ensayos, se muestra la existencia de la relación entre la resistencia a compresión vs. Absorción; y la resistencia a compresión vs. resistencia a flexión para una edad de 28 días del ladrillo de concreto.

3.12.1. Resistencia a compresión vs. Absorción

Figura 55

Resistencia a compresión vs. Absorción



Nota. Los datos de ambos parámetros proceden de la Tabla 51 y 52. Fuente: Equipo de trabajo.

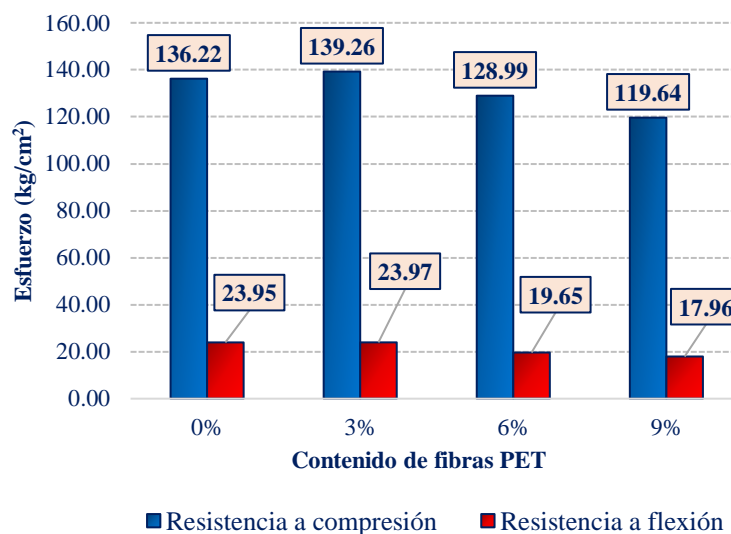
Según la Figura 55 se evidencia que no existe una correlación clara al añadir las fibras PET en forma ascendente de 0%, 3%, 6% y 9% a la unidad entre ambos parámetros. La absorción de cada unidad adicionado con fibras PET en agua fría durante 24 hr produce un efecto en su tasa de absorción de 9.56% a 7.49%. Así mismo, se verifica la elevación de resistencia a compresión cuando existe un 3% de fibra PET. Sin embargo, se reduce en la propiedad de resistencia a compresión de 136.22 kg/cm² a 128.99 kg/cm² y 119.64 kg/cm², cuando existe un 6% y 9% de fibra PET; la absorción para dichos valores es de 8.03% y 7.49%

lo cual indica que existe una relación directa entre ambos indicadores de medición, debido a que sus poros internos influyen en la adherencia entre el concreto y las fibras PET, por lo cual se explica que al adicionar las fibras PET no absorberá agua, debido a que es mínimo la absorción de PET de acuerdo a la Tabla 2. Por ende, se explica que a medida que se agrega las fibras PET, se reduce la absorción, pero al adicionar un 3% de PET eleva la resistencia a compresión. Sin embargo, se reduce la resistencia a compresión de la unidad al añadir el 6% y 9% de fibra PET.

3.12.2. Resistencia a compresión vs. resistencia a flexión

Figura 56

Resistencia a compresión vs. resistencia a flexión



Nota. Los datos de ambos parámetros proceden de la Tabla 52 y 54. Fuente: Equipo de trabajo.

De la Figura 56 se visualiza una relación entre ambos parámetros al adicionar las fibras PET que va de 0%, 3%, 6% y 9% a la unidad; cuando existe un 3% de fibra PET se incrementó en ambos parámetros, pero disminuye la resistencia a compresión de 136.22 kg/cm² a 128.99 kg/cm² y 119.64 kg/cm² cuando hay un 6% y 9% de fibras PET. Además, se verifica la reducción en la

resistencia a flexión de 4.30 kg/cm^2 y 6.00 kg/cm^2 , lo cual se deduce que existe una correlación entre ambos indicadores de medición. A partir de los resultados, se explica que hasta un 3% de fibra PET si eleva las propiedades mecánicas, pero al incrementar de 6% a 9% de fibras PET se produce la pérdida la resistencia a compresión y flexión del ladrillo.

De la Tabla 66 las relaciones de f_r/f_b cuando hay 0%, 3%, 6% y 9% de fibras PET son el 17.58%, 17.21%, 15.23% y 15.01% respectivamente. Los autores Drysdale et. al (1993) señalan que típicamente el esfuerzo a flexión está entre el 10 a 20 % de la resistencia a compresión, de los cuales los valores de la Tabla 66 demuestran efectivamente se encuentra en el rango.

Tabla 66

Relación de f_r/f_b

Resultados	Ladrillos de concreto con porcentajes de fibras de PET reciclado			
	0%	3%	6%	9%
f_r/f_b	17.58%	17.21%	15.23%	15.01%

Nota. Se muestra la relación f_r/f_b al incrementar las fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

3.13. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

3.13.1. Asentamiento del concreto fresco

Para evaluar la siguiente variable y validar la hipótesis se recopiló los datos del asentamiento con diferentes dosificaciones (0%, 3%, 6% y 9% de fibras PET reciclado) para la fabricación de unidades de concreto, realizando varias medidas en las diferentes muestras.

3.13.1.1. Prueba de normalidad

El uso del software SPSS permitió verificar la normalidad de los datos de asentamiento según se detalla en la Tabla 67 utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, lo cual es más adecuada para muestras igual o inferior a 30.

Tabla 67

Estadístico de la variable de asentamiento del concreto

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
5	Cuantitativo	Razón	SHAPIRO – WILK

Fuente: Equipo de trabajo.

3.13.1.1.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : Los datos no son distintas a la distribución normal.

H_1 : Los datos son distintas a la distribución normal.

3.13.1.1.2. Regla de decisión

Si **p-valor** \leq **0.05**, rechace la hipótesis nula.

Si **p-valor** $>$ **0.05**, no rechace la hipótesis nula.

Tabla 68

Prueba de normalidad de datos de asentamiento de concreto

Contenido de fibras PET reciclado	Shapiro-Wilk			Decisión
	Estadístico	g.l.	Sig. (p- valor)	
0%	0.961	5	0.814*	Distribución normal
3%	0.979	5	0.928*	Distribución normal
6%	0.987	5	0.967*	Distribución normal
9%	0.961	5	0.814*	Distribución normal

Nota: Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 3). Fuente: Extraído del Software IBM-SPSS

* p-valor $>$ 0.05.



3.13.1.1.3. Interpretación y decisión

- Para la variable de asentamiento de concreto con 0% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.814 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable no son distintos a la distribución normal.
- Para la variable de asentamiento de concreto con 3% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.928 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable no son distintos a la distribución normal.
- Para la variable de asentamiento de concreto con 6% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.967 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable no son distintos a la distribución normal.
- Para la variable de asentamiento de concreto con 9% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.814 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable no son distintos a la distribución normal.

Como los p-valor son superiores al nivel de significancia 0.05 según se detalla en la Tabla 68; se verifica que la variable asentamiento del concreto con fibras PET reciclado no son distintos a la distribución normal. Entonces para la validación de la hipótesis se aplicó la estadística inferencial paramétrica, específicamente la prueba de ANOVA de un factor.

3.13.1.2. Prueba de relación entre variables

Mediante el uso del software SPSS se verificó la fuerza de asociación entre las variables utilizando la prueba “correlacionar”.

3.13.1.2.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : No existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y el asentamiento de concreto fresco.

H_1 : Existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y el asentamiento de concreto fresco.

3.13.1.2.2. Regla de decisión

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$, rechace la hipótesis nula.

Si $p\text{-valor} > 0.05$, no rechace la hipótesis nula.

Tabla 69

Correlación entre las fibras PET reciclado y asentamiento de concreto

N	r^a	Sig. (p-valor)	Decisión
20	-0.972	0.000**	Se rechaza H_0

Nota: Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 3). Fuente: Extraído del Software IBM-SPSS

^a Correlación de Pearson.

** $p\text{-valor} < 0.05$.

3.13.1.2.3. Interpretación y decisión

Se visualiza que ambas variables de adición fibras PET reciclado y el asentamiento de concreto fresco se correlacionaron negativamente de manera muy elevada (-0.972) según se detalla en la Tabla 69. Con un nivel de significancia inferior a 0.05. Por tanto, la hipótesis nula H_0 se rechaza y la hipótesis alternativa H_1 se acepta; entonces existe una correlación

entre las variables de la adición fibras PET reciclado y el asentamiento de concreto fresco.

3.13.1.3. Contraste de Hipótesis

Estadístico de prueba ANOVA, permite determinar si el parámetro es diferente, es decir si es mayor o menor que el valor hipotético.

3.13.1.3.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : Las fibras PET reciclado no influyen significativamente en el asentamiento de concreto fresco en la elaboración de ladrillos de concreto.

H_1 : Las fibras PET reciclado influyen significativamente en el asentamiento de concreto fresco en la elaboración de ladrillos de concreto.

3.13.1.3.2. Estadístico de prueba ANOVA

$$H_0: \mu_0 = 23.6$$

$$H_1: \mu_1 \neq 23.6$$

Tabla 70

Análisis de la prueba ANOVA para el ensayo de asentamiento

PET (%)	Asentamiento (mm)					\bar{x}_i	ni	$n_i(\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$
	1°	2°	3°	4°	5°				
0	22.00	24.00	24.00	23.00	25.00	23.60	5	121.28	126.48
3	22.50	21.00	22.00	21.50	20.00	21.40	5	37.13	40.83
6	17.00	17.50	16.50	16.00	15.50	16.50	5	23.65	26.15
9	13.00	13.50	14.00	13.00	12.50	13.20	5	149.88	151.18
						Σ	20	331.94	344.64

Nota: Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 3). Fuente: Equipo de trabajo.

$$N_i = 20 \text{ y } k = 4$$

$$\bar{x}_{..} = 18.68$$

$$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 = 331.94$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = 344.64$$

$$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 12.70$$

La Tabla 70 presenta el análisis ANOVA para los resultados de asentamiento de concreto la cual nos ayuda a entender si hay variaciones estadísticamente significativas en el comportamiento de asentamiento del concreto bajo diferentes condiciones con 0%, 3%, 6% y 9% de fibras PET, que es crucial en la mejora del diseño y control de calidad en los ladrillos de concreto.

Tabla 71

Resumen de la prueba ANOVA en asentamiento

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	F _o
Entre las muestras	331.94	3	110.646	139.396
Dentro de las muestras	12.70	16	0.794	
Total	344.64	19		

Fuente: El equipo de trabajo.

El F crítico es:

$$F_{\alpha, k-1, N-k} = 3.239$$

$$p - \text{valor} = 1.12 \times 10^{-11}$$

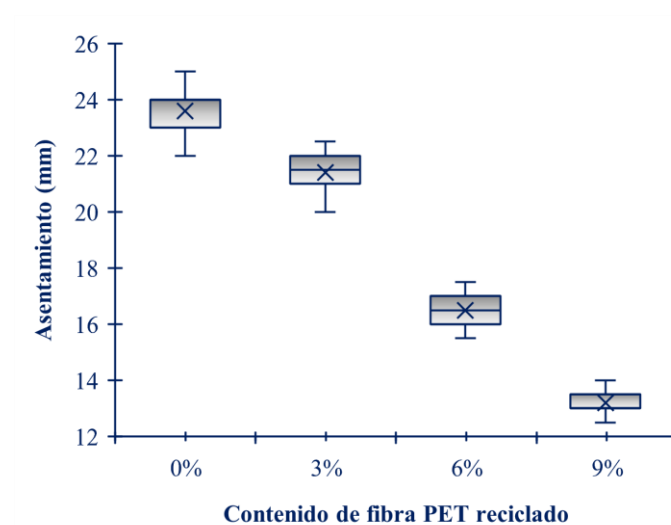
$$F_o > F_{crítico} = 139.396 > 3.239$$

Según la Tabla 71, se rechaza la hipótesis nula H_0 , y se acepta la hipótesis alternativa H_1 ; por tanto, se confirma la diferencia, la adición de fibras de PET influye en el asentamiento de concreto fresco en la elaboración de ladrillos de concreto.

La Figura 57 es un diagrama de cajas para el ensayo de asentamiento de concreto, se puede obtener información de ella sobre la dispersión de los valores de asentamiento y cualquier presencia de valores atípicos. Esto es útil para evaluar la consistencia y la variabilidad en el comportamiento del concreto fresco en el asentamiento. En el diagrama de cajas simultáneo, cada "caja" representa la distribución del conjunto de datos con diferentes porcentajes de fibras PET, la cual nos facilita la comparación visual entre ellas.

Figura 57

Cuadro de cajas en asentamiento de concreto



Nota. Se muestra los diagramas de cajas simultáneos con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 3). Fuente: Equipo de trabajo.

3.13.2. Resistencia a compresión de unidades de albañilería

Para evaluar la siguiente variable y validar la hipótesis; se recopiló los datos del ensayo de la resistencia a la compresión en ladrillos de concreto con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado (0%, 3%, 6% y 9%), realizando medidas en las diferentes muestras.

3.13.2.1. Prueba de normalidad

El uso del software SPSS permitió verificar la normalidad en los datos de la variable de resistencia a compresión según se detalla en la Tabla 72 utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, lo cual es más adecuada para muestras igual o inferior a 30.

Tabla 72

Estadístico de la variable de resistencia a compresión

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
5	Cuantitativo	Razón	Shapiro – Wilk

Fuente: El equipo de trabajo

3.13.2.1.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : Los datos no son distintas a la distribución normal.

H_1 : Los datos son distintas a la distribución normal.

3.13.2.1.2. Regla de decisión

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$, rechace la hipótesis nula.

Si $p\text{-valor} > 0.05$, no rechace la hipótesis nula.

En la Tabla 73 se muestra los resultados de la prueba de normalidad con el software estadístico SPSS.

Tabla 73*Prueba de normalidad de datos de resistencia a compresión*

Descripción	Shapiro-Wilk			Decisión
	Estadístico	g.l.	Sig. (p-valor)	
MLC-0% ^a	0.869	5	0.263*	Distribución normal
MLC-3% ^b	0.957	5	0.788*	Distribución normal
MLC-6% ^c	0.985	5	0.960*	Distribución normal
MLC-9% ^d	0.967	5	0.857*	Distribución normal

Nota. MLC = Muestra de ladrillo de concreto. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 7). Fuente: Extraído del Software IBM-SPSS

^a Con 0% fibras PET. ^b Con 3% fibras PET. ^c Con 6% fibras PET. ^d Con 9% fibras PET.

* p-valor>0.05.

3.13.2.1.3. Interpretación y decisión

- Para las muestras con 0% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 0.263 > 0.05), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 0% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.
- Para las muestras con 3% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 0.788 > 0.05), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 3% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.
- Para las muestras con 6% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 0.960 > 0.05), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 6% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.



- Para las muestras con 9% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.857 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 9% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.

Como p-valor son superiores al nivel de significancia 0.05 según se detalla en la Tabla 73; se confirma que la variable de la resistencia a compresión en la unidad de albañilería de concreto con dosificaciones de fibras PET reciclado no son distintos a la distribución normal.

3.13.2.2. Prueba de relación entre variables

Mediante el uso del software estadístico SPSS se verifica la fuerza de asociación entre las variables utilizando la prueba “correlacionar”.

3.13.2.2.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : No existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y la resistencia a compresión de unidades de albañilería.

H_1 : Existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y la resistencia a compresión de unidades de albañilería.

3.13.2.2.2. Regla de decisión

Si **p-valor ≤ 0.05** , rechace la hipótesis nula.

Si **p-valor > 0.05** , no rechace la hipótesis nula.

En la Tabla 74 presenta los resultados del análisis estadístico del software SPSS.

Tabla 74

Correlación entre las fibras PET reciclado y la resistencia a compresión

N	r^a	Sig. (p-valor)	Decisión
20	-0.832	0.000**	Se rechaza H_0

Nota: Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 7). Fuente:

Extraído del Software IBM-SPSS

^a Correlación de Pearson.

** p-valor<0.05.

3.13.2.2.3. Interpretación y decisión

Se visualiza que ambas variables de adición fibras PET reciclado y la resistencia a compresión de ladrillos de concreto se correlacionaron negativamente de manera muy elevada (-0.832) según se detalla en la Tabla 74. Con un nivel de significancia inferior a 0.05. Por tanto, la hipótesis nula H_0 se rechaza y la hipótesis alternativa H_1 se acepta; entonces existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y la resistencia a compresión de unidades de albañilería.

3.13.2.3. Contraste de hipótesis

Para el contraste de hipótesis del ensayo de la resistencia a compresión de ladrillos de concreto adicionadas con fibras PET reciclado, se hizo uso del estadístico de prueba ANOVA, la cual permite determinar si el parámetro es diferente, es decir si es mayor o menor que nuestro valor hipotético.

3.13.2.3.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : Las fibras PET reciclado no influye significativamente en la resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto.

H_1 : Las fibras PET reciclado influye significativamente en la resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto.

3.13.2.3.2. Estadístico de prueba ANOVA

$$H_0: \mu_0 = 139.25$$

$$H_1: \mu_1 \neq 139.25$$

Tabla 75

Análisis de la prueba ANOVA - resistencia a compresión

Descripción	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)					\bar{x}_i	n_i	$n_i(\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$
	1°	2°	3°	4°	5°				
MLC-0% ^a	134.30	140.16	141.39	138.60	141.80	139.25	5	133.54	170.29
MLC-3% ^b	139.87	145.89	143.89	138.60	142.89	142.23	5	331.88	367.22
MLC-6% ^c	132.40	135.11	127.66	137.03	130.95	132.63	5	10.55	63.62
MLC-9% ^d	120.44	122.95	123.42	118.87	125.42	122.22	5	703.60	730.25
	Σ						20	1,179.56	1,331.38

Nota. MLC = Muestra de ladrillo de concreto. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 7). Fuente: Equipo de trabajo.

^a Con 0% fibras PET. ^b Con 3% fibras PET. ^c Con 6% fibras PET. ^d Con 9% fibras PET.

$$N_i = 20$$

$$k = 4$$

$$\bar{x}_{..} = 134.08$$

$$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 = 1,179.56$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = 1,331.38$$

$$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 151.82$$

En la Tabla 75 se detalla en análisis estadístico de la prueba ANOVA.

Tabla 76

Resumen de la prueba ANOVA en resistencia a compresión

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	F _o
Entre las muestras	1,179.56	3	393.188	41.438
Dentro de las muestras	151.82	16	9.489	
Total	1,331.38	19		

Fuente: Equipo de trabajo.

El F crítico es:

$$F_{\alpha, k-1, N-k} = 3.239$$

$$p - \text{valor} = 9.047 \times 10^{-8}$$

$$F_o > F_{crítico} = 41.438 > 3.239$$

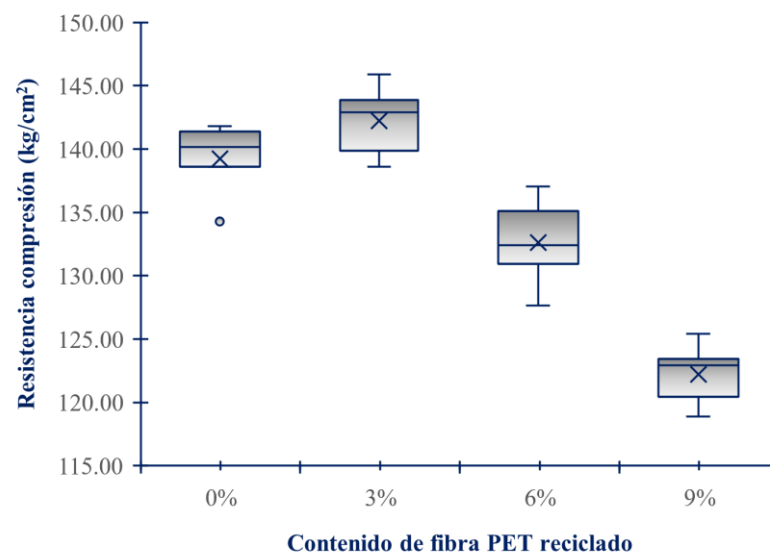
Según la Tabla 76, se rechaza la hipótesis nula H_0 , se acepta la hipótesis alternativa H_1 ; entonces hay diferencias; la adición de fibras de PET reciclado influye en la resistencia a la compresión de los ladrillos de concreto.

La Figura 58 ilustra la distribución y tendencias de la resistencia a la compresión para porcentajes específicos de fibras PET. La comparación

directa entre las cajas permite identificar posibles efectos en la resistencia a medida que varía el porcentaje de fibras PET reciclado. Estos diagramas, respaldados por los datos del ANEXO 7, ofrecen una valiosa perspectiva sobre la influencia de las fibras PET recicladas en la resistencia del concreto.

Figura 58

Cuadro de cajas en resistencia a compresión



Nota. Se muestra los diagramas de cajas simultáneos con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 7). Fuente: Equipo de trabajo.

3.13.3. Resistencia a flexión de unidades de albañilería

Para analizar esta variable se recopiló los datos del ensayo de resistencia a la flexión en las unidades de concreto con diferentes dosificaciones (%) PET, realizando varias medidas en las diferentes muestras.

3.13.3.1. Prueba de normalidad

El uso del software SPSS permitió verificar la normalidad de los valores de resistencia a flexión según se detalla en la Tabla 77 utilizando la prueba de Shapiro-Wilk.

Tabla 77

Estadístico de la variable de resistencia a flexión

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
5	Cuantitativo	Razón	Shapiro – Wilk

Fuente: Equipo de trabajo.

3.13.3.1.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : Los datos no son distintas a la distribución normal.

H_1 : Los datos son distintas a la distribución normal.

3.13.3.1.2. Regla de decisión

Si **p-valor** \leq **0.05**, rechace la hipótesis nula.

Si **p-valor** $>$ **0.05**, no rechace la hipótesis nula.

Tabla 78

Prueba de normalidad de datos de resistencia a flexión

Descripción	Shapiro-Wilk			Decisión
	Estadístico	g.l.	Sig. (p-valor)	
MLC-0% ^a	0.854	5	0.208*	Distribución normal
MLC-3% ^b	0.905	5	0.436*	Distribución normal
MLC-6% ^c	0.837	5	0.158*	Distribución normal
MLC-9% ^d	0.817	5	0.111*	Distribución normal

Nota. MLC = Muestra de ladrillo de concreto. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 8). Fuente: Extraído del Software IBM-SPSS

^a Con 0% fibras PET. ^b Con 3% fibras PET. ^c Con 6% fibras PET. ^d Con 9% fibras PET.

* p-valor > 0.05.



3.13.3.1.3. Interpretación y decisión

- Para las muestras con 0% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.208 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 0% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.
- Para las muestras con 3% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.436 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 3% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.
- Para las muestras con 6% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.158 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 6% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.
- Para las muestras con 9% de fibras PET:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.111 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 9% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.

Como p-valor son superiores al nivel de significancia 0.05 según se detalla en la Tabla 78; se confirma que la variable resistencia a la flexión en la unidad de albañilería de concreto con dosificaciones de fibras PET reciclado no son distintos a la distribución normal.

3.13.3.2. Prueba de relación entre variables

Mediante el uso del software SPSS se verifica la fuerza de asociación entre las variables utilizando la prueba “correlacionar”.

3.13.3.2.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : No existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y la resistencia a flexión de unidades de albañilería.

H_1 : Existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y la resistencia a flexión de unidades de albañilería.

3.13.3.2.2. Regla de decisión

Si $p\text{-valor} \leq 0.05$, rechace la hipótesis nula.

Si $p\text{-valor} > 0.05$, no rechace la hipótesis nula.

Tabla 79

Correlación entre las fibras PET reciclado y la resistencia a flexión

N	r^a	Sig. (p-valor)	Decisión
20	-0.864	0.000**	Se rechaza H_0

Nota. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 8). Fuente: Extraído del Software IBM-SPSS

^a Correlación de Pearson.

** $p\text{-valor} < 0.05$.

3.13.3.2.3. Interpretación y decisión

Se visualiza que ambas variables de adición fibras PET reciclado y la resistencia a flexión de unidades de concreto se correlacionaron negativamente de manera muy elevada (-0.864) según se detalla en la Tabla 79. Con un nivel de significancia inferior a 0.05. Por tanto, la

hipótesis nula H_0 se rechaza y la hipótesis alternativa H_1 se acepta; entonces existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y la resistencia a flexión de unidades de albañilería.

3.13.3.3. Contraste de hipótesis

Se verificó en la Tabla 80 con el estadístico de prueba ANOVA.

3.13.3.4. Hipótesis estadísticas

H_0 : Las fibras PET reciclado no influye significativamente en la resistencia a flexión de los ladrillos de concreto.

H_1 : Las fibras PET reciclado influye significativamente en la resistencia a flexión de los ladrillos de concreto.

3.13.3.4.1. Estadístico de prueba ANOVA

$$H_0: \mu_0 = 25.49$$

$$H_1: \mu_1 \neq 25.49$$

Tabla 80

Análisis de la prueba ANOVA – ensayo resistencia a flexión

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)					\bar{x}_i	n_i	$n_i(\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$
	11°	12°	13°	14°	15°				
MLC-0% ^a	24.85	28.04	24.17	24.64	25.75	25.49	5	37.52	46.96
MLC-3% ^b	27.19	26.25	24.02	25.32	24.02	25.36	5	34.08	41.82
MLC-6% ^c	20.32	22.38	20.08	19.63	22.23	20.93	5	16.64	23.23
MLC-9% ^d	18.74	18.15	20.50	18.07	20.66	19.22	5	62.15	68.55
						Σ	20	150.39	180.56

Nota. MLC = Muestra de ladrillo de concreto. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 8). Fuente: Equipo de trabajo.

^a Con 0% fibras PET. ^b Con 3% fibras PET. ^c Con 6% fibras PET. ^d Con 9% fibras PET.

$$N_i = 20 \text{ y } k = 4$$

$$\bar{x}_{..} = 22.75$$

$$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 = 150.39$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = 180.56$$

$$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 30.17$$

Tabla 81

Resumen de la prueba ANOVA en resistencia a flexión

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	F _o
Entre las muestras	150.39	3	50.130	26.587
Dentro de las muestras	30.17	16	1.886	
Total	1,331.38	19		

Fuente: Equipo de trabajo.

El F crítico es:

$$F_{\alpha, k-1, N-k} = 3.239$$

$$p - \text{valor} = 1.871 \times 10^{-6}$$

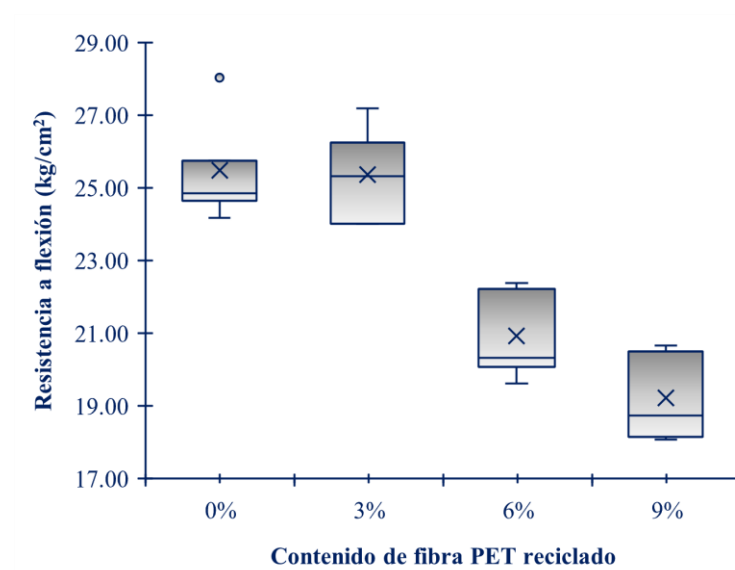
$$F_o > F_{crítico} = 26.587 > 3.239$$

Según se detalla en la Tabla 81, la hipótesis nula H_0 se rechaza y la hipótesis alternativa H_1 se acepta, lo cual existe diferencias. Por ende, la adición de fibras de PET reciclado influye en la resistencia a flexión de los ladrillos de concreto.

La Figura 59 ilustra la distribución y tendencias de la resistencia a la flexión para cada porcentaje específico de fibras PET. La comparación simultánea entre las cajas permite identificar posibles efectos en la resistencia a medida que varía el porcentaje de fibras PET reciclado.

Figura 59

Cuadro de cajas en resistencia a flexión



Nota. Se muestra los diagramas de cajas simultáneos con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 8). Fuente: Equipo de trabajo.

3.13.4. Resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería

Se recopiló los datos de la prueba de resistencia a la compresión a corte en muretes con dosificaciones PET reciclado de 3%, 6% y 9% en las unidades de concreto, realizando varias medidas en las diferentes muestras.

3.13.4.1. Prueba de normalidad

El uso del software SPSS permitió verificar la normalidad de los datos de resistencia a corte de muretes con unidades de albañilería de concreto adicionadas con fibras PET reciclado y una relación de mortero

1:4 (cemento: arena), como se detalla en la Tabla 82 utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, lo cual es más adecuada para muestras igual o inferior a 30.

Tabla 82

Estadístico de la variable de resistencia a corte

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
3	Cuantitativo	Razón	Shapiro – Wilk

Fuente: Equipo de trabajo.

3.13.4.1.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : Los datos no son distintas a la distribución normal.

H_1 : Los datos son distintas a la distribución normal.

3.13.4.1.2. Regla de decisión

Si **p-valor** \leq **0.05**, rechace la hipótesis nula.

Si **p-valor** $>$ **0.05**, no rechace la hipótesis nula.

Tabla 83

Prueba de normalidad de datos de resistencia a corte

Descripción	Shapiro-Wilk			Decisión
	Estadístico	g.l.	Sig. (p-valor)	
MM-0% ^a	0.964	3	0.637*	Distribución normal
MM-3% ^b	0.781	3	0.070*	Distribución normal
MM-6% ^c	0.786	3	0.081*	Distribución normal
MM-9% ^d	0.847	3	0.233*	Distribución normal

Nota. MM = Muestra de muretes. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 10). Fuente: Extraído del Software IBM-SPSS

^a Con 0% fibras PET. ^b Con 3% fibras PET. ^c Con 6% fibras PET. ^d Con 9% fibras PET.

* p-valor>0.05.



3.13.4.1.3. Interpretación y decisión

- Para las muestras con 0% de fibras PET reciclado para el ensayo de compresión diagonal:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.637 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 0% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.
- Para las muestras con 3% de fibras PET reciclado para el ensayo de compresión diagonal:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.070 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 3% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.
- Para las muestras con 6% de fibras PET reciclado para el ensayo de compresión diagonal:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.081 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 6% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.
- Para las muestras con 9% de fibras PET reciclado para el ensayo de compresión diagonal:
 - La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.233 > 0.05$), entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , esto implicaría que los datos de la variable con 3% de fibras PET no son distintos a la distribución normal.

Como los p-valor son superiores al nivel de significancia 0.05 según la Tabla 83; se verifica que la variable resistencia a corte de muretes no son distintos a la distribución normal.

3.13.4.1.4. Prueba de relación entre variables

Mediante el uso del software SPSS se verifica la fuerza de asociación entre las variables utilizando la prueba “correlacionar”.

3.13.4.1.5. Hipótesis estadísticas

H_0 : No existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y la resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería (Muretes).

H_1 : Existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y la resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería (Muretes).

3.13.4.1.6. Regla de decisión

Si **p-valor \leq 0.05**, rechace la hipótesis nula.

Si **p-valor $>$ 0.05**, no rechace la hipótesis nula.

Tabla 84

Correlación entre las fibras PET reciclado y la resistencia a corte

N	r^a	Sig. (p-valor)	Decisión
20	-0.889	0.000**	Se rechaza H_0

Nota. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 10). Fuente:

Extraído del Software IBM-SPSS

^a Correlación de Pearson.

* p-valor<0.05.

3.13.4.1.7. Interpretación y decisión

Se visualiza que ambas variables de adición fibras PET reciclado y la resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería se correlacionaron negativamente de manera muy elevada (-0.889) según se detalla en la Tabla 84. Con un nivel de significancia inferior a 0.05. Por tanto, la hipótesis nula H_0 se rechaza y la hipótesis alternativa H_1 se acepta; entonces existe una correlación entre las variables de la adición fibras PET reciclado y la resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería.

3.13.4.2. Contraste de hipótesis

Se verificó en la Tabla 85 con el estadístico de prueba ANOVA, para la resistencia a corte de prismas de albañilería (Muretes); en donde los ladrillos de concreto presentan la adición en 0%, 3%, 6% y 9% de fibras PET reciclado.

3.13.4.2.1. Hipótesis estadísticas

H_0 : Las fibras PET reciclado no influye significativamente en la resistencia a corte de prismas de albañilería (Muretes)

H_1 : Las fibras PET reciclado influye significativamente en la resistencia a corte de prismas de albañilería (Muretes)

3.13.4.2.2. Estadístico de prueba ANOVA

$H_0: \mu_0 = 15.85$

$H_1: \mu_1 \neq 15.85$

Tabla 85

Análisis de la prueba ANOVA – ensayo resistencia a corte

Descripción	Resistencia a corte (kg/cm ²)			\bar{x}_i	n_i	$n_i(\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$\sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$
	1°	2°	3°				
MM-0% ^a	15.22	15.69	16.63	15.85	3	16.888	17.92
MM-3% ^b	13.87	12.66	13.82	13.45	3	0.001	0.93
MM-6% ^c	13.57	12.38	13.63	13.19	3	0.234	1.23
MM-9% ^d	10.94	10.69	12.58	11.40	3	12.882	14.99
	Σ				12	30.00	35.07

Nota. MM = Muestra de muretes. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 10). Fuente: Equipo de trabajo.

^a Con 0% fibras PET. ^b Con 3% fibras PET. ^c Con 6% fibras PET. ^d Con 9% fibras PET.

$$N_i = 12 \text{ y } k = 4$$

$$\bar{x}_{..} = 13.47$$

$$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i * (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 = 30.00$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = 35.07$$

$$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = 5.07$$

Tabla 86

Resumen de la prueba ANOVA en resistencia a corte

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	F _o
Entre las muestras	30.00	3	10.002	15.793
Dentro de las muestras	5.07	8	0.633	
Total	35.07	11		

Fuente: Equipo de trabajo.

El F crítico es:

$$F_{\alpha, k-1, N-k} = 4.066$$

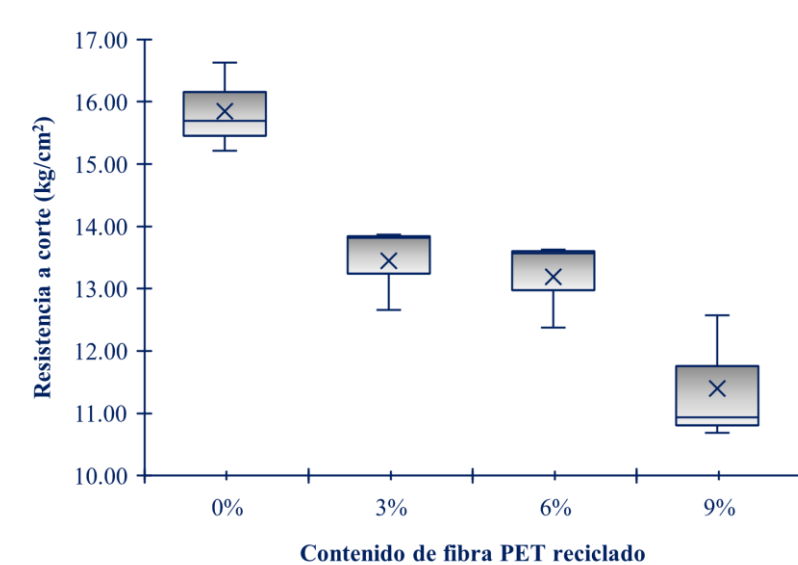
$$p - \text{valor} = 0.00101$$

$$F_o > F_{\text{crítico}} = 15.793 > 4.066$$

Según se detalla en la Tabla 86, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se valida la hipótesis alternativa H_1 ; entonces se confirma que las fibras PET reciclado influye en la resistencia a corte de prismas de albañilería (Muretes). En la Figura 60 ilustra la distribución y tendencias de la resistencia a corte para porcentajes específicos de fibras PET.

Figura 60

Cuadro de cajas en resistencia a corte



Nota. Se muestra los diagramas de cajas simultáneos con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 10). Fuente: Equipo de trabajo.

3.14. DISCUSIÓN

3.14.1. Asentamiento de concreto fresco

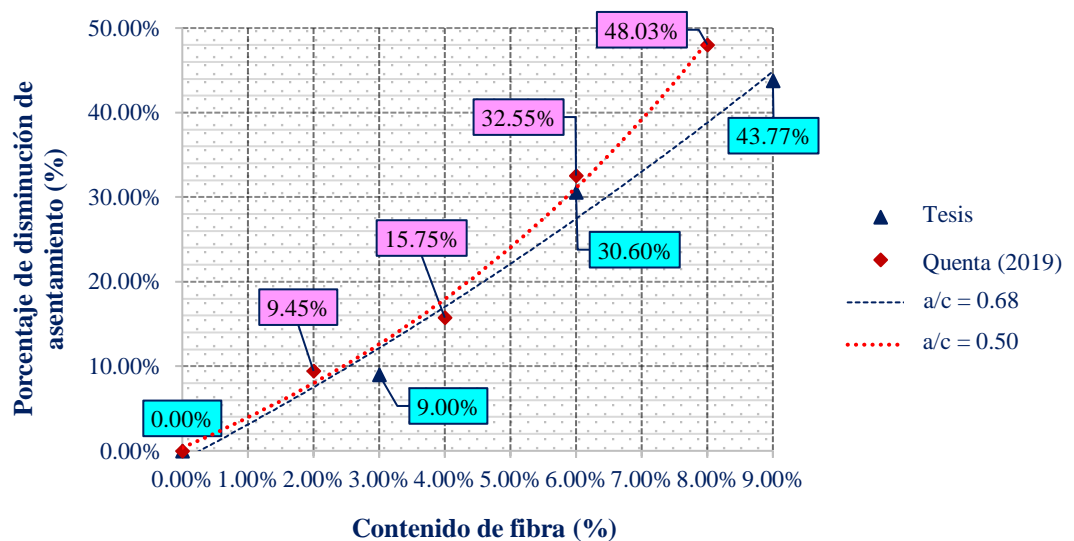
Los resultados del ensayo se presentan en la Tabla 42 (pág. 156), en donde se efectuó la mezcla de concreto con una relación de $a/c = 0.68$, en la cual se añadieron en 3%, 6% y 9% de fibras PET reciclado en base a peso de cemento de la dosificación. Los resultados demostraron que al incrementar las fibras PET reciclado disminuyen en 9%, 30.6% y 43.77% frente a la prueba patrón equivalente a 22.46 mm de consistencia seca como se muestra en la Figura 43 (pág. 157). Por ende, las fibras PET con una forma geométrica definida de 15.00x2.00mm influye en el asentamiento de concreto, ya que se observa a mayor adición de fibras PET incrementa su anclaje, pero disminuye el asentamiento del concreto fresco. Así mismo, Kumar y Suman (2018) realizaron una mezcla de concreto normal con una relación de $a/c = 0.47$, a la cual añadió 0.5% de fibras PET con respecto al volumen de la mezcla. En su investigación concluye que los valores de asentamiento se redujeron con la adición de las fibras PET, por tal efecto se requiere añadir aditivos. Los resultados generados en el ensayo de asentamiento de concreto se asocian con los autores, muy a pesar que los autores utilizaron una relación $a/c = 0.47$ para un concreto normal y diferente granulometría.

Por otro lado, el autor Quenta (2019) efectuó una mezcla para un concreto normal con $a/c=0.5$ y adicionó distintos porcentajes de fibras PET en 2%, 4%, 6% y 8%; su investigación concluye que el asentamiento de concreto se redujo a 9.45%, 15.75%, 32.55% y 48.03% frente a la prueba patrón, lo cual indica que es propenso a la reducción de asentamiento de concreto al adicionar mayor cantidad

de fibras PET. La misma que se relaciona con sus resultados con la presente investigación según la Figura 61, pero con una diferente dimensión geométrica de las fibras PET, proporción de la mezcla y consistencia de diseño. En consecuencia, las fibras PET si influyen en los resultados de la trabajabilidad de concreto fresco.

Figura 61

Comparación de porcentaje en asentamiento



Nota. Se muestra los resultados simultáneos con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado y tamaño. Fuente: Equipo de trabajo.

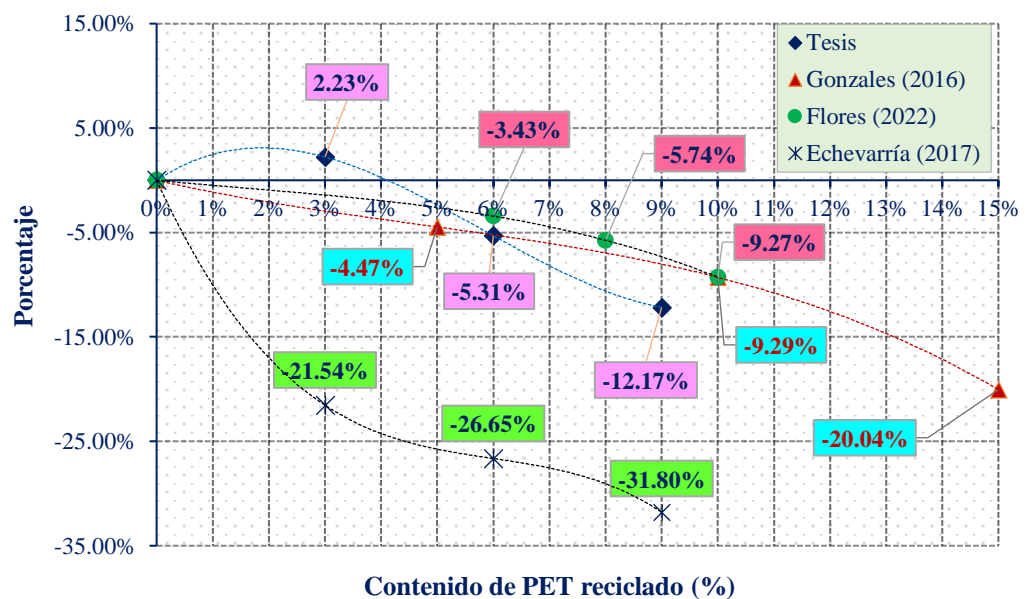
3.14.2. Resistencia a compresión de unidades de albañilería

Los resultados del ensayo se muestran en la Figura 47 (pág. 166), se visualiza que la máxima resistencia a compresión de la unidad de albañilería se logra cuando se adiciona el 3% fibras PET, que tiene un valor de 139.26 kg/cm^2 y representa un 2.23% superior a la muestra patrón. En cambio, al añadir el 6% y 9% de fibras PET proporciona 5.31% y 12.17% menos de resistencia a compresión frente al valor de control de 136.22 kg/cm^2 , estos valores demuestran que con una mínima cantidad de fibras PET eleva su resistencia a compresión, pero no sucede lo mismo al incrementar mayor contenido de fibras PET. Así mismo, la

investigación de Gonzales (2016) precisa que la resistencia a compresión de la unidad de albañilería alcanzó 173.37 kg/cm², 164.62 kg/cm² y 145.11 kg/cm² al incorporar el material molido de las botellas PET en 5%, 10% y 15% respectivamente en base al volumen del ladrillo de concreto, de los cuales disminuyeron en 4.47%, 9.29% y 20.04% frente al valor de control igual a 181.48 kg/cm² como se muestra en la Figura 62; dichos datos reflejan que a mayor inclusión de molido de las botellas PET reduce la resistencia a compresión, su efecto sucede debido a la falta de homogeneidad entre el concreto y el material molido de las botellas PET. Estos aspectos se relacionan con los valores de la Figura 46 al incorporar el 6% y 9% de fibras PET, su efecto se explica por la falta de homogeneidad y el área de contacto con el concreto, lo cual es un punto débil al someter la carga de compresión lo que origina microfisuras y macrofisuras, finalmente la pérdida de la resistencia a compresión.

Figura 62

Comparación de porcentaje en resistencia a compresión



Nota. Se muestra los resultados simultáneos con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado y tamaño. Fuente: Equipo de trabajo.



En la investigación de Echevarría (2017) señala que la resistencia a compresión de la unidad de albañilería al reemplazar porcentualmente las hojuelas de plástico PET por el agregado en 3%, 6% y 9%, en donde se evidencia que existe reducciones en un 21.54%, 26.65% y 31.80% respectivamente al incluir el plástico PET frente a la prueba patrón como se visualiza en la Figura 62, incluso con la granulometría de hojuela que se utilizó en su investigación, lo cual no controla la pérdida de la resistencia ya que genera un efecto indeseado según ensayos experimentales. Estos resultados son diferentes con la presente investigación, debido al reemplazo de la hojuela de PET que se efectuó con el agregado grueso. En cambio, en esta investigación se definió una forma geométrica de las fibras PET, lo cual genera una mejora en la propiedad mecánica de resistencia a compresión hasta cierto límite de adición de 3% de fibras PET.

Así mismo, el autor Flores (2018) sostiene que para una relación de $a/c = 0.65$, el agregado grueso fue sustituido con las partículas de plástico PET en 10%, 20% y 30% con un diámetro de 1mm a 10mm, luego de los ensayos de laboratorio llega a concluir que los valores de la resistencia a compresión de la unidad de albañilería disminuyeron en 42.07 kg/cm^2 , 57.69 kg/cm^2 y 79.45 kg/cm^2 frente a la muestra patrón de 136.86 kg/cm^2 , su efecto se explica a su mala adherencia entre superficie lisa de las partículas de plásticos PET de diferente granulometría y el concreto, además de que sufrió la sustitución del agregado grueso lo cual se ve alterado el diseño de mezcla para lo cual fue inicialmente diseñado, lo que ayuda a la pérdida de la resistencia a compresión. Estos resultados son diferentes con la presente investigación debido del modo de tratamiento que predominó la sustitución de material PET, en cambio en la presente investigación se adicionó

encontrándose buen desempeño de las fibras PET con menor cantidad de fibras PET.

Además, en la investigación de Flores (2022) sostiene que al adicionar el 6%, 8% y 10% de fibras de plásticos de polietileno tereftalato (PET) de forma triturada, la resistencia a compresión de la unidad de albañilería disminuye en 3.43%, 5.74% y 9.27% respectivamente como se muestra en la Figura 62, frente a la muestra patrón de 182.06 kg/cm², en donde se utilizó el tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/8" y una relación de a/c = 0.61 para la elaboración de ladrillo de concreto, la disminución de la resistencia se explica a que su adherencia mecánica entre el concreto y el material triturado de fibras PET no es alta, lo que significa que se desprenderá de la matriz del concreto antes de alcanzar su resistencia última. Estos resultados son diferentes con la presente investigación debido a que se adicionó de forma triturada y su influencia es diferente. En cambio, en esta investigación el impacto negativo es especialmente cuando existe mayor cantidad de fibras PET, lo que ocasiona una zona débil en el interior del ladrillo de concreto y se puede atribuir que es el origen de la formación de fisuras cuando se somete a carga de compresión. En consecuencia, las fibras PET si influyen en los resultados de la resistencia a compresión.

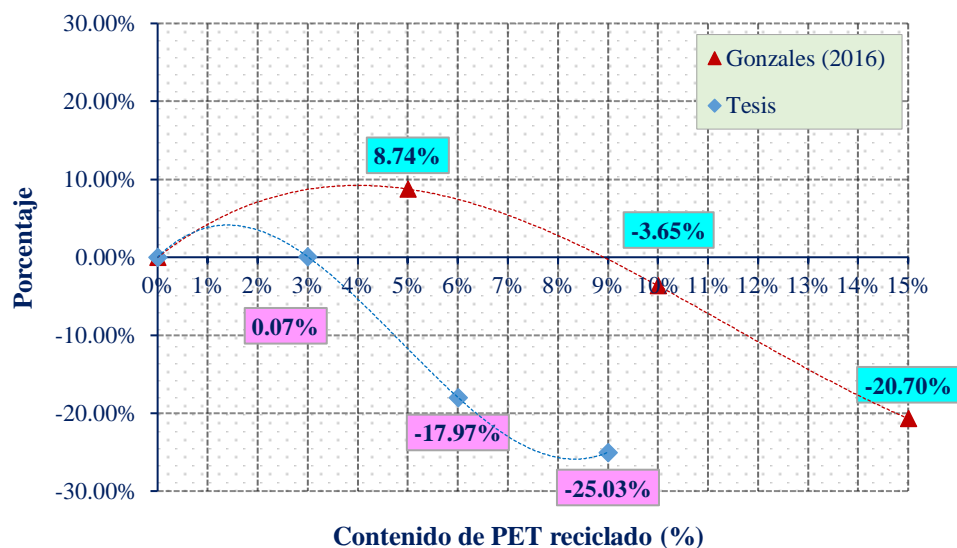
3.14.3. Resistencia a flexión de unidades de albañilería

Los resultados del ensayo se muestran en la Figura 49 (pág. 169), se visualiza que la máxima resistencia a flexión de la unidad de albañilería se logra cuando se adiciona el 3% fibras PET, que tiene un valor de 23.95 kg/cm² y representa un 0.07% superior a la muestra patrón, lo cual es no significativa. Así mismo, al adicionar el 6% y 9% de fibras PET proporciona 17.97% y 25.03%

menos de resistencia a flexión frente al valor de control de 23.95 kg/cm^2 , estos valores demuestran que las fibras PET reducen dicha propiedad mecánica, pero contrarresta la formación y extensión de fisuras en la zona de tensión del ladrillo de concreto, lo que significa que las muestra permanece unidas entre sí como se muestra en la Figura 49 (pág. 174). Así mismo, en la investigación de Gonzales (2016) sostiene que la resistencia a flexión alcanzo un 124.88 kg/cm^2 , 110.65 kg/cm^2 y 91.07 kg/cm^2 al añadir el material molido de las botellas PET en 5%, 10% y 15% respectivamente en base al volumen del ladrillo de concreto, se evidencia el incremento cuando existe un 5% de PET a la muestra patrón en 8.74%. Sin embargo, se redujeron a 3.65% y 20.70% al incrementar el 10% y 15% de PET como se detalla en la Figura 63.

Figura 63

Comparación de porcentaje en resistencia a flexión



Nota. Se muestra los resultados simultáneos con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado y tamaño. Fuente: Equipo de trabajo.

Estos resultados son diferentes con la presente investigación debido a que el autor adicionó de forma molida el material PET y su efecto es de distinta

manera. En cambio, en esta investigación el efecto negativo es cuando existe mayor contenido de fibras PET, pero tiene un efecto beneficioso con respecto al mayor control de la extensión de la fisuras y grietas.

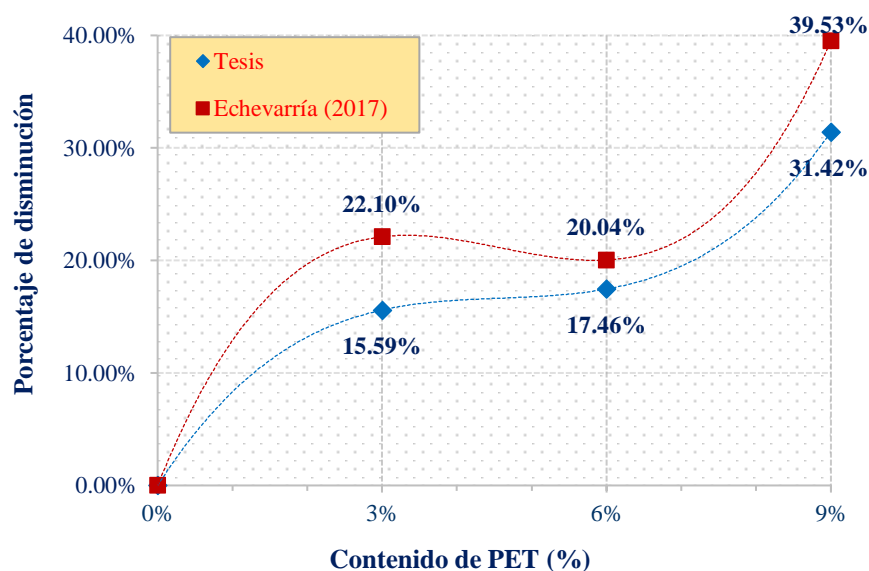
3.14.4. Resistencia a corte o tracción diagonal prismas de albañilería

Los resultados del ensayo se muestran en la Figura 52 (pág. 174), se visualiza que la máxima resistencia a corte de los prismas de albañilería se logra cuando esta efectuada con unidades sin fibras PET que tiene un valor de 15.13 kg/cm². Así mismo, los muretes realizados con ladrillos que contienen la incorporación de 3%, 6% y 9% de fibras PET los valores disminuyen en 2.36 kg/cm², 2.64 kg/cm² y 4.75 kg/cm² respectivamente, que representa el 15.59%, 17.46%, 31.42% menos de resistencia a corte frente al valor de control; estos valores demuestran que se produce la pérdida de adherencia entre el mortero y la unidad con fibras PET debido a la baja absorción y porosidad, en donde la falla ocurrió cuando apareció las primeras grietas. Así mismo, en la investigación de Benavidez (2022) sostiene que los prismas de albañilería con ladrillos sólidos al ser sustituidos con 9% de cal y la otra de 9% con PET de forma triturada con proporción de mortero de 1:4 se obtuvo el valor de la resistencia a corte igual a 58.79 kg/cm², superando a lo señalado en la Norma E.070. Estos resultados son diferentes a la presente investigación, debido a que el autor utilizó un ladrillo sólido sin alveolos con una resistencia de diseño mayor a 175 kg/cm² que sufrió modificaciones mecánicas con cal y PET, lo que ayuda a elevar su resistencia de los muretes, pero con mayor peso propio del prisma de albañilería. En cambio, en la presente investigación se efectuó con ladrillos con alveolos con fibras PET lo que demuestra que disminuye la resistencia a corte, pero supera los valores señalados en la norma E.070.

En la investigación de Echevarría (2017) aduce que los prismas de albañilería efectuados con ladrillos de concreto con el reemplazo de 3%, 6% y 9% de hojuelas de PET en el agregado grueso, la resistencia a corte disminuyó en 22.10%, 20.04% y 39.53% frente al prisma de murete patrón que equivale a 16.47 kg/cm² como se muestra en la Figura 64. Estos resultados son muy diferentes a la presente investigación debido al ladrillo utilizado que contiene la sustitución de material de hojuelas PET con respecto al agregado grueso; en cambio en la presente investigación se utilizó ladrillos con fibras PET, que influye en la adherencia de la unidad y mortero, debido a su baja absorción y porosidad, pero se verifica que genera menor deformación unitaria al someter la carga a compresión.

Figura 64

Comparación de porcentaje en resistencia a corte



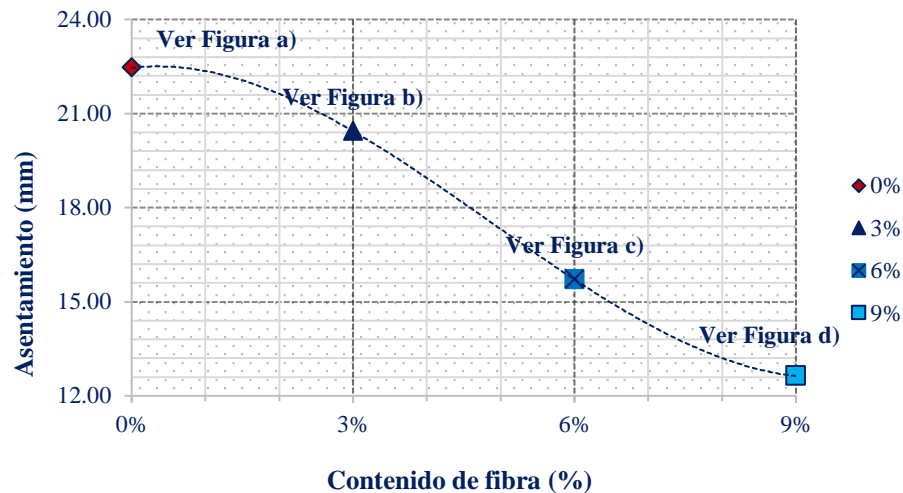
Nota. Se muestra los resultados simultáneos con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado y tamaño. Fuente: Equipo de trabajo.

3.15. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

3.15.1. Cumplimiento de objetivo específico N° 1

Figura 65

Verificación en asentamiento de concreto



Nota. Se muestra el estado de asentamiento de concreto. a) Con 0% fibra PET, b) Con 3% fibra PET c) Con 6% fibra PET y d) Con 9% fibra PET. Fuente: Equipo de trabajo.

Como primer objetivo específico se tuvo “*determinar la influencia de las fibras PET en el asentamiento de concreto fresco en la elaboración de ladrillos de concreto*”. Se cumplió dicho objetivo efectuando el ensayo bajo los lineamientos de la NTP 339.036 (2017) y la ASTM C172 vigentes; los datos primigenios que se obtuvo del ensayo se detallan en el ANEXO 3. Los resultados del ensayo se encuentran en la Tabla 42 (pág. 156) y Figura 43 (pág. 157); de los cuales se observaron que al aumentar las fibras PET reciclado en un 3%, 6% y 9% se reducen en un 9%, 30.6% y 43.77% frente a la prueba de control igual a 22.46



mm de consistencia seca según se muestra en la Figura 65. Por tanto, las fibras PET influyen negativamente en el asentamiento de concreto, ya que se observa a mayor incorporación de fibras disminuye el asentamiento del concreto fresco, es decir el grado de fluidez de la mezcla tiene un comportamiento de consistencia seca a muy seca. La influencia encontrada entre las fibras PET reciclado y el asentamiento de concreto está limitada a cierta composición química del cemento, granulometría del agregado, absorción, proporción de mezcla y la relación a/c de diseño.

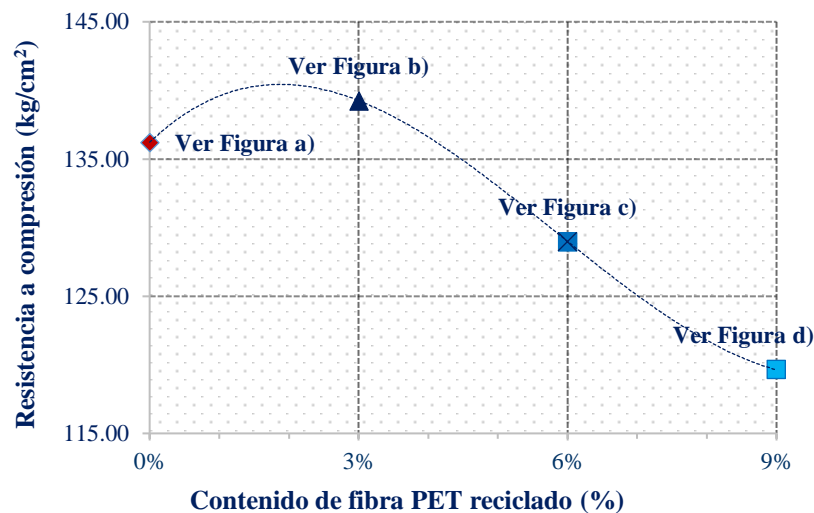
3.15.2. Cumplimiento de objetivo específico N° 2

Como segundo objetivo específico se tuvo *“evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en la resistencia a compresión de los ladrillos de concreto”*. Se cumplió dicho objetivo efectuando el ensayo bajo las directrices de la NTP 399.604 (2015), ASTM C140 y el RNE (2020) vigentes; los datos primigenios del ensayo se detallan en el ANEXO 7. Los resultados del ensayo se encuentran en la Tabla 52 (pág. 165) y Figura 47 (pág. 166); en donde se observa que la resistencia a compresión aumento en un 2.23% para la adición 3% fibras PET con respecto al valor de control. Sin embargo, se demostró que sufrió una reducción significativa de 5.31% y 12.17% para las muestras con incorporación el 6% y 9% de fibras PET en relación con la prueba patrón. Por otro lado, las unidades de concretos fabricados con 3% de fibras de PET de acuerdo a la Tabla 4 (pág. 60) se clasifican como un ladrillo IV, pero las otras dos adiciones con fibras PET es de clase de ladrillo III. Los resultados demuestran que el uso mínimo de fibras PET mejora la resistencia a compresión, pero no sucede lo mismo al incrementar mayor cantidad de fibras PET como se muestra en la Figura 66. La influencia encontrada entre las fibras PET reciclado y la resistencia a compresión está

limitada a diferente forma y tamaño de fibras PET, la relación a/c requerida en el concreto.

Figura 66

Verificación en resistencia a compresión



Nota. Se muestra el estado muestras luego de someter el ensayo. a) 0% fibras PET, b) 3% fibras PET c) 6% fibras PET y d) 9% fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

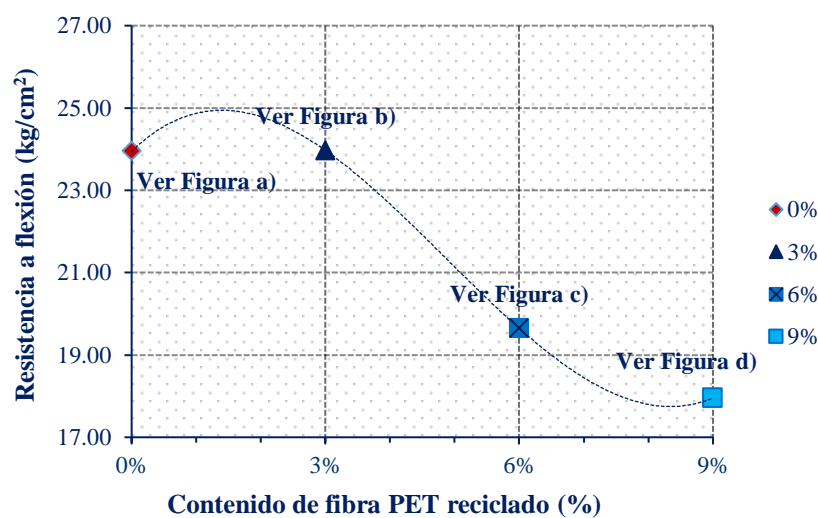
3.15.3. Cumplimiento de objetivo específico N° 3

Como tercer objetivo específico se tuvo “evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en la resistencia a flexión de los ladrillos de concreto”. Se cumplió el objetivo realizando el ensayo bajo las normas de la NTP 399.613 (2017) y ASTM C67 (2005); los datos primigenios del ensayo se detallan en el ANEXO 8. Los resultados del ensayo se encuentran en la Tabla 54 (pág. 168) y Figura 49 (pág. 169); de los cuales revelaron que las muestras de ladrillos de concreto con 3% fibras PET la resistencia a flexión aumentó en un 0.07% con respecto a la muestra patrón, el resultado es no significativa. Así mismo, a medida

que se adicionó el 6% y 9% de fibras PET, la resistencia a flexión disminuye en un 17.97% y 25.03% respectivamente frente al valor de control, los modos de falla se muestran en la Figura 67. La influencia encontrada entre las fibras PET reciclado y la resistencia a flexión está limitada a la granulometría, forma y tamaño de fibras PET, la relación a/c requerida en el concreto.

Figura 67

Verificación en resistencia a flexión



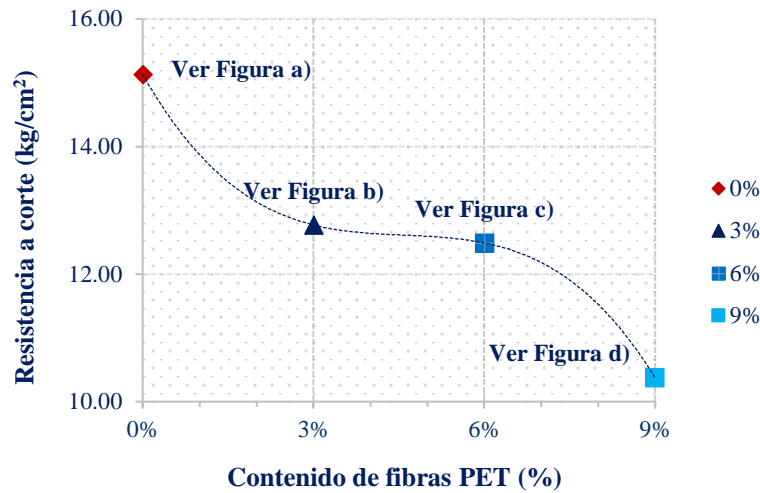
Nota. Se muestra el estado de la muestra luego de someter el ensayo de resistencia a flexión. a) 0% fibras PET, b) 3% fibras PET c) 6% fibras PET y d) 9% fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

3.15.4. Cumplimiento de objetivo específico N° 4

Como cuarto objetivo específico se tuvo “*evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en la resistencia a corte de los prismas de albañilería*”. Se cumplió el objetivo ejecutando el ensayo bajo las normas de la NTP 399.621 (2004) y ASTM E519 (2002); los datos primigenios del ensayo se detallan en el ANEXO 10.

Figura 68

Verificación en resistencia a corte



Nota. Se muestra el estado de la muestra luego de someter el ensayo de resistencia a corte. a) 0% fibras PET, b) 3% fibras PET c) 6% fibras PET y d) 9% fibras PET. Fuente: Equipo de trabajo.

Los resultados del ensayo se detallan en la Tabla 60 (pág. 173) y Figura 52 (pág. 174); se observa la resistencia a corte de los prismas de albañilería efectuada con ladrillos de concreto que contienen la incorporación de 3%, 6% y 9% de fibras PET, la resistencia a corte disminuyen en 15.59%, 17.46%, 31.42% respectivamente, frente al valor de control.

Estos resultados demuestran que las fibras PET influyen negativamente con respecto a la adherencia entre el mortero y la unidad de concreto como se muestra en la Figura 68, debido a la baja absorción y porosidad. La influencia hallada entre las fibras PET reciclado y la resistencia a corte está limitada al contenido de cemento y agua en el mortero, así mismo, de la absorción y de los poros capilares para formar cristales de etringita en el ladrillo de concreto.



3.15.5. Cumplimiento de objetivo general

Como objetivo general se tuvo “evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en las propiedades física mecánicas de los ladrillos de concretos fabricados en la ciudad de Puno”. Se cumplió el objetivo efectuando los ensayos: caracterización de los agregados (ANEXO 1), caracterización de los agregados - mortero (ANEXO 2), asentamiento de concreto fresco (ANEXO 3), variación dimensional (ANEXO 4), alabeo (ANEXO 5), absorción (ANEXO 6), resistencia a compresión (ANEXO 7), resistencia a flexión (ANEXO 8), resistencia a compresión de pilas de albañilería (ANEXO 9), resistencia a corte prismas de albañilería (ANEXO 10) y resistencia a compresión de mortero (ANEXO 11). Los resultados de los ensayos demuestran que si influyen entre las fibras PET reciclado y las propiedades físicas mecánicas de ladrillo de concreto; de los cuales con mínima cantidad de fibras PET reciclado mejora la resistencia a compresión. Sin embargo, en la mayoría de las propiedades físicas mecánicas de los ladrillos de concreto influyen negativamente. La influencia encontrada entre las fibras PET reciclado y las propiedades físicas mecánicas de ladrillo de concreto están limitadas a cierta granulometría, forma y tamaño de fibras PET, la relación a/c requerida en el concreto.



V. CONCLUSIONES

- En la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de las fibras PET reciclado en las propiedades física mecánicas de los ladrillos de concretos fabricados en la ciudad de Puno, para ello se adicionó las fibras PET reciclado en 3%, 6% y 9% en ladrillos de concreto. En consecuencia, se concluye que las fibras PET reciclado influyen significativamente en las propiedades físicas mecánicas de los ladrillos de concreto. De la investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones específicas:
- Las fibras PET reciclado influyen significativamente en el asentamiento de concreto fresco, a medida que se adicionó en 3%, 6% y 9% fibras PET sufrió disminuciones en 9%, 30.6% y 43.77% respectivamente, frente a la prueba patrón equivalente a 22.46 mm de consistencia seca; en donde se relaciona que a mayor adición de fibras PET disminuye el asentamiento del concreto fresco, pero incrementa su anclaje.
- Las fibras PET reciclado influyen significativamente en la resistencia a compresión del ladrillo de concreto, con un 3% de fibras PET supera en un 2.23% de resistencia a compresión frente al valor de control de 136.22 kg/cm². Sin embargo, a medida que se adicionó en 6% y 9% de fibras PET se reduce en un 5.31% y 12.17% de resistencia a compresión. Estos valores demuestran que con una mínima cantidad de fibras PET eleva su resistencia a compresión, pero no sucede lo mismo al incrementar mayor contenido de fibras PET.
- Las fibras PET reciclado influyen en la resistencia a flexión del ladrillo de concreto, con un 3% de fibras PET presenta una mínima influencia de resistencia a flexión frente al valor de control de 23.95 kg/cm². Sin embargo, al incrementar un 6% y 9% de fibras PET proporciona un 17.97% y 25.03% menos de resistencia a flexión. Estos



valores demuestran que mayor contenido de las fibras PET reducen dicha propiedad mecánica, pero su presencia contrarresta la formación y extensión de grietas en la zona de tensión del ladrillo de concreto luego de someter la carga.

- Las fibras PET reciclado influyen en la resistencia a corte de los prismas de albañilería elaborados con ladrillos que contienen la incorporación de 3%, 6% y 9% de fibras PET, en donde sufrió el 15.59%, 17.46%, 31.42% menos de resistencia a corte respectivamente, frente al valor de control de 15.13 kg/cm². Las fibras PET tienen una influencia en la pérdida de adherencia entre el mortero y la unidad con adición de fibras PET por su baja absorción y porosidad.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar el tratamiento de la textura superficial de las fibras PET reciclado.
- En la investigación se efectuó sin la adición de algún aditivo químico para fabricar los ladrillos de concreto únicamente la adición en forma ascendente de porcentajes de fibras PET, por ende, se recomienda investigar con el uso de aditivo plastificante para incrementar la trabajabilidad de concreto.
- Se recomienda evaluar el comportamiento de ladrillo de concreto con la adición porcentaje limitado de fibras PET, ya que al incrementar más de 6% de fibras PET no controla la pérdida de resistencia a compresión y flexión.
- Se recomienda efectuar ensayos acústicas y térmicas en los ladrillos de concreto con la adición de fibra PET, para evaluar el desempeño acústico y térmico.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abal, A. y Medina, K. (2022). *Propiedades físico-mecánicas del ladrillo artesanal de cemento adicionando polietileno tereftalato triturado y aditivos químicos – nuevo chimbote – 2019* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio institucional de la UNS. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4024>
- Abanto, T. (2018). *Tecnología del concreto* (3^{ra} ed.). Editorial San Marcos.
- Abanto, T. (2017). *Análisis y diseño de edificaciones de albañilería*. Editorial San Marcos.
- ACI 211.1-91. (2002). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91)*. American Concrete Institute (ACI).
- Aliaga, V. (2017). *Evaluación técnica de la mezcla de concreto con PET reciclable, para la producción de ladrillo de concreto compuesto en la construcción* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio institucional de la UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/1923>
- Arango, J. (2002). *Análisis, diseño y construcción en albañilería estructural*. Capítulo Peruano del American Concrete Institute.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (5^a ed.). Editorial Episteme.
- Arrascue, E., y Cano, M. (2017). *Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la fabricación de ladrillos vibrocompactados de cemento* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Santa]. Repositorio Institucional de la UNS. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2728>
- ASTM C140. (2012). *Standard test methods of sampling and testing concrete masonry units*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C172. (2004). *Standard practice for sampling freshly mixed concrete*. American Society for Testing and Materials (ASTM).



- ASTM C67. (2005). *Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM E519. (2002). *Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- AZO Materials. (2023). *Properties of polyethylene terephthalate polyester (PET, PETP)*. Goodfellow. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2047>
- Benavidez, D. (2022). *Evaluación del ladrillo sólido de concreto adicionando cal hidratada y plástico PET reciclado, Chota* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio Institucional de la UNACH. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/365>
- Bocanegra, R. y Vallejos, B. (2021). *Incorporación de material PET en la resistencia a la compresión del ladrillo de concreto tipo P, Moyobamba 2021* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional de la UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83806>
- Bertolotti, B., Chávez, J., Laos, R., Rospigliosi, C., y Nakamatsu, J. (2005). *Poliésteres y reciclaje químico del Poli(tereftalato de etileno)*. Revista de Química, Vol. 19, 13-20. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/18726>
- Borja, M. (2016). *Metodología de investigación científica para ingenieros*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Cabarcas, L., y Colpas, J. (2020). *Evaluación de la resistencia a la flexión y compresión de un concreto estructural ecológico con fibras PET propuesto conforme a la norma NSR-10* [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa]. Repositorio Institucional de la CUC. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/7835?locale-attribute=en>
- Castings México. (2019). *Reciclaje de PET: una ventaja para la industria de la construcción*. <https://castingsmexico.com/blog/reciclaje-de-pet-ventaja-industria->



construccion/

- Córdova, C., Huamanchumo, M., Neyra, A., Silva, N., y Ruiz, M. (2020). *Diseño de una planta de acopio y procesamiento de plástico PET desechado para la fabricación de preformas tipo Alaska de 15 gr. en la ciudad de Piura*. Repositorio Institucional de la PIRHUA. <https://hdl.handle.net/11042/4622>
- Curbell Plastics. (2021). *Physical, mechanical, thermal, electrical and optical properties of PET*. Curbell Plastics. <https://www.curbellplastics.com/materials/plastics/pet/>
- Delgado, R. (2004). *Iniciación a la probabilidad y la estadística*. Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Di Marco, R., León, H., y Almeida, J. (2013). *Diseño y elaboración de ladrillos con adición de pet (material reciclado), para núcleos rurales del socorro*. El Centauro, 8(11), 9-24. <https://doi.org/10.18041/2027-1212/centauro.11.2016.2448>
- Drysdale, R., Hamid, A., y Baker, L. (1994). *Masonry structures: Behavior and Design*. Prentice Hall.
- Echevarría, E. (2017). *Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1501>
- Elgegren, M., Tiravanti, G., Ortiz, B., Otero, M., Wagner, F., Cerrón, D., y Nakamatsu, J. (2012). *Reciclaje químico de desechos plásticos*. Revista de la Sociedad Química del Perú, 78(2), 105-119. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000200005&lng=es&esytlng=es.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics & catalysing action*. Ellen MacArthur Foundation and McKinsey y Company. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy->



- rethinking-the-future-of-plastics-and-catalysing#:~:text=This report provides a new,)%2C and regenerate nature.
- Flores, E. (2018). *Elaboración de elementos prefabricados de concreto con la adición de plástico reciclado PET* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/16471>
- Flores, R. (2022). *Influencia física y mecánica de la adición de fibras PET, para la elaboración de ladrillos de concreto, Carhuaz-Ancash-2022* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/105248>
- Gallegos, H., y Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural*. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gonzales, R. (2016). *Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de PET en diferentes porcentajes* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11240>
- Gutiérrez, H., y De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3ª ed.). Editorial McGraw Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., y Pilar, L. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ª ed.). Editorial McGraw Hill.
- Hernández, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Editorial McGraw Hill.
- Infante, J., y Valderrama, C. (2019). *Análisis técnico, económico y medioambiental de la fabricación de bloques de hormigón con polietileno tereftalato reciclado (PET)*. Información tecnológica, Vol. 30, 25-36. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500025>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Perú: Anuario de Estadísticas*



- Ambientales* 2022. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1877/libro.pdf
- Javier, M., Sergio, P., Edwin, Y., Adrián, M., Cesar, L., María, L., José, J., y Gabriel, S. (2023). *Análisis del proceso de fabricación de fibra con base en PET*. Expo Ibero Primavera 2023. <https://hdl.handle.net/20.500.11777/5701>
- Khalid, S., Shahidan, S., Ranle, N., Zuki, M., Ridzuan, A., y Nazri, F. (2018). *Concrete incorporated with optimum percentages of recycled polyethylene terephthalate (PET) bottle fiber*. International Journal of Integrated Engineering, Vol. 10, 1-8. <https://doi.org/10.30880/ijie.2018.10.01.001>
- Kumar, A., y Kumar, S. (2018). *Effect of geometry of recycled PET fiber on the properties of concrete for rigid pavement*. International Journal of Recent Scientific Research, Vol. 9, 25022-25028. <https://doi.org/10.24327/IJRSR>
- Lima, J., Nogueira, H., Cândido, L., y Cabral, E. (2019). *Analysis of physical and mechanical properties of pressed concrete blocks without structural purposes with additions of recycled PET*. Revista Matéria (Rio de Janeiro), Vol. 24, 1-12. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0672>
- Mansilla, L., y Ruiz, M. (2009). *Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster*. Ingeniería Industrial, 27, 123-137. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.627>
- Martínez, G., Hernández, J., López, T., y Menchaca, C. (2015). *Materiales sustentables y reciclados en la construcción* (1ª Ed.). Omnia Publisher SL. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3926/oms.211>
- Martínez, M., Sánchez, A., Toledo, E., y Fajardo, J. (2020). *Bioestadística amigable* (3ª ed.). Elsevier.



- Mas, S. (2021). *Aplicaciones del concreto incorporando tereftalato de polietileno* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio institucional de la UNTRM. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/1647>
- Meza, A., Pujadas, P., López, R., Meza, L., y Pardo, F. (2021). *Mechanical optimization of concrete with recycled pet fibres based on a statistical-experimental study*. *Materials* 2021, 14, 240. <https://doi.org/10.3390/ma14020240>
- Ministerio del Ambiente. (2023). *Cifras del mundo y el Perú*. Portal de transparencia - MINAM. <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- Montejo, A., Montejo, F., y Motejo, A. (2013). *Tecnología y patología del concreto Armado*. Universidad Católica de Colombia.
- Montero, J. y Salinas, A. (2020). *Efecto de la fibra de plástico reciclado (PET) sobre la resistencia a compresión y absorción del ladrillo de concreto, Trujillo-2019* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional de la UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/46116>
- Municipalidad Provincial de Puno. (2016). *Estudio de Caracterización de Residuos sólidos del distrito de Puno*. Gestión de Residuos Sólidos.
- Municipalidad Provincial de Puno. (2023). *Registro de valorización de residuos sólidos inorgánicos*. Unidad de Residuos Sólidos.
- Navidi, W. (2006). *Estadística para ingenieros y científicos (1ª ed.)*. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- NTP 334.009. (2013). *CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos*. INDECOPI.
- NTP 334.051. (1998). *CEMENTOS. Métodos para determinar la resistencia a la compresión de morteros de Cemento Portland cubos de 50 mm de lado*. INDECOPI.
- NTP 339.035. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento*



- del concreto de Cemento Portland. INACAL.*
- NTP 339.036. (2017). *CONCRETO. Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco.*
INACAL.
- NTP 339.185. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de
humedad total evaporable de agregados por secado.* INACAL.
- NTP 399.601. (2015). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de concreto. Requisitos.*
INACAL.
- NTP 399.604. (2015). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de
unidades de albañilería de concreto.* INACAL.
- NTP 399.605. (2013). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de ensayo para la
determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería.* INACAL.
- NTP 399.607. (2018). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Agregados para mortero de
Albañilería.* INACAL.
- NTP 399.613. (2017). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de
ladrillos de arcilla usados en albañilería.* INACAL.
- NTP 399.621. (2004). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo de compresión
diagonal en muretes de albañilería.* INDECOPI.
- NTP 400.010. (2016). *AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras.* INACAL.
- NTP 400.012. (2018). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y
global.* INACAL.
- NTP 400.017. (2016). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la
masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los
agregados.* INACAL.
- NTP 400.022. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la
densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.*



INACAL.

NTP 400.037. (2018). *AGREGADOS. Agregados para concreto*. Requisitos. INACAL.

NTP 400.043. (2015). *AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo*. INACAL.

Ojeda, J., y Mercante, I. (2021). *Reciclaje de residuos plásticos para la producción de agregados livianos*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 489-499. <https://doi.org/10.20937/rica.54081>

Organización Internacional no Gubernamental Greenpeace (2023). *Datos sobre la producción de plásticos*. GREENPEACE. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

Plastec USA. (2023). *Línea de Producción de Lamina PET (R-PET/ A-PET/PET G/PLA)*. PLASTEC U.S.A. <https://plastecusa.com/products/linea-de-produccion-de-lamina-pet-r-pet-a-pet-pet-g-pla/>

Poonyakan, A., Rachakornkij, M., Wecharatana, M., y Smittakorn, W. (2018). *Potential use of plastic wastes for low thermal conductivity concrete*. *Article of Materials*, 11(10), 1-17. <https://doi.org/10.3390/ma11101938>

Quenta, D. (2019). *Efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal, Puno* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la UNA-PUNO. <https://doi.org/10.26788/riepg.v9i3.1734>

Quezada, N. (2010). *Metodología de la investigación. Estadística aplicada a la investigación*. Empresa Editora MACRO.

Quiñones, L. (2018). *O nos divorciamos del plástico, o nos olvidamos del planeta*. Naciones Unidas. <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>

Real Academia Española. (2023). *Reciclar. Diccionario de la lengua española*, 23.ª ed.



- Consultado el 15 de mayo de 2023. <https://dle.rae.es/reciclar>.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2020). *Norma E.070 "Albañilería"*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO).
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2020). *Norma E.030 "Diseño Sismorresistente"*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO).
- Reyes, C. (2013). *El PET como sistema alternativo para la construcción de muros en la vivienda* [Tesis de grado de Maestría, Universidad Autónoma de Metropolitana]. Repositorio institucional de la UAM. <http://hdl.handle.net/11191/5519>.
- Rivera, R. (2004). *Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional de PIRHUA. <https://hdl.handle.net/11042/1180>
- San Bartolomé, Á. (1994). *Construcciones de albañilería: Comportamiento sísmico y diseño estructural* (1ª ed.). Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- San Bartolomé, Á. (2008). *Comentarios a la norma técnica de Edificación E.070 "Albañilería"*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>
- San Bartolomé, Á., Quiun, D., y Silva, W. (2018). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería* (2ª ed.). Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Sánchez, H., y Reyes, C. (2015). *Metodología y Diseños en la Investigación Científica* (5ª ed.). Business Support Anneth SRL.
- Sánchez, J. (2023). *Los daños a la salud que ocasiona el PET*. Cámara Periodismo Legislativo. <https://comunicacionsocial.diputados.gob.mx/revista/index.php/nuestros->



ANEXOS

ANEXO 1: Resultados de la caracterización de los agregados

ANEXO 2: Resultados de la caracterización de los agregados - mortero

ANEXO 3: Resultados de Asentamiento de concreto fresco

ANEXO 4: Resultados de Variación Dimensional

ANEXO 5: Resultados de Alabeo

ANEXO 6: Resultados de Absorción

ANEXO 7: Resultados de resistencia a compresión de unidades de albañilería

ANEXO 8: Resultados de resistencia a flexión de unidades de albañilería

ANEXO 9: Resultados de resistencia a compresión de pilas de albañilería

ANEXO 10: Resultados de resistencia a corte diagonal prismas de albañilería (Muretes)

ANEXO 11: Resultados de resistencia a compresión de mortero

ANEXO 12: Constancia de uso de equipos de laboratorio de construcciones

ANEXO 13: Constancia de uso de equipos de laboratorio de mecánica de suelos y materiales

ANEXO 14: Ficha técnica de cemento rumi tipo IP

ANEXO 15: Panel fotográfico



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Edwin Jorge Mamani Chata
identificado con DNI 46924733 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Influencia de las fibras PET reciclado en las propiedades físicas mecánicas de los ladrillos de concreto fabricados en la ciudad de Puno, 2022. "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 29 de diciembre del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Edwin Jorge Mamani Chata
identificado con DNI 46924733 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Influencia de las fibras PET reciclado en las propiedades físicas
mecánicas de los ladrillos de concreto-fabricados en la ciudad de Puno, 2022"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia: Creative

Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 29 de diciembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Juan Luis Pachuanaco Loza,
identificado con DNI 70342298 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Influencia de las fibras PET reciclado en las propiedades físicas
mecánicas de los ladrillos de concreto fabricados en la ciudad de
Puno, 2022. ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 29 de diciembre del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Juan Luis Pachuanaco Loza
identificado con DNI 70342298 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Influencia de las fibra PET reciclado en las propiedades físicas mecánicas - de los ladrillos de concreto fabricados en la ciudad de Puno, 2022"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexas, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia: Creative

Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 29 de diciembre del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella