

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

**DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y
MEDIO AMBIENTE**



TESIS

**EFFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN
LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO NORMAL, PUNO**

PRESENTADA POR:

DARWIN QUENTA FLORES

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y
MEDIO AMBIENTE

TESIS

EFFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN
LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO NORMAL, PUNO

PRESENTADA POR:

DARWIN QUENTA FLORES

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

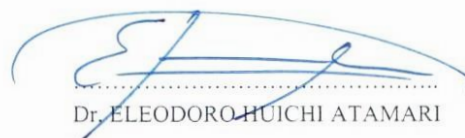
APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



Dr. JOSÉ JUSTINIANO VERA SANTAMARIA

PRIMER MIEMBRO



Dr. ELEODORO HUICHI ATAMARI

SEGUNDO MIEMBRO



Dr. GERMAN BELIZARIO QUISPE

ASESOR DE TESIS



Dr. SAMUEL HUAQUISTO CACERES

Puno, 11 de noviembre de 2019

ÁREA: Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

TEMA: Fibras de botellas PET y las propiedades del concreto

LÍNEA: Impacto Tecnológico y Ambiental

DEDICATORIA

A mis padres Edilberto y María por el día a día de su incondicional apoyo que he recibido a lo largo de mi desarrollo y formación profesional, por buscar en mí una persona de permanente superación, compromiso y trabajo que me ha motivado a la consolidación del presente trabajo.

A la compañera de mi vida Lorena Adelaida por brindarme siempre su apoyo, comprensión, cariño y amor.

A mi querido hijo Alexander Fernando, por ser mi fuente de motivación e inspiración de superación de cada día.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela de Posgrado, por brindarme una formación óptima, en especial al personal docente del doctorado de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente por impartir sus conocimientos, orientaciones y consejos en la formación profesional.
- Al honorable jurado, compuesto por el Dr. José Justiniano Vera Santamaria, Dr. Eleodoro Huichi Atamari y Dr. Germán Belizario Quispe por el veredicto sapiente y justiciero.
- Al señor asesor Dr. Samuel Huaquisto Cáceres por el apoyo desinteresado a la realización de la investigación.
- Al personal técnico y administrativo del laboratorio de construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por el apoyo de ensayos de laboratorio.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
ABREVIATURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I**REVISIÓN DE LITERATURA**

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Concreto	3
1.1.1.2 Componentes del concreto	3
1.1.1.2 Propiedades del concreto.....	5
1.1.2 Botellas de PET	6
1.1.2.1 Método de reciclaje de PET	8
1.1.2.2 Fibras de PET	10
1.1.2.3 Uso de PET como refuerzo en concreto.....	10
1.1.2.4 Solución ambiental y tecnológica	11
1.2 Antecedentes	12

CAPÍTULO II**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Definición del problema	15
2.2 Enunciados del problema.....	17
2.2.1 Problema general	17
2.2.2 Problemas específicos	17
2.3 Justificación	17
2.4 Objetivos.....	18
2.4.1 Objetivo general	18

2.4.2	Objetivos específicos	18
2.5	Hipótesis	18
2.5.1	Hipótesis general	18
2.5.2	Hipótesis específicas	18

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Ámbito de estudio	19
3.2	Población y muestra	19
3.2.1	Población	19
3.2.2	Muestra	19
3.3	Materiales.....	21
3.3.1	Cemento.....	21
3.3.2	Agregado fino	21
3.3.3	Agregado grueso.....	21
3.3.4	Fibras de botellas PET	22
3.3.5	Agua	23
3.4	Metodología	23
3.4.1	Descripción de métodos por objetivos	24
3.5	Análisis estadístico	28

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Asentamiento del concreto a diferentes porcentajes con fibras de botellas PET	30
4.2	Incidencia de las fibras de botellas PET en la resistencia del concreto	32
4.2.1	Resistencia a la compresión.....	32
4.2.2	Resistencia a la flexión	35
4.3	Densidad del concreto del concreto a diferentes porcentajes de adición de fibras de botellas PET	38
	CONCLUSIONES	40
	RECOMENDACIONES.....	41
	BIBLIOGRAFÍA	42
	ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Tipos de cemento Portland	4
2. Consistencia y asentamiento del concreto fresco	5
3. Propiedades físicas y mecánicas de PET	8
4. Cantidad de muestras para el ensayo de asentamiento del concreto con fibras de botellas PET	20
5. Cantidad de especímenes cilíndricas de concreto con fibras de PET para ensayo a la compresión.....	20
6. Cantidad de especímenes prismáticas de concreto con fibras de PET para ensayo a la flexión.	20
7. Análisis químico de cemento yura marca Rumi IP.....	21
8. Características de los agregados, 2019	22
9. Proporción de materiales para la mezcla de concreto con fibras de botellas PET.....	23
10. Efecto de las fibras de botellas PET en los resultados de la prueba de asentamiento	30
11. Análisis de correlación lineal para la prueba de hipótesis de asentamiento	31
12. Resistencia promedio a la compresión del concreto con fibras de PET a 7, 14 y 28 días	33
13. Análisis de varianza de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días	34
14. Efecto de fibras de botellas PET en la resistencia a la flexión a la edad de 28 días.	36
15. Análisis de varianza de la resistencia a la flexión del concreto a 28 días.....	37
16. Densidad del concreto a diferentes porcentajes de adición de fibras de botellas PET	39
17. Análisis de correlación lineal para la prueba de hipótesis de densidad	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Simbología de identificación de PET	8
2. Diferentes formas de fibras de PET	10
3. Obtención de fibras de botellas PET.....	22
4. Prueba de asentamiento de concreto	25
5. Elaboración de especímenes de concreto.....	26
6. Prueba de resistencia a la compresión.	26
7. Prueba de resistencia a la flexión.....	27
8. Instrumentación de muestras de prueba y sus modos de falla	32
9. Efecto de fibras PET en la resistencia a la compresión a 28 días	33
10. Instrumentación de muestras de prueba y sus modos de falla	35
11. Efecto de fibras de botellas PET en la resistencia a la flexión a 28 días	36
12. Relación entre las resistencias de flexión y compresión del concreto	38
13. Ensayo de granulometría del agregado grueso	55
14. Ensayo de peso específico y absorción de los agregados	55
15. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino	56
16. Ensayo de contenido de humedad de los agregados	56
17. Determinación de peso unitario del agregado fino	57
18. Determinación de peso unitario compactado del agregado grueso.....	57
19. Elaboración de fibras de botellas PET	58
20. Materiales para dosificación del concreto con fibras de 4% de PET.....	58
21. Curado de especímenes.....	59
22. Determinación del peso de los especímenes a los 28 días de curado.	59

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Análisis de varianza (ANOVA)	48
2. Diseño de mezclas $f'c=210$ kg/cm ² ; método ACI 211.1	50
3. Evidencias fotográficas.....	55
4. Resultado de los ensayos de los agregados.....	60
5. Resultado de los ensayos del concreto.....	67
6. ASTM C143: Método de ensayo normalizado para asentamiento de concreto de cemento hidráulico.....	70
7. ASTM C39: Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.....	74
8. ASTM C78: Método de ensayo normalizado para la determinación resistencia a la flexión del concreto (Utilizando viga simple con carga en los tercios del claro).....	82

ABREVIATURAS

ACI	: American Concrete Institute
a/c	: Relación agua cemento
ANOVA	: Análisis de varianza
ASTM	: American Society of Testing Materials
B	: % de fibras de botellas PET en función al peso del cemento
f'_c	: Resistencia a la compresión del concreto, kg/cm ²
f_t	: Resistencia a la flexión del concreto, kg/cm ²
Ho	: Hipótesis nula
Ha	: Hipótesis alterna
NPT	: Norma Técnica Peruana
PET	: Tereftalato de polietileno
ONU	: Organización de las Naciones Unidas

RESUMEN

Hoy en día enfrentamos un problema sobre la protección ambiental, el estilo de vida moderno junto con las nuevas tecnologías causó más producciones de materiales de desecho para los cuales existe el problema de eliminación. Uno de ellos son las botellas PET que debe desecharse o reciclarse adecuadamente para mantener limpia el medio ambiente, ya que se clasifican como materiales no biodegradables. Para abordar este problema, se realizó un estudio experimental del efecto del reciclado de las fibras de botella PET en las propiedades del concreto normal, fibras obtenidas mediante un reciclado mecánico. Se elaboró una serie de mezclas de concreto con adición de fibras PET de 0% a 8% estimada respecto al peso del cemento. Los concretos resultantes se compararon con el concreto normal (0% de PET). Se analizó el asentamiento, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y densidad seca del concreto respectivamente. Los resultados indican que el asentamiento disminuye, para concreto con fibras de 4% de PET muestran una adecuada trabajabilidad y consistencia plástica. El concreto con 2% de PET alcanza su máxima resistencia a la compresión logrando un incremento de 2.6% y el concreto con 4% de PET disminuye en 6.3%, no obstante, alcanza una resistencia superior a 210 kg/cm^2 . La resistencia a la flexión para concreto con 4% de fibras de PET aumenta a 24%. La densidad seca tiende a disminuir por debajo de los valores de la mezcla del concreto normal. Por lo tanto, hasta 4% de fibras de PET es posible adicionar para lograr una resistencia adecuada y trabajabilidad del concreto, método muy útil para resolver algunos problemas de desechos de PET en el medio ambiente.

Palabras clave: Fibras de las botellas PET, propiedades del concreto, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, reciclado.

ABSTRACT

Now day we face a problem about environmental protection, the modern lifestyle along with the new technologies caused more waste material productions for which the disposal problem exists. One of them is PET bottles that must be disposed of or recycled properly to keep the environment clean, as they are classified as non-biodegradable materials. To address this problem, an experimental study of the effect of recycled PET bottle fibers on the properties of normal concrete, fibers obtained by mechanical recycled, was carried out. A series of concrete mixtures was prepared with the addition of PET fibers of 0% to 8% estimated with respect to the weight of the cement. The resulting concretes were compared with normal concrete (0% PET). It analyzed the slump, compressive strength, flexural strength and dry density of concrete respectively. The results indicate that the slump decreases, for concrete with 4% PET fibers show adequate workability and plastic consistency. The concrete with 2% PET reaches its maximum compressive strength achieving an increase of 2.6% and the concrete with 4% PET decreases by 6.3%, however, it reaches a resistance greater than 210 kg / cm². Flexural strength for concrete with 4% PET fibers increases to 24%. The dry density tends to decrease below the values of mixture normal concrete. Therefore, up to 4% of PET fibers can be added to achieve adequate a strength and workability of concrete, very useful method to solve some problems of PET waste in the environment.

Keywords: Concrete properties, compressive strength, flexural strength, PET bottle fibers, recycled.

INTRODUCCIÓN

El estilo de vida moderno junto con las nuevas tecnologías causó más producciones de materiales de desecho para los cuales existe el problema de eliminación. La mayoría de los materiales de desecho no se eliminan y permanecen durante cientos y miles de años en el medio ambiente. Estos materiales de desecho no biodegradables junto con el crecimiento de la población han causado la crisis ambiental en todo el mundo. Muchos de ellos están colocados en zonas inapropiadas o son vertidos ilegalmente en los cubos de basura. Uno de ellos son las botellas PET, donde han reemplazado a las botellas de vidrio como recipientes de almacenamiento de bebidas, debido a su peso ligero y su fácil manejo y almacenamiento.

La producción industrial masiva de botellas de PET en cantidades tan grandes han desarrollado un enorme desafío ambiental, ya que estas botellas se usan solo una vez y se dejan como un desecho de plástico, que es de lenta biodegradación en la naturaleza (Shubbar & Al-Shadeedi, 2017). Es hora de desarrollar e implementar materiales reciclados sostenibles en la construcción para reducir los desperdicios generados. (J. Islam & Dipta, 2018). Se ha considerado la reutilización de botellas de plástico para la industria de la construcción (Siddique, Khatib, & Kaur, 2008). Las botellas de PET desechado se reutilizaron como agregados livianos para el concreto, se esperan efectos positivos en el reciclaje de los recursos de desecho y de la protección ambiental (Choi, Moon, Chung, & Cho, 2005). El estudio sobre el uso de PET como refuerzo de fibras en el concreto se considera varias características como la geometría, dimensiones y la esbeltez. Las investigaciones sobre el uso de fibras de PET en el concreto han sido exploradas por varios investigadores.

Razón por la cual, que motivó la realización de la investigación titulada “efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal”. A través de esta investigación, se logró determinar la calidad de concreto con fibras de botellas PET, de la misma manera ayudará a disminuir el impacto ambiental, ya que se necesita una gran cantidad de botellas PET para obtener el material para elaborar la dosificación adecuada, por lo que dichas botellas se estarán eliminando del ambiente. Acorde a la investigación lógica y científica, el trabajo se ha estructurado en cuatro capítulos:

Capítulo I: Revisión de literatura: Marco teórico y antecedentes de la investigación.

Capítulo II: Planteamiento del problema: Definición del problema, enunciados del problema, justificación, objetivos de la investigación e hipótesis.

Capítulo III: Materiales y Métodos: Ámbito de estudio, población y muestra, materiales, descripción de métodos por objetivos, diseño experimental y análisis estadístico.

Capítulo IV: Resultados y Discusión. Se ilustra los resultados de la prueba de asentamiento, resistencia y densidad del concreto a través de tablas y figuras con las interpretaciones y análisis.

En el criterio sintético se consignan las conclusiones y las recomendaciones pertinentes.

Finalmente, se nominan la bibliografía y se insertan los anexos correspondientes.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Concreto

El concreto es un material de construcción generalmente hecho con una mezcla de agua, cemento y agregados. Puede considerarse como una piedra conglomerado artificial que posee características similares a las de una roca, incluida una buena resistencia a la compresión y una baja resistencia a la tensión (Foti, 2019).

1.1.1.2 Componentes del concreto

a) Cemento

El cemento se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos. Está constituido por los siguientes componentes (Harmsen, 2005):

- Silicato tricálcico, el cual le confiere su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación.
- Silicato dicálcico, el cual define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
- Aluminato tricálcico, es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este

fenómeno, es preciso añadirle yeso durante la fabricación del cemento.

- Aluminio-Ferrito Tetracálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- Componentes menores: óxidos de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio. agregados agua.

Existen diversos tipos de cemento de diferentes grupos generales de cemento Portland según ASTM C150 (Tabla 1).

Tabla 1

Tipos de cemento Portland

Tipo de cemento	Características
Tipo I	Portland normal
Tipo II	Portland moderada resistencia a sulfatos
Tipo III	Portland fraguado rápido, alta resistencia inicial
Tipo IV	Portland bajo calor de hidratación
Tipo V	Portland alta resistencia a los sulfatos

Fuente: según la norma ASTM C150

b) Agregados

Los agregados son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus características puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte. La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Desde el punto de vista de su tamaño, los agregados se dividen en dos grupos: los agregados finos y los agregados gruesos (Chan Yam, Solís Carcaño, & Moreno, 2003).

Agregado grueso

Es aquel que se queda retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) y proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los límites establecidos en la norma ASTM C33. El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada. etc.

Agregado fino

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada de dimensiones reducidas, que pasan por el tamiz 3/8" (9.52mm) y que es retenida en el tamiz N° 200 (0.074mm) como lo indica la norma ASTM C33.

c) Agua

El agua que será utilizada para la hidratación y el desarrollo de la resistencia del concreto debe satisfacer los requisitos de la norma NTP 399.088 (2014).

1.1.1.2 Propiedades del concreto

a) Asentamiento

Es una medida que indica la consistencia o trabajabilidad del concreto, da una idea del contenido de agua necesario para que el concreto se use para diferentes trabajos. Se dice que un concreto es viable si se puede mezclar y colocar, compactar y terminar fácilmente (Subramani & Rahman, 2017).

Al controlar el asentamiento en obra, se controla directamente la uniformidad en la consistencia y trabajabilidad necesaria para una adecuada colocación, e indirectamente el volumen unitario de agua, la relación agua – cemento y las modificaciones en la humedad del agregado (Rivva, 2015).

La relación de consistencia y asentamiento en concreto se fundamenta en (Tabla 2)

Tabla 2

Consistencia y asentamiento del concreto fresco

Consistencia	Asentamiento (mm)	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0 a 50	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	75 a 100	Trabajable	Vibración ligera
Fluida	Mayor a 125	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: (Abanto, 2009)

Según ACI: 116R – 90 la trabajabilidad se define como la propiedad del concreto o mortero recién mezclado que determina el caso y la homogeneidad con la que se puede mezclar, colocar, consolidar y terminar.

Para la prueba de asentamiento se realiza directamente después de completar la mezcla, de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM C143 (2016).

b) Resistencia a la compresión

Puede ser definida como la máxima medida de resistencia que ofrece un espécimen de concreto a una carga axial. Se determina de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM C39 (2018).

c) Resistencia a la flexión

También denominado módulo de ruptura, para un concreto de peso normal se considera como 2 y 1.4 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión para concretos clase uno y clase dos, respectivamente (Martínez-Soto & Mendoza-Escobedo, 2018). Para obtener los valores de resistencia a la flexión que alcanzan los concretos, se realiza mediante el procedimiento establecido en la norma ASTM C78 (2002).

d) Densidad del concreto

De acuerdo al Reglamento comité ACI - 318 (2014) se define concreto liviano y concreto de peso normal tal como sigue:

Concreto liviano.- Concreto con agregado liviano que tiene una densidad de equilibrio, tal como la define ASTM C567, entre 1440 y 1840 kg/m³.

Concreto de peso normal.- En general, el concreto de peso normal tiene una densidad (peso unitario) entre 2155 y 2560 kg/m³, y comúnmente se toma entre 2320 y 2400 kg/m³.

1.1.2 Botellas de PET

El PET es uno de los plásticos más importantes y ampliamente usados en el mundo, especialmente para la fabricación de envases de bebidas. Sin embargo, la

mayoría de las botellas de PET son usadas como envases de bebidas luego se desechan después de un solo uso en vertederos o son incinerados, causando graves problemas ambientales (Kim, Yi, Kim, Kim, & Song, 2010). Las botellas de PET toman la delantera de los desechos por su alta velocidad creciente de consumo (Akçaözoğlu, Atış, & Akçaözoğlu, 2010).

En 2007, se verificó un consumo anual en el mundo de botellas de PET reportadas de aproximadamente 10 millones de toneladas, que presenta tal vez 250 miles de millones de botellas. Este número crece aproximadamente hasta un 15% cada año (Frigione, 2010). Además, dado el aumento general del consumo de bebidas a nivel mundial y la sustitución de vidrio por el PET en la producción de botellas, existe una creciente preocupación por el destino final de las botellas de PET en todo el mundo (Choi, Moon, Kim, & Lachemi, 2009). Estos materiales de desecho no biodegradables, junto con el crecimiento de la población han provocado la crisis ambiental en todo el mundo. Muchos de ellos están metidos en el lugar descampado o están derramados en los cubos de basura de manera ilegal (Rahmani, Dehestani, Beygi, Allahyari, & Nikbin, 2013).

Según la ONU, cuatro de cada cinco botellas de PET utilizadas van directamente a los basureros; esto significa, que solamente el 20% del PET utilizado se recicla lo cual se cumple en países con alta conciencia ecológica como Alemania. Es necesario desarrollar un enfoque racional para la eliminación de residuos que indica tanto la economía y la protección del medio ambiente (Yang, Yue, Liu, & Tong, 2015). Las botellas plásticas de PET tienen un periodo de degradación en el medio ambiente calculado en 200 a 300 años (Valencia, López, Cortes, & Froese, 2012).

Desde el punto de vista ambiental, el PET es la resina que presenta mayores aptitudes para el reciclado, ostentando el número «1» rodeado de tres flechas formando un triángulo como se muestra en la Figura 1, en el fondo del envase. El principal destino de esta materia prima post-consumo es la fabricación de fibras textiles, utilizándose en la confección de alfombras, cuerdas, cepillos y escobas, telas para prendas de vestir, calzados, camisetas, etc. El PET reciclado no se destina a nuevos envases para bebidas o alimentos en contacto permanente.



Figura 1. Simbología de identificación de PET

Fuente: <https://estrucplan.com.ar/articulos/reciclado-de-envases-pet/>

Propiedades físicas y mecánicas de PET

Para referencia, algunas propiedades físicas y mecánicas del PET se presentan en la Tabla 3 (Ávila Córdoba, Martínez-Barrera, Barrera Díaz, Ureña Nuñez, & Loza Yañez, 2013).

Tabla 3

Propiedades físicas y mecánicas de PET

Propiedades mecánicas	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1.38
Absorción de agua, 24h	%	0.10
Resistencia a la tensión última, 23 °C	g/cm ²	8.09 × 10 ⁵
Módulo de tensión , 23 °C	g/cm ²	2.8 × 10 ⁷
Alargamiento a la rotura, 23 °C	%	70
Resistencia a la flexión, 23 °C	g/cm ²	1.05 × 10 ⁶
Módulo de flexión, 23 °C	g/cm ²	2.8 × 10 ⁷

Fuente: Adoptado de Ávila Córdoba *et al.* (2013)

1.1.2.1 Método de reciclaje de PET

En la actualidad el reciclaje mecánico y el reciclaje químico son los más usados, por ello se describirán ambos métodos.

a) Reciclaje mecánico

Las botellas de PET se clasifican, se cortan, se lavan con desgrasante y finalmente son secadas. Aunque la clasificación manual sigue siendo un método efectivo de separación del PET de otros materiales (Nováková, Šeps, & Achten, 2017). Una de las principales ventajas del reciclaje mecánico es que el polímero básico no se altera durante el proceso (Rane

et al., 2018). El proceso de reciclaje mecánico es relativamente simple y económico (Nováková *et al.*, 2017).

b) Reciclaje químico

El proceso de reciclaje químico es más costoso que el reciclaje mecánico. El método más reciente de reciclado químico es la aplicación de microondas (Nováková *et al.*, 2017). Actualmente a nivel industrial, existen varios procesos para el reciclaje químico del PET entre los que se puede mencionar la metanólisis, glicólisis, hidrólisis, aminólisis, y la oxidación (Avila Córdoba, 2015). La desventaja del reciclaje químico es su alto costo, pero la ventaja es que no hay contaminantes, porque las sustancias originales también son la salida del proceso: ácido tereftálico y etilenglico (Nováková *et al.*, 2017).

Formas de reciclaje de PET para concreto

En la investigación que realiza Ge, Yue, & Sun (2015) manifiesta que en la actualidad hay tres formas principales de reciclar residuos de PET.

El primer método: Se realiza mediante la trituración del PET en partículas y usarlo como sustituto del agregado para producir concreto. Ya que el concreto con PET tiene baja absorción de agua y es ligero, este método es la forma más ecológica de reutilizar el PET. La desventaja es que al aumentar el % de PET este reduce propiedades del concreto endurecido como la compresión y la flexión (Ge *et al.*, 2015).

La segunda forma: Usar fibras de PET reciclado en concreto para mejorar su ductilidad, reduciendo así el agrietamiento debido a la contracción plástica. Pero este método solo recicla una pequeña cantidad de residuos de PET (Ge *et al.*, 2015).

El tercer método: Hacer mortero de polímero o concreto utilizando resina de poliéster insaturada hecha de PET despolimerizado. Sin embargo, el costo de este método es muy alto. Las propiedades del mortero polímero o concreto son muy sensibles a la temperatura (Ge *et al.*, 2015).

1.1.2.2 Fibras de PET

Los investigadores Marthong (2015) y Marthong & Sarma (2016) usaron botellas de PET de envase de agua potable postconsumo de 1 litro de capacidad, para producir las fibras. Todas las fibras tenían la misma área de sección transversal, éstas se agregaron al concreto de diferentes geometrías.

En la mayoría de las investigaciones sobre la reutilización de los desechos de PET, las fibras se han utilizado como refuerzo de fibra para el concreto. Considerando de diferentes tipos, formas, dimensiones y esbeltez (Foti, 2019).

La influencia de las formas y las dimensiones de las fibras PET sobre las propiedades mecánicas del concreto también fueron investigados por Marthong & Sarma (2016) (Figura 2).

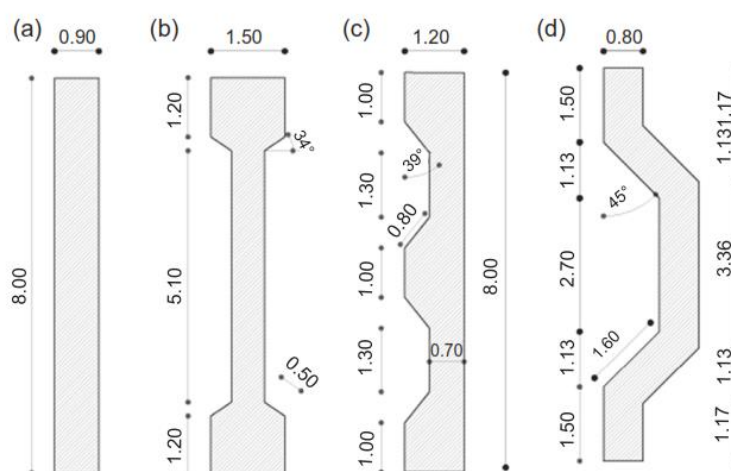


Figura 2. Diferentes formas de fibras de PET

Fuente: (Marthong & Sarma, 2016)

- Nota:
- a) Lámina de hendidura recta
 - b) Lámina de hendidura de extremo aplanada
 - c) Lámina de hendidura deformada
 - d) Lámina de extremo ondulada

1.1.2.3 Uso de PET como refuerzo en concreto

Durante las últimas dos décadas, los residuos plásticos se han estudiado como componentes de concreto. Se ha utilizado como agregado, como aglutinante del cemento y sustituir como refuerzo de fibras (Mahdi, Abbas, & Khan, 2010). La aplicación de botellas PET desechados como

parte del concreto ha sido explorada, creando así las oportunidades para reutilizar estos materiales desechados en el concreto. Se han realizado investigaciones para usar PET reciclado como aglutinante en el concreto, también conocido como concreto de poliéster o concreto de polímero (M. J. Islam, Meherier, & Islam, 2016).

En las última década se han realizado investigaciones sobre concreto reforzado con fibras de PET, fibras estimadas en porcentajes del volumen del concreto entre los parámetros de 0.05% a 1.50% (Fraternali, Ciancia, Chechile, Rizzano, & Feo, 2011; Kim *et al.*, 2010; Marthong, 2015; Ochi, Okubo, & Fukui, 2007; Pelisser, Montedo, Gleize, & Roman, 2012). Agregar en pequeñas cantidades de fibras recicladas de botellas PET al concreto aumenta la resistencia y retardan el agrietamiento, esto debido a la geometría que tienen las fibras que ayuda a mantener unidos las secciones fisuradas del concreto (Foti, 2011).

1.1.2.4 Solución ambiental y tecnológica

Una posible solución es el uso de fibras de PET reciclado como refuerzo de concreto estructural (Kim *et al.*, 2010). La reutilización de dichos residuos en la industria de la construcción parece ser una ruta viable para contribuir tanto a la prevención de la contaminación ambiental y el diseño de edificios económicos (Yesilata, Isiker, & Turgut, 2009). Los materiales a base de mezclas de concreto polímero son relativamente nuevos en el campo de la construcción y tienen una gran importancia, ya que representan una alternativa en la disminución del impacto ambiental (Albano, Camacho, Hernández, Matheus, & Gutiérrez, 2009). Una solución para reducir la cantidad de desechos de plásticos de PET es reciclar como fibras adicionadas al concreto (Bui, Satomi, & Takahashi, 2018), además, reduce los daños al medio ambiente debido a la reutilización (Hannawi, Kamali-Bernard, & Prince, 2010). Para obtener beneficios económicos y medioambientales (Poonyakan, Rachakornkij, Wecharatana, & Smittakorn, 2018).

1.2 Antecedentes

Según Poonyakan *et al.* (2018) se recolectaron de la zona industrial los desechos de tereftalato de polietileno (PET) y usaron como ingredientes adicionales en forma de fibras para mejorar las propiedades del concreto. De la misma manera, Bui, Satomi, & Takahashi (2018) recolectaron botellas de PET desechados y procediendo a lavar antes del corte, para luego hacer fibras con los tamaños deseados, mediante un método manual en el laboratorio. En cuanto a la forma y las dimensiones, la mayoría de estos estudios involucran pequeñas fibras, generalmente con un ancho de unos pocos milímetros y una longitud de algunos centímetros, distribuidas de manera uniforme en la matriz del concreto (Foti, 2019). El comportamiento de unión de las fibras PET con la matriz del concreto, se mezclan fácilmente con un contenido de fibras de hasta 0.3% y la característica principal de las fibras de PET es de fácil manejo (Ochi *et al.*, 2007).

Subramani & Rahman (2017) elabora fibras de dimensiones de $5\text{mm} \times 30\text{mm}$ adicionando en diferentes porcentajes al concreto. Por otra parte, Fraternali, Farina, Polzone, Pagliuca, & Feo (2013) elabora fibras de 2 mm de ancho y con una longitud que varía de 11.3, 22.6 y 35 mm respectivamente, adicionando al mortero en 1% de volumen. De la misma manera, Pereira De Oliveira & Castro-Gomes (2011) utiliza fibras de botellas de PET reciclada como refuerzo en mortero, cuyas fibras fueron obtenidas por corte simple mecánico de las botellas.

Kim *et al.* (2010) utiliza fibras cortadas hechas de PET reciclado dentro del concreto estructural, agrega diferentes cantidades de fibras de PET reciclado de 0.5% a 1.0% por volumen. Se realizaron pruebas para medir la resistencia a la compresión. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión disminuyó a medida que aumentaba la fracción del volumen de la fibra.

Foti (2011), Fraternali *et al.* (2013) y Pereira De Oliveira & Castro-Gomes (2011) adicionan fibras de PET al concreto, obteniendo las fibras de PET cortando directamente las botellas desechadas; cuyos resultados indicaron que se notó un aumento de la tenacidad del concreto, mientras que la resistencia a la compresión no cambió significativamente y la trabajabilidad de la mezcla de concreto sigue siendo buena, si el contenido de fibras es inferior al 1,5% en volumen.

Pelisser *et al.* (2012) adiciona fibras de PET de 0.18% y 0.3% respecto al volumen. La trabajabilidad del concreto presentó mayor pérdida de asentamiento a medida que se aumentó el contenido de fibras. Sin embargo, la trabajabilidad no disminuyó en la medida indicada, aún exhibía buena trabajabilidad y se compactaba fácilmente sin vibraciones excesivas. A los 28 días, la flexión del concreto aumentó a 19.2% para un concreto con 0.3% de fibras de PET con respecto al concreto de control.

Nibudey (2013) adiciona fibra de PET de 0.5% a 3% respecto al peso del cemento. El asentamiento máximo para el concreto control fue de 67 mm, el valor disminuyó a 28% para la adición de fibras de PET al 2% respecto al concreto de control indicando que la inclusión del contenido de fibras afecta las propiedades de flujo del concreto. La resistencia máxima a la compresión se incrementó de 420.14 kg/cm² (0%) a 438.19 kg/cm² (1%) y luego se redujo a 323.34 kg/cm² (3%). Las mejoras significativas en las resistencias se observaron con la inclusión de fibras de PET en el concreto. La resistencia óptima se observó al 1% del contenido de fibra, luego se observaron reducciones en la resistencia. La densidad seca se reduce para concreto con fibras de 2% de PET a 0.5%.

Asimismo, Marthong (2015) plantea el uso de fibras de PET de diferentes geometrías adicionando al concreto en fracciones de 0.5% y 1.0% de volumen del concreto. Los resultados en las propiedades de concreto fueron que el asentamiento disminuye con el aumento del contenido de fibras, indicando que la geometría de las fibras tiene pequeños efectos sobre la trabajabilidad del concreto. La resistencia a la compresión mejora para las muestras hechas con fibras más pequeñas en comparación con las fibras más grandes. Sin embargo, al aumentar aún más el contenido de fibra más allá del 0,5%, se observó una disminución en la resistencia a la compresión. La resistencia a la flexión aumenta en 22.96% para concreto con 0.5% de fibras de PET y para 1.0% de PET empieza a disminuir, viendo que las fibras juegan un papel importante para lograr un concreto viable.

Por otra parte, Marthong & Sarma (2016) La mezcla de concreto se diseñó para una resistencia a la compresión de 25 Mpa con una relación agua – cemento de 0.5. Los resultados en las propiedades de concreto fueron que la trabajabilidad del concreto con fibras de PET cae más del 25%. Sin embargo, las formas de las fibras tienen un pequeño efecto sobre la trabajabilidad del concreto, ya que se observan valores de caída

comparables para el concreto de fibra de diferentes geometrías. La adición de 0.5% de fibras de PET en el concreto mejoró la resistencia a la compresión, esto muestra que la forma de las fibras juega un papel importante para lograr una buena resistencia a la compresión. La resistencia a la flexión muestran que las inclusiones de 0.5% de fibras de PET aumentaron.

Ishaiba (2015) determina la densidad promedio de 28 días de especímenes de concreto. Los resultados como reemplazo indican que el concreto que contiene 15%, 30% y 45% de agregado de PET del agregado natural tiende a disminuir en densidad por debajo del concreto de referencia en 2.9%, 5.8% y 12% respectivamente. El uso de agregado plástico redujo las densidades secas de todas las mezclas al aumentar la proporción de plástico, manifestando que la densidad del plástico es muy baja que la del agregado natural en un 51%. De la misma manera el reglamento de comité ACI - 318 (2014) indica que el concreto de peso normal tiene una densidad entre 2155 y 2560 kg/m³.

El concreto que contiene fibras de PET reciclado tiene un menor peso, lo que reduce el riesgo sísmico de un edificio, y puede ayudar en el diseño de edificios resistentes a los terremotos (Akçaözoğlu *et al.*, 2010). El aumento de la cantidad de fibras de PET disminuye la densidad del concreto. Esto se debe al aumento de la cantidad de fibras de PET que llevó a aumentar la porosidad (Bui *et al.*, 2018). Por lo que se puede usarse como una posible opción para disminuir la carga muerta de concreto (Shubbar & Al-Shadeedi, 2017).

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Definición del problema

En las últimas cinco décadas, la producción global de plástico ha aumentado enormemente, lo que ha generado una gran cantidad de residuos relacionados con el plástico. La producción mundial de plástico fue de 322 millones de toneladas en 2015, aproximadamente 90 veces más que en 1960 equivalente a 3,6 millones de toneladas (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2018). En el Perú, se producen unas 3 500 millones de botellas de plástico cada año, de las cuales, menos del 50 % son recicladas, según cifras de la ONG Ciudad Saludable.

A medida que la población mundial crece, el consumo de plástico aumenta debido a la rápida urbanización y el desarrollo económico (Aldahdooh *et al.*, 2018). No obstante, los plásticos no son degradables y, en general, tardan mucho tiempo en descomponerse, posiblemente hasta cientos de años. Además, aumentar su producción también aumenta el espacio de relleno requerido para residuos plásticos, lo que contribuye significativamente a su impacto ambiental (Siddique *et al.*, 2008)

Por otra parte, dado el aumento general del consumo de bebidas a nivel mundial y la sustitución de vidrio por el tereftalato de polietileno (PET) en la producción de botellas, existe una creciente preocupación por el destino final de las botellas de PET en todo el mundo (Choi *et al.*, 2009). Esta producción industrial masiva de botellas de PET en cantidades grandes ha planteado un gran desafío ambiental, ya que estas botellas se usan una sola vez y se convierten en residuo de plástico, que a su vez es de lenta biodegradación en la naturaleza (Shubbar & Al-Shadeedi, 2017). Los principales

problemas de este nivel de producción de residuos genera inicialmente almacenamiento y eliminación (Frigione, 2010).

Miles de materiales plásticos, particularmente botellas de plástico, son desechados de forma inadecuada cada día, lo que resulta en grandes volúmenes de desechos de plásticos que se acumulan en el ambiente natural, que son arrojados a los ríos, enterrados y quemados, liberando contaminantes tóxicos al medio ambiente (Mansour & Ali, 2015). Estos desechos de plásticos están aumentando rápidamente y se están convirtiendo en una carga para muchos países (Bui *et al.*, 2018). Estos plásticos, y en particular el PET, tienen la ventaja de ser 100% reciclado (Nováková *et al.*, 2017).

Los problemas ambientales relacionados con la gestión son numerosos y diferentes tipos de residuos han llevado a evaluar la posibilidad de su uso como constituyentes en el concreto (Borg, Baldacchino, & Ferrara, 2016). En la industria de la construcción, el concreto es el material ampliamente utilizado en todos los países del mundo y es el segundo después del agua como la sustancia más disponible en el planeta tierra (Shubbar & Al-Shadeedi, 2017). Durante las últimas dos décadas, los residuos plásticos se han estudiado como componentes de concreto y mortero. Se ha utilizado como agregado, como aglutinante del cemento y sustituir como refuerzo de fibras (Mahdi *et al.*, 2010). Usar fibras de PET reciclado en concreto ayuda a mejorar su ductilidad, reduciendo así el agrietamiento debido a la contracción plástica, pero este método solo recicla una pequeña cantidad de residuos de PET (Ge *et al.*, 2015).

En este sentido, surge como investigación el reciclaje de botellas PET empleando como un componente del concreto, ya que en los últimos años se vienen realizando numerosas investigaciones sobre la utilización de estos productos que han sido desechadas.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la adición de las fibras de PET en diversos porcentajes obtenidos del reciclaje de botellas de PET desechadas, en las propiedades del concreto, y encontrar la proporción de fibras de PET que aumenta los valores de resistencia en comparación con los valores de resistencia del concreto normal.

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Problema general

¿Cuál es el efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el resultado del asentamiento del concreto a diferentes porcentajes de fibras de botellas PET?
- ¿Cuál es la incidencia de las fibras de botellas PET en la resistencia del concreto?
- ¿Cuál es la densidad del concreto a diferentes porcentajes de adición de fibras de botellas PET?

2.3 Justificación

La presente investigación técnicamente se plantea analizar las propiedades del concreto con fibras de botellas PET de acuerdo a las normas de diseño, donde se busca que el concreto aumente su capacidad de resistir mayores cargas en comparación al concreto normal, para que pueda brindar resistencia y seguridad en todo tipo de construcción.

Social y Ambientalmente contribuye de manera directa al reciclaje de botellas PET a nivel regional y nacional para poder incrementar la cultura del reciclaje, teniendo centros de acopios y que éste sea procesado dentro del mismo centro de acopio y la reutilización de estos residuos como un agregado del concreto, así concientizando a la población en la utilidad de este material y ayudando a eliminar del entorno ambiental, sabiendo que dichos elementos presentan una lenta degradación y al ser incluido como fibras en la masa del concreto evitaremos contacto con el medio ambiente.

De la misma manera tiene el propósito de contribuir al conocimiento científico sobre el efecto que presenta las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto, en la reutilización de desechos de botellas PET en la industria de la construcción que vendría a ser una viabilidad para contribuir tanto en la prevención de la contaminación ambiental y el diseño de edificios económicos.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el asentamiento del concreto a diferentes porcentajes con fibras de botellas PET.
- Determinar la incidencia de las fibras de botellas PET en la resistencia del concreto.
- Determinar la densidad del concreto a diferentes porcentajes de adición de fibras de botellas PET.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Si se incrementa el porcentaje de las fibras de botellas PET en la dosificación del concreto normal entonces se mejoran las propiedades del concreto.

2.5.2 Hipótesis específicas

- Si se tiene mayor porcentaje de fibras de botellas PET en la dosificación del concreto, se tiene una consistencia plástica.
- Las fibras de botellas PET incide en mejorar la resistencia del concreto
- A mayor porcentaje de fibras de botellas PET en la dosificación del concreto menor densidad.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 **Ámbito de estudio**

La investigación fue realizada de la cantera de Cutimbo, distrito de Pichacani, provincia de Puno, región de Puno, localizada a una altitud de 3917 msnm latitud sur 16° 23'43.5" longitud oeste 60° 50'53.43" ubicado en el km 23 a un costado de la carretera Puno – Moquegua. Cantera que abastece de agregados a la ciudad de Puno y zonas aledañas, para la producción del concreto para construcciones de viviendas. Las cuales fueron estudiadas en el laboratorio de construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional del Altiplano. Los ensayos realizados en los agregados fueron: Contenido de humedad, peso específico y absorción, peso unitario, análisis granulométrico. Los resultados se tienen en el anexo 4.

3.2 **Población y muestra**

3.2.1 **Población**

La población para la presente investigación está conformada por la resistencia a la compresión de 210 kg/cm² (concreto normal) que se usa para las construcciones de viviendas en la ciudad de Puno.

3.2.2 **Muestra**

a) **Muestra para asentamiento del concreto**

La determinación del asentamiento del concreto se realizó en su etapa fresca, efectuando las mediciones respectivas por cada muestra de concreto con porcentajes de fibras de botellas PET (Tabla 4).

Tabla 4

Cantidad de muestras para el ensayo de asentamiento del concreto con fibras de botellas PET

Mezcla	%PET	Cantidad
0% PET (concreto normal)	0	2
2% PET	2	2
4% PET	4	2
6% PET	6	2
8% PET	8	2

b) Muestras para la resistencia del concreto

Para determinar las propiedades del concreto que son:

Resistencia a la compresión: Se elaboraron 90 especímenes, 18 por cada categoría y 6 por periodo de curado (Tabla 5).

Tabla 5

Cantidad de especímenes cilíndricas de concreto con fibras de PET para ensayo a la compresión

% PET	N° de especímenes/Tiempo de rotura		
	7 días	14 días	28 días
0%	6	6	6
2%	6	6	6
4%	6	6	6
6%	6	6	6
8%	6	6	6

Resistencia a la flexión: Se elaboraron 20 especímenes, 4 para cada categoría (Tabla 6).

Tabla 6

Cantidad de especímenes prismáticas de concreto con fibras de PET para ensayo a la flexión.

%PET	N° de especímenes	Tiempo de Rotura (días)
0%	4	28
2%	4	28
4%	4	28
6%	4	28
8%	4	28

c) Muestras para la densidad del concreto.

Se consideraron los especímenes cilíndricas en condición seca a 28 días de curado, justo antes del ensayo de resistencia a la compresión, especificado en la Tabla 5.

3.3 Materiales

3.3.1 Cemento

El Cemento utilizado para la presente investigación es cemento Portland tipo IP, marca RUMI con peso específico 2.82 g/cm^3 , con características indicadas en (Tabla 7).

Tabla 7

Análisis químico de cemento yura marca Rumi IP

Componentes y compuestos		%
Dióxido de Silicio	(SiO ₂)	20.62
Oxido de Fierro	(Fe ₂ O ₃)	3.08
Oxido de Calcio	(CaO)	60.50
Oxido de Magnesio	(MgO)	3.40
Trióxido de Azufre	(SO ₃)	2.10
Calo Libre		0.45
Resid. Insolubles		6.90
Silicato Tricálcico		---
Silicato Bicálcico		---
Aluminato Tricálcico		---
Ferro Aluminato Tetracálcico		---

Fuente: Datos proporcionados por Cemento del Sur S.A.

3.3.2 Agregado fino

El agregado fino utilizado es de la cantera Cutimbo, cuyas características se muestran en la Tabla 8.

3.3.3 Agregado grueso

Se utilizaron los agregados provenientes de la cantera Cutimbo, tomando en consideración la norma ASTM C33 (2016). Se presentan las características en la Tabla 8.

Tabla 8
Características de los agregados, 2019

Descripción	Unidad	Agregados	
		Fino	Grueso
Tamaño máximo nominal	pulg	N° 4	1"
Peso específico	gr/cm ³	2.43	2.48
Peso unitario suelto (seco)	kg/m ³	1545	1496
Peso unitario compactado (seco)	kg/m ³	1752	1679
Contenido de humedad	%	3.94	2.89
Absorción	%	4.59	2.94
Módulo de fineza		3.15	6.84

3.3.4 Fibras de botellas PET

Marthong & Sarma (2016) indica que hasta el momento no hay pautas que definan el tamaño y las formas de las fibras de PET.

Para la presente investigación, las dimensiones estimadas para las fibras de PET fueron obtenidas mediante un reciclado mecánico, cuyo procedimiento es: En la primera etapa, se recolectaron envases de botellas PET de mismo tamaño, se retiraron las etiquetas, tapas y se lavó en un ambiente adecuado y en una segunda etapa se cortaron las botellas de PET. Para lograr un tamaño homogéneo y facilitar el corte, solo se usó el cuerpo, excluyendo el cuello y la parte inferior de ellos. En una tercera etapa se obtienen las fibras usando una guillotina, de tamaños 2mm de ancho y una longitud de 30mm como se puede observar en la Figura 3.

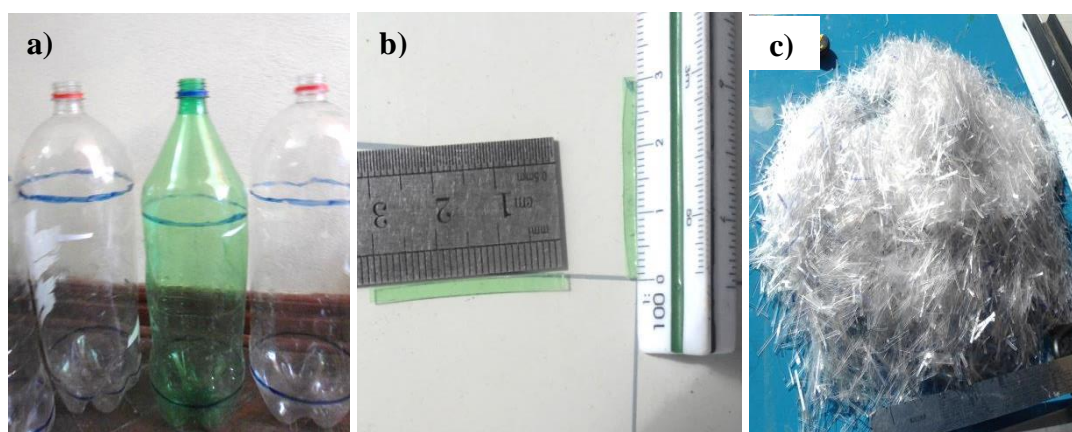


Figura 3. Obtención de fibras de botellas PET

- Nota:
- a) Botellas PET
 - b) Fibras de PET (2mmx30mm)
 - c) Fibras de PET

3.3.5 Agua

Se usó el agua potable de la Ciudad Universitaria para hacer concreto y para curar los especímenes.

3.4 Metodología

Antes de cumplir con los objetivos específicos, primero se desarrolló el siguiente procedimiento:

Diseño de mezclas del concreto

Para el diseño de mezclas se realizó mediante el método de comité 211 del ACI, donde este método tiene un procedimiento de diseño de mezclas basadas en algunas tablas, las mismas que nos permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran el concreto. El asentamiento de diseño es de 75 – 100 mm.

Para el método del ACI se tendrá en cuenta los ensayos de peso unitario (ASTM C 29), peso específico y absorción del agregado grueso y fino (ASTM C127; ASTM C128), análisis granulométrico (ASTM C 136) y contenido de humedad (ASTM C 566), estos ensayos se presentan en el anexo 4.

La resistencia a la compresión del concreto planteada es de 210 kg/cm² (a los 28 días), ya que es considerada como la resistencia mínima en elementos estructurales según el reglamento ACI - 318 (2014), el procedimiento de diseño se presenta en el anexo 2.

La cantidad de materiales fueron obtenidos para 1 m³ determinados por el método del comité 211 del ACI y los porcentajes de fibras de botellas PET fueron estimadas respecto al peso del cemento (Tabla 9).

Tabla 9

Proporción de materiales para la mezcla de concreto con fibras de botellas PET

Cemento (kg/m ³)	Agregado fino (kg/m ³)	Agregado grueso (kg/m ³)	Relación a/c	(%) PET	Fibras de PET (Kg/m ³)
386	568.29	1096.96	0.5	0	0.0
386	568.29	1096.96	0.5	2	7.7
386	568.29	1096.96	0.5	4	15.4
386	568.29	1096.96	0.5	6	23.2
386	568.29	1096.96	0.5	8	30.9

Las fibras de botellas PET se agregaron a la mezcla del concreto normal en las siguientes relaciones diferentes: 0%, 2%, 4%, 6% y 8% respectivamente. El procedimiento está fundamentado de acuerdo a la norma ASTM C 31. Para obtener una mezcla homogénea se usó una mezcladora de concreto de 1 pie³.

3.4.1 Descripción de métodos por objetivos

Para el presente estudio, los ensayos que se realizaron a las muestras de concreto fueron en su estado fresco y endurecido, utilizando dispositivos de prueba disponibles en el laboratorio de construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano.

La metodología seguida para la presente investigación se presenta según objetivos específicos de la investigación, como se detalla a continuación:

A) Para determinar el asentamiento del concreto a diferentes porcentajes con fibras de botellas PET

Se presenta un estudio de alcance correlacional entre las fibras de botellas PET y el asentamiento del concreto en su etapa fresca.

Los indicadores son la consistencia y trabajabilidad del concreto en su estado fresco en diversas mezclas planteadas con fibras de PET.

Prueba de asentamiento

Para obtener las propiedades del concreto fresco, se realizó la prueba de asentamiento basada en la norma ASTM C143. Durante el estado plástico, el concreto debe ser un concreto viable. Por lo tanto, la trabajabilidad del concreto indica el grado de fluidez o movilidad y el acabado de la superficie sin desprendimiento. La medición de la trabajabilidad se denomina depresión que es necesaria para el diseño y es el punto contrario de la dureza de la mezcla.

La muestra son analizados para cada categoría (0%, 2%, 4%, 6% y 8% de PET) fundamentados de acuerdo a la norma ASTM C143, mediante el uso de los siguientes instrumentos: cono de Abrams – plancha metálica, varilla para apisonado de fierro liso de 5/8” y punta redondeada, regla metálica graduada (Figura 4).

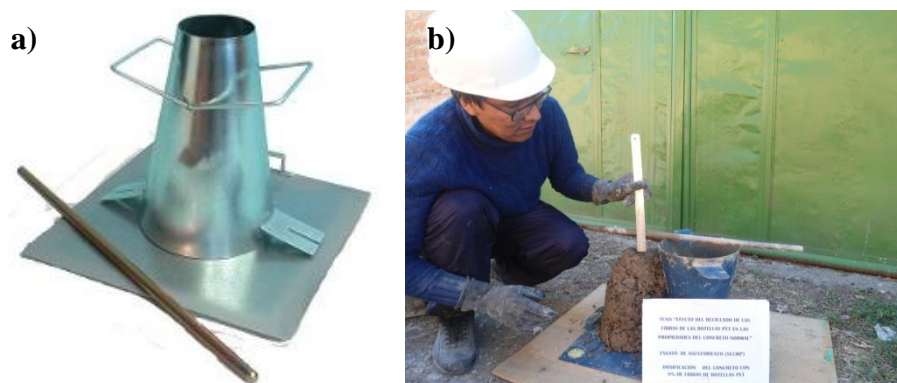


Figura 4. Prueba de asentamiento de concreto

Nota: a) Cono de Abrams

b) Medición de asentamiento

El estadígrafo utilizado es el coeficiente de correlación de Pearson, a un nivel de significancia de 5%.

Los datos se recolectaron en una ficha de observación y procesados en Excel. Los resultados fueron comparados con el concreto normal.

B) Para determinar la incidencia de las fibras de botellas PET en la resistencia del concreto.

Se presenta un estudio experimental al someter las muestras de concreto en su etapa endurecida a ensayos de compresión y flexión y de alcance correlacional entre el incremento de fibras de botellas PET y la resistencia.

Los indicadores fueron la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto en diversas mezclas planteadas con fibras de PET, los resultados fueron comparados con el concreto normal.

Elaboración de especímenes

Se han elaborado 90 especímenes cilíndricos (18 por categoría y 6 por periodo de curado) de dimensiones 10 cm de diámetro, 20 cm de altura y 20 especímenes prismáticos (4 por categoría) de dimensiones 15cm de base, 15 cm de altura y 50cm de longitud respectivamente (Figura 5).

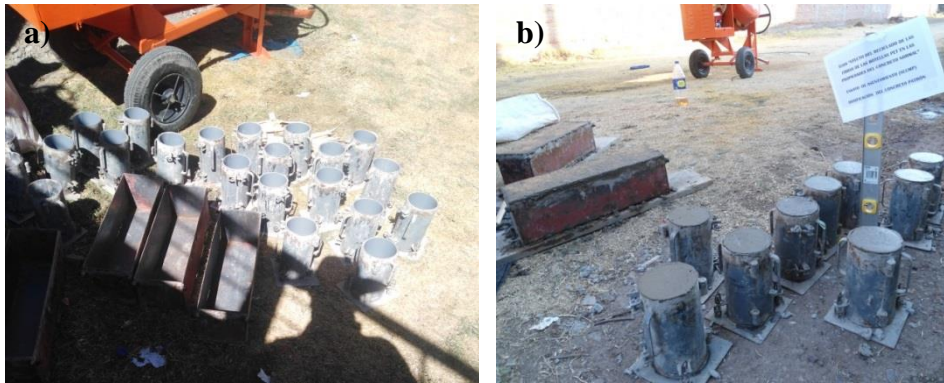


Figura 5. Elaboración de especímenes de concreto

Nota: a) Moldes para elaborar especímenes

b) Especímenes cilíndricos y prismáticos.

Los especímenes permanecieron en los moldes por un periodo de tiempo de 24 horas, después fueron curados bajo agua hasta el momento del ensayo a una temperatura promedio de 10 °C, a continuación la determinación de las variables:

a. Prueba de resistencia a la compresión

Las muestras de concreto endurecido se someten a prueba de resistencia a la compresión. Estas pruebas se definen para las muestras cilíndricas según las normas ASTM C39, donde se determinó mediante la expresión $f'c = \frac{4P}{\pi D^2}$ donde $f'c$ una resistencia a la compresión (kg/cm^2), P es la carga de aplastamiento máxima resistida por la muestra antes del fallo (kg) y D es el diámetro de la muestra cilíndrica (cm). Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron a los 7,14 y 28 días respectivamente. Cuando se sacaron del cilindro de agua, los especímenes de concreto se dejaron secar en la superficie y luego se midió su peso. Cada valor de propiedad mencionado en este documento es el valor promedio obtenido al probar seis especímenes (Figura 6).

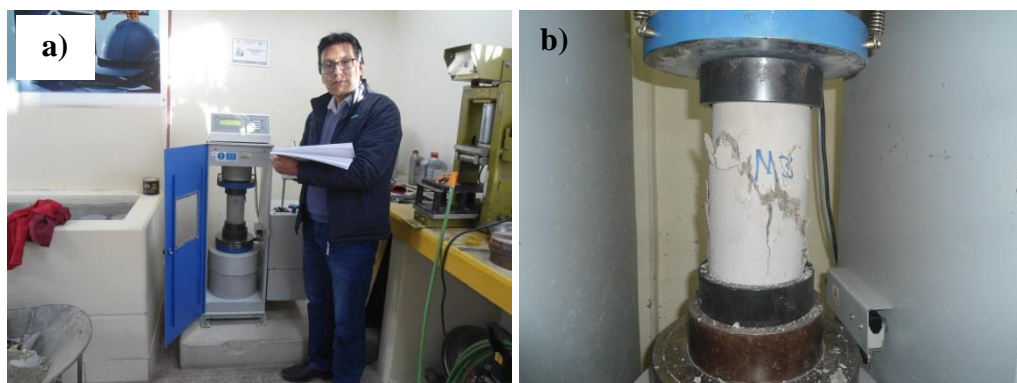


Figura 6. Prueba de resistencia a la compresión.

- Nota: a) Equipo de compresión simple
b) Espécimen sometido a compresión simple

Las muestras cilíndricas se analizaron a periodos de 7, 14 y 28 días de curado y las muestras prismáticas se analizaron a 28 días de curado respectivamente. Los instrumentos fueron equipos de laboratorio como: Una prensa modelo ADR 1500 y equipo a flexión. Los procedimientos de los ensayos se desarrollaron de acuerdo a la norma ASTM C39 (2018) y ASTM C78 (2002).

b. Prueba de resistencia a la flexión del concreto

Se desarrolló de acuerdo al procedimiento establecido en la norma ASTM C78. La resistencia a la flexión se calculó utilizando la ecuación, $f_t = \frac{PL}{bd^2}$, donde f_t es la resistencia a la flexión (kg/cm^2), P es la carga de flexión máxima (kg); L , b y d son la longitud soportada, el ancho y la profundidad del punto de falla de las muestras (cm), respectivamente (Figura 7).

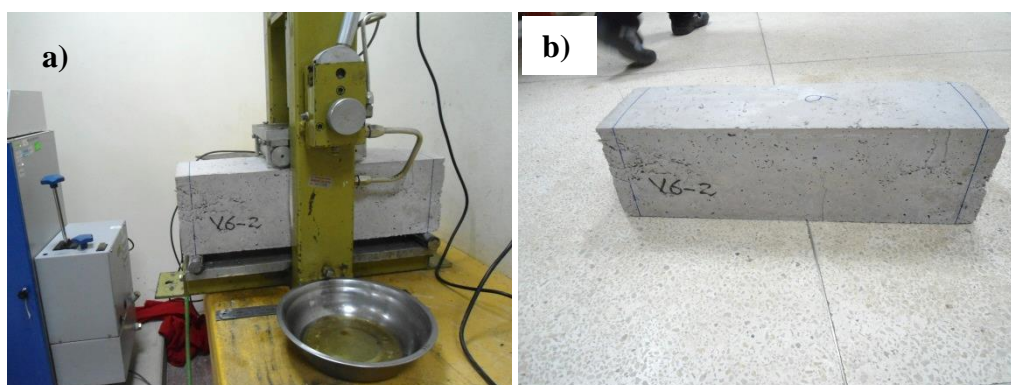


Figura 7. Prueba de resistencia a la flexión.

- Nota: a) Equipo para el ensayo a flexión
b) Muestra prismática de concreto

Los especímenes prismáticas se analizaron a un periodo de 28 días de curado. El instrumento usado fue un equipo a flexión.

El estadígrafo utilizado es ANOVA para determinar las diferencias o igualdad entre grupos de muestras y para identificar los pares de grupos que son significativamente diferentes entre sí, se determinó mediante la prueba para comparaciones múltiples – Tukey, a un nivel de significancia de 5%.

Los datos se recolectaron en una ficha de observación y se procesaron en Excel y software libre estadístico SigmaPlot.

C) Para determinar la densidad del concreto a diferentes porcentajes de adición de fibras de botellas PET.

Se presenta un estudio de alcance correlacional entre las fibras de botellas PET y la densidad seca del concreto.

El indicador fue la densidad en las diversas mezclas planteadas con fibras de PET.

Las muestras analizadas son cilíndricas elaboradas de acuerdo a la norma ASTM C 31 a los 28 días antes de ser sometidas a ensayo a compresión simple.

Los instrumentos fueron equipos de laboratorio como: balanza electrónica.

El estadígrafo utilizado es el coeficiente de correlación de Pearson, a un nivel de significancia de 5%. Los datos se recolectaron en una ficha de observación y procesados en Excel.

3.5 Análisis estadístico

Para el análisis de resultados de asentamiento y densidad se usó el coeficiente de correlacional lineal de Pearson, cuyo estadígrafo es:

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

Para interpretar el coeficiente de correlación (r) que se obtiene, se toma como criterio de decisión, la siguiente calificación:

(+)(-) Correlación inexistente	0.00 = r < 0.00
(+)(-) Correlación muy baja	0.01 = r < 0.20
(+)(-) Correlación baja	0.21 = r < 0.40
(+)(-) Correlación moderada	0.41 = r < 0.60
(+)(-) Correlación alta	0.61 = r < 0.80
(+)(-) Correlación muy alta	0.81 = r = 0.99
(+)(-) Correlación perfecta	1.00 = r = 1.00

Para la prueba de hipótesis estadística se tomó en consideración lo siguiente:

Hipótesis nula $H_0: \rho = 0$ (no existe correlación) \rightarrow Si $p > \alpha$ aceptar H_0

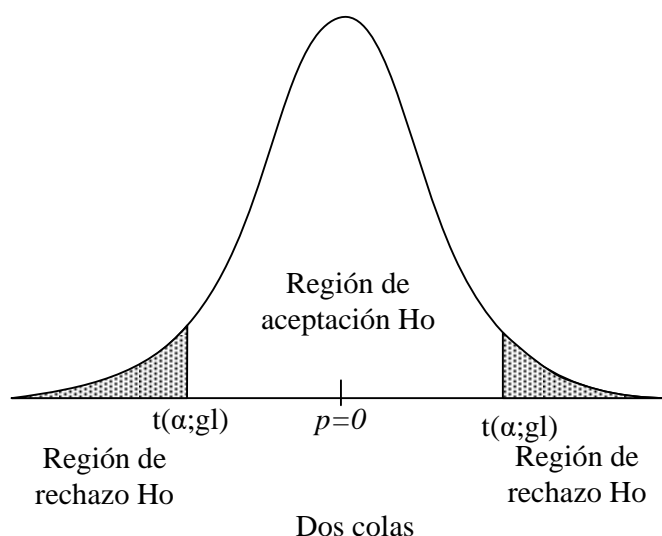
Hipótesis alterna $H_a: \rho \neq 0$ (existe correlación) $\rightarrow p \leq \alpha$ rechazar H_0

Se consideró para el análisis un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$

Estadístico de prueba para comprobación

$$t_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Con $gl = n-2$ (grados de libertad); $t(\alpha; gl)$



El análisis de la comprobación de los datos fue con la prueba “ t ”

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión se procesaron usando el análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias o igualdad entre los grupos de muestras. Posteriormente se utilizó la prueba para comparaciones múltiples, Tukey, para identificar cuáles de los pares de grupos son significativamente diferentes entre sí, a un nivel de significancia de 5%. Los gráficos de respuesta se realizaron utilizando el Excel y software libre estadístico SigmaPlot.

Para la prueba de hipótesis estadística se tomó en consideración lo siguiente:

Hipótesis nula H_0 : Todos los promedios son iguales \rightarrow Si $p > \alpha$ aceptar H_0

Hipótesis alterna H_a : Al menos un promedio es distinto $\rightarrow p \leq \alpha$ rechazar H_0

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Asentamiento del concreto a diferentes porcentajes con fibras de botellas PET

La prueba de asentamiento del concreto se desarrolló de acuerdo a la norma ASTM C 143, analizando dos repeticiones de cada muestra del concreto con adición de porcentajes de fibras de botellas PET (0% concreto normal, 2%, 4%, 6% y 8% fibras de PET estimadas respecto al peso del cemento). El concreto normal tiene un asentamiento de diseño de 75 – 100 mm, para su comparación a diferentes porcentajes de fibras adicionados.

El asentamiento para el concreto normal, para una relación a/c de 0.5 fue de 95.25 mm. Sin embargo, esta se reduce drásticamente en un 48.03% para una mezcla de concreto con 8% de fibras de botellas PET respecto al concreto normal, la cual dificultó la trabajabilidad de la muestra, en las adiciones de 2%, 4% y 6% de fibras de botellas PET también se reduce el asentamiento a 9.45%, 15.75% y 32.55% respecto al concreto normal. Estos resultados indican que el valor de asentamiento del concreto fresco es propenso a disminuir al aumentar la relación de las fibras de botellas PET (Tabla 10).

Tabla 10

Efecto de las fibras de botellas PET en los resultados de la prueba de asentamiento

Mezcla	%PET	Asentamiento medido (mm)			Relación a/c
		1°	2°	Promedio	
0%PET	0	95.00	95.50	95.25	0.50
2%PET	2	87.50	85.00	86.25	0.50
4%PET	4	81.00	79.50	80.25	0.50
6%PET	6	64.50	64.00	64.25	0.50
8%PET	8	50.00	49.00	49.50	0.50

Respecto al análisis estadístico, para la prueba de asentamiento se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significancia de 0.05; donde se ve el índice $r = -0.984$ con $p = 0.002$ que existe una correlación inversa muy alta entre la adición a diferentes porcentajes de fibras de botellas PET y el asentamiento del concreto (Tabla 11).

Tabla 11

Análisis de correlación lineal para la prueba de hipótesis de asentamiento

Indicador	n	α	r	t_c	$t(\alpha, gl)$	p	Condición
Asentamiento	5	0.05	-0.984	9.624	3.182	0.002	Rechazar H_0

Para asentamientos de 75 – 100 mm tienen un grado de trabajabilidad y consistencia plástica (Abanto, 2009). Se puede manifestar que los concretos con fibras de PET de 2% y 4% cumplen, el cual permite una capacidad de acomodo durante la conformación del concreto y para concretos con 6% y 8% de fibras de PET muestran poca trabajabilidad.

Pelisser *et al.* (2012) muestra una disminución de 30% y 50% respecto al concreto de referencia, indicando que aún se exhibía buena trabajabilidad. Sin embargo, se pudo observar que en su investigación solo usó una adición de fibras de PET hasta 0.3% de volumen de la muestra, en la presente investigación se pudo observar que, cuando se adiciona mayor porcentaje de fibras de PET, el concreto es poco trabajable. Para Nibudey (2013) el asentamiento disminuye a 28% para concreto con fibras de 2% de PET, donde la trabajabilidad muestra una disminución, para la investigación para 2% de fibras de PET, disminuye a 9.45% respecto al concreto normal, esta disminución se da debido al aumento del contenido de fibras y que la geometría de las fibras tiene pequeños efectos sobre la trabajabilidad del concreto (Marthong, 2015). De la misma manera, tiene que ver la relación a/c y la calidad del concreto. Con estos resultados se afirma que la adición de fibras de botellas PET tiene un efecto sobre el asentamiento del concreto en disminuir la trabajabilidad. Por lo tanto, se puede adicionar hasta 4% de fibras de botellas PET al concreto normal para obtener una consistencia plástica y trabajable.

4.2 Incidencia de las fibras de botellas PET en la resistencia del concreto

4.2.1 Resistencia a la compresión

Las muestras para medir la resistencia a la compresión se instrumentaron como se muestra en la figura 8 (a) y se registró un valor máximo de aplastamiento. Como se ve en la figura 8 (b) y (c), presentan una falla diagonal sin grietas, figura 8 (d) y (e), presentan una falla como bien formado en un extremo con grietas verticales y la figura 8 (f) presenta pequeñas fisuras en la dirección de la carga aplicada sin presencia de desprendimiento (Figura 8).

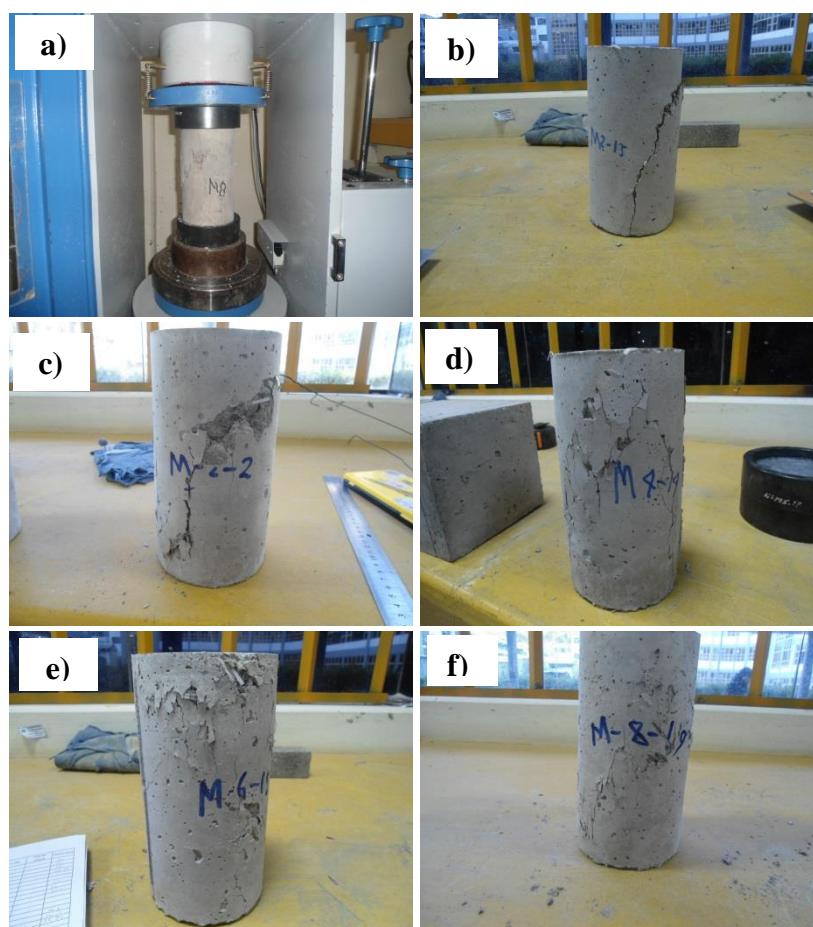


Figura 8. Instrumentación de muestras de prueba y sus modos de falla

- Nota:
- a) Instrumentación de especímenes
 - b) Falla de la muestra 0% PET
 - c) Falla de la muestra 2% PET
 - d) Falla de la muestra 4% PET
 - e) Falla de la muestra 6% PET
 - f) Falla de la muestra 8% PET

Se observó que a los 7 días de curado no se presenta efecto de las fibras de botellas PET respecto al concreto normal, a los 14 días de curado se presenta un leve aumento en la resistencia a la compresión del concreto, al aumentar 2% de fibras de botellas PET se incrementa 1.4%, a los 28 días de curado para la adición de 2% de fibras de botellas PET se incrementa 2.6% y para los concretos con 4% a 8% de fibras de PET disminuyen de 6.3% a 20.4%; se aprecia que el concreto con 4% de fibras de PET tiene una resistencia de 214.55 kg/cm², superior a la resistencia requerida la cual es de 210 kg/cm². Para el concreto con porcentajes de adición de fibras de PET de 6% y 8% se alcanzaron resistencias a la compresión de 188.48 y 182.29 kg/cm² respectivamente, representando una disminución de 17.7% y 20.4% respecto al concreto normal (Tabla 12).

Tabla 12

Resistencia promedio a la compresión del concreto con fibras de PET a 7, 14 y 28 días

%PET	7 días	14 días	28 días
	f'c (kg/cm ²)	f'c (kg/cm ²)	f'c (kg/cm ²)
0	181.91	202.19	228.90
2	175.73	204.97	234.84
4	144.69	173.46	214.55
6	129.27	154.31	188.48
8	119.54	147.46	182.29

Cuando el concreto alcanza su resistencia máxima a los 28 días, se puede observar que las fibras de botellas PET tienen una incidencia en la resistencia, ya que cuando se adiciona una pequeña cantidad de porcentajes de fibras de PET incrementa la resistencia a la compresión y cuando la adición es mayor disminuye (Figura 9).

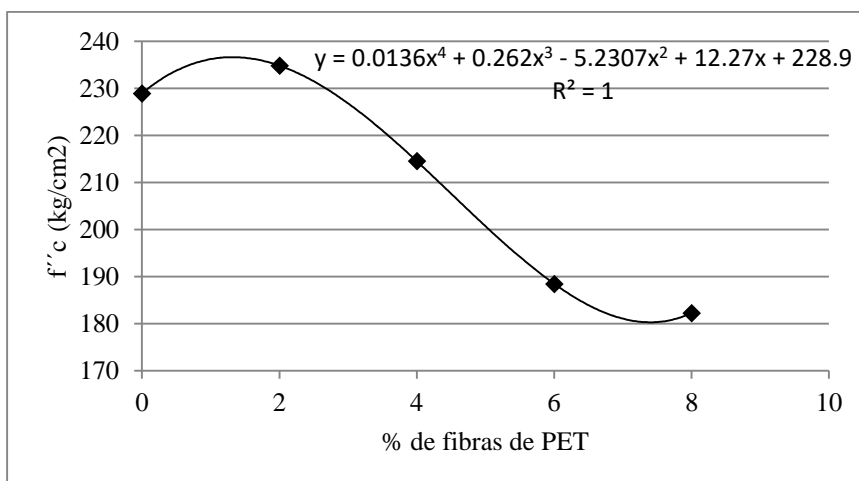


Figura 9. Efecto de fibras PET en la resistencia a la compresión a 28 días

De acuerdo a la Figura 9 se puede predecir el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto con adición de fibras de botellas PET a partir de la siguiente expresión:

$$f'c = 0.0136B^4 + 0.262B^3 - 5.2307B^2 + 12.27B + 228.90 \quad (4.1)$$

De acuerdo a la ecuación 4.1, se puede obtener la resistencia a la compresión máxima es de 236.63 kg/cm² para una adición de 1.3% de fibras de PET. Por lo tanto se puede predecir que, cuando se desea obtener una resistencia superior a 210 kg/cm², entonces se puede adicionar es hasta 4% de PET.

Los resultados estadísticos muestran que la razón-F, que en este caso es igual a 379.112, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor- *p* de la prueba-F es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de las 5 variables con un nivel del 95% de confianza. Por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde las fibras de PET tienen una incidencia en la resistencia del concreto (Tabla 13).

Tabla 13

Análisis de varianza de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	p
Entre grupos	13353.988	4	3338.497	379.112	<0.001
Dentro de los grupos	220.153	25	8.806		
Total	13574.141	29			

Los resultados que al ser comparados con lo que encontró Nibudey (2013) indica que el óptimo fue la adición de 1% de fibras de PET, logrando un incremento de 4.3% respecto al concreto de control, luego se observó la reducción de resistencia. En la investigación el óptimo fue de 1.3% de fibras de PET, logrando un incremento de 3.4% respecto al concreto normal, posteriormente se vio la disminución de la resistencia. La adición de fibras de PET en pequeñas cantidades produce un aumento en la resistencia a la compresión, pero la adición de una gran cantidad de fibras de PET reduce la resistencia (Marthong, 2015).

El factor que influye directamente son la adición de porcentajes de fibras de PET al concreto normal, cuando se tiene mayor porcentaje de fibras de PET como es

el caso de 6 y 8% de fibras de PET, esto se debe a la disminución de trabajabilidad del concreto, ya que las dosificaciones de cemento, áridos y agua se mantienen invariables para los diferentes mezclas analizadas. Con estos resultados se afirma que para diversas calidades del concreto, tamaño y formas de fibras de botellas PET adicionados en el concreto en porcentajes menores produce un aumento en la resistencia a la compresión.

4.2.2 Resistencia a la flexión

Las muestras para medir la resistencia a la flexión se instrumentaron como se muestra en la figura 9 (a) y se registró un valor máximo de falla, en la figura 9 (b) se observó que en las muestras de control, la fractura ocurrió en su punto medio y fue una falla frágil. La figura 9 (c) a (f) los especímenes con adición de fibras de PET tuvieron un buen comportamiento de tal manera que a medida que se aumentaba el porcentaje de fibra incorporado en la mezcla, las grietas generadas por efecto de la carga disminuía en su longitud, a su vez al retirarlas de la maquina éstas no se separaban, evidenciando así que las fibras ayudan a mantener unida la matriz después de la falla resultante del ensayo de flexión a tres puntos (Figura 10).

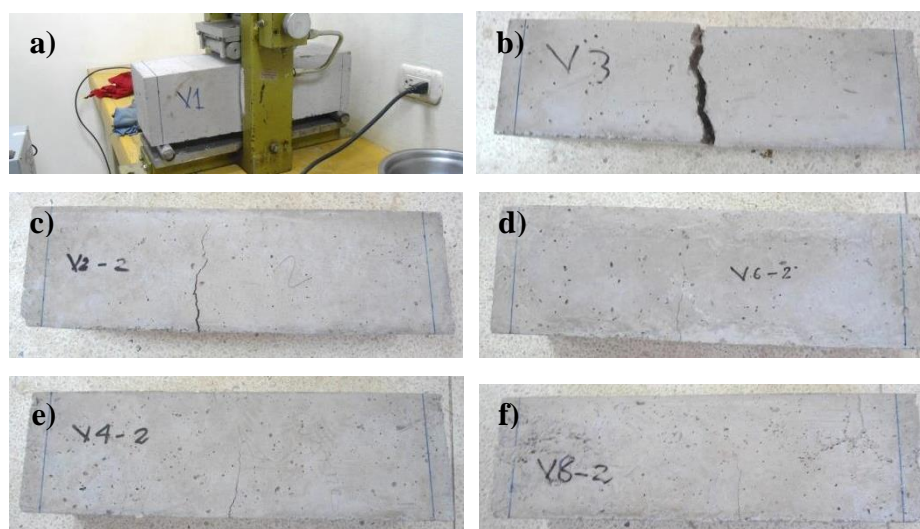


Figura 10. Instrumentación de muestras de prueba y sus modos de falla

- Nota:
- a) Instrumentación de especímenes
 - b) Falla de la muestra 0% PET
 - c) Falla de la muestra 2% PET
 - d) Falla de la muestra 4% PET
 - e) Falla de la muestra 6% PET
 - f) Falla de la muestra 8% PET

A los 28 días de curado, los resultados fueron para concreto con adición de 2% a 6% de fibras de PET se incrementa de 16% a 37% respecto al concreto normal, y para 8% de PET empieza disminuir, pero aún mantiene su valor de resistencia superior al de concreto normal (Tabla 14).

Tabla 14
Efecto de fibras de botellas PET en la resistencia a la flexión a la edad de 28 días.

%PET	Resistencia Promedio (kg/cm ²)	Incremento (%)
0	23.84	100
2	27.62	116
4	29.60	124
6	32.62	137
8	28.58	120

Las fibras de PET tienen un efecto en la resistencia a la flexión del concreto, ya que cuando se adiciona hasta un cierto porcentaje de PET incrementa la resistencia a la flexión y a mayor porcentaje de fibras disminuye (Figura 11).

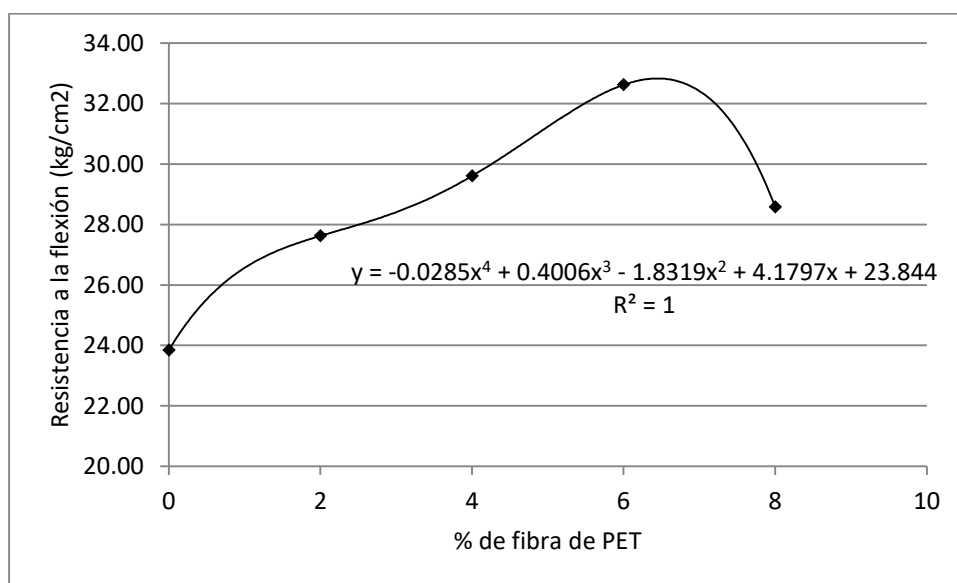


Figura 11. Efecto de fibras de botellas PET en la resistencia a la flexión a 28 días

De acuerdo a la figura 11, se puede predecir el comportamiento de la resistencia a la flexión del concreto con adición de fibras de botellas PET a partir de la siguiente expresión:

$$f_t = 23.844 + 4.1797B - 1.8319B^2 + 0.4006B^3 - 0.0285B^4 \quad (4.2)$$

Los resultados estadísticos muestran que la razón-F, que en este caso es igual a 26.704, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor- p de la prueba-F es menor que 0.05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de las 5 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde las fibras de PET tienen una incidencia en la resistencia del concreto (Tabla 15).

Tabla 15

Análisis de varianza de la resistencia a la flexión del concreto a 28 días

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	162.561	4	40.640	26.704	<0.001
Dentro de los grupos	22.828	15	1.522		
Total	185.389	19			

Se vio que la adición de fibras de PET al concreto incrementa la resistencia a la flexión, esto concuerda con lo que indica (Pelisser *et al.*, 2012). Asimismo, se observó en la presente investigación que para concreto con 8% de PET empieza a disminuir, esto concuerda con Marthong (2015) donde la resistencia a la flexión ese incrementa en 22.96% para concreto con 0.5% de fibras de PET y para 1.0% de PET empieza a disminuir. La poca cantidad de fibras recicladas de botellas PET puede tener una gran influencia en mejorar las propiedades mecánicas del concreto (Foti, 2011). Estos resultados está en función del tamaño, la geometría y las dimensiones de las fibras de PET como lo indican Marthong (2015) y Marthong & Sarma (2016). La adición de una cantidad pequeña de fibras de botellas PET puede tener una gran influencia en el comportamiento posterior al agrietamiento que dentro de la matriz, comenzando a contribuir su resistencia después de alcanzar la falla las probetas, y parece que su forma especial ayuda a unir el concreto a cada lado de la sección agrietada (Foti, 2011).

Relación entre las resistencias de flexión y flexión del concreto

La relación entre las resistencias de flexión y compresión del concreto, cuya expresión resulta $f_t = 2.02\sqrt{f'c}$ (kg/cm²), esto concuerda con Martínez-Soto & Mendoza-Escobedo (2018) que indica que la resistencia a la flexión para un

concreto de peso normal se considera como 2 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión (Figura 12).

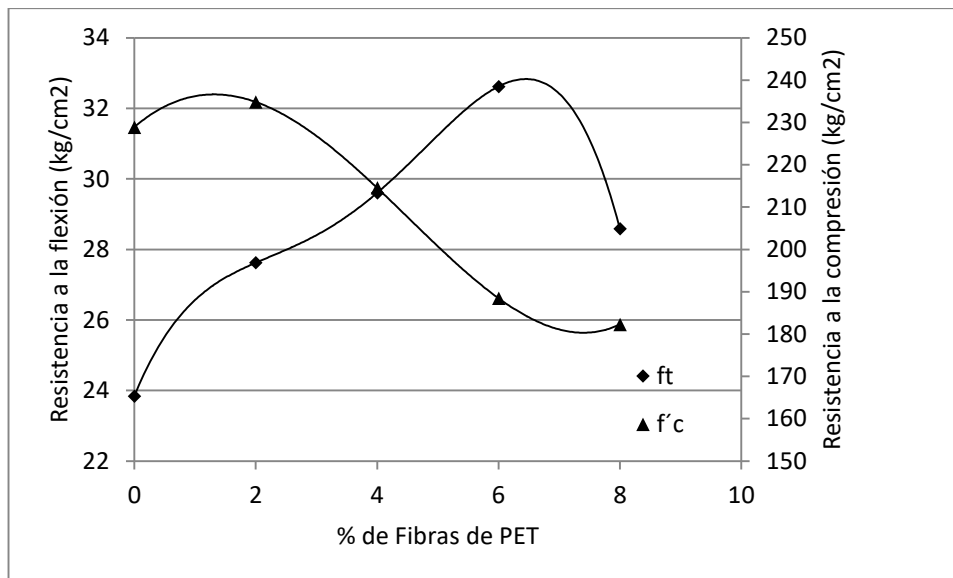


Figura 12. Relación entre las resistencias de flexión y compresión del concreto

Por lo tanto, es posible adicionar hasta 4% de fibras de PET, puesto que, la resistencia a la compresión es superior a 210 kg/cm² y aumenta la resistencia a la flexión, ofrece buena trabajabilidad y consistencia plástica; y concretos con mayores a 4% de fibras de PET disminuye la resistencia a la compresión.

4.3 Densidad del concreto del concreto a diferentes porcentajes de adición de fibras de botellas PET

La densidad varía principalmente según la cantidad y densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado y la relación a/c. La densidad de las muestras se midió en la condición seca de 28 días justo antes de la prueba de resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos, donde el concreto normal tiene una densidad seca de 2401.23 kg/m³ y la densidad de concreto con fibras a 2%, a 8% se ven afectadas en la disminución de 0.8%, a 3.6% respecto al concreto normal (Tabla 16).

Tabla 16

Densidad del concreto a diferentes porcentajes de adición de fibras de botellas PET

% de fibras de PET	Densidad (kg/m ³)	a/c
0% PET	2401.23	0.5
2% PET	2381.95	0.5
4% PET	2357.15	0.5
6% PET	2341.94	0.5
8% PET	2314.05	0.5

Respecto al análisis estadístico, para la densidad se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significancia de 0.05; donde se ve el índice $r = -0.996$ con $p = 0.001$ que existe una correlación inversa muy alta entre la adición con diferentes porcentajes de fibras de botellas PET y la densidad del concreto (Tabla 17).

Tabla 17

Análisis de correlación lineal para la prueba de hipótesis de densidad

Indicador	n	α	r	t_c	$t(\alpha, gl)$	p	Condición
Densidad	5	0.05	-0.996	21.71	3.182	0.001	Rechazar Ho

Los resultados alcanzados por Nibudey (2013) indicaron que la densidad seca se redujo a 0.5% para concreto con fibras de 2% de PET. Por otra parte, Ishaiba (2015) indica que las densidades secas de todas las mezclas al aumentar la proporción de PET se redujo, puntualizando que la densidad de plástico es mucho menor que la del agregado natural en un 51%, este resultado concuerda con los resultados obtenidos, ya que la disminución de la densidad seca, por efecto de la densidad de fibras de PET es menor a la densidad del agregado natural en un 43%. El concreto que contiene fibras de PET reciclado tiene un menor peso (Akçaözöğlü *et al.*, 2010).

De acuerdo al reglamento ACI - 318 (2014), el concreto con fibras de botellas PET se mantiene como concreto de peso normal. EL concreto con fibras de botellas PET con adición de 6% y 8% por más que cumplan con ser un concreto de peso normal no cumple con la resistencia a la compresión de diseño deseada. Por tanto, las fibras de botellas PET afectan a la densidad del concreto seco, haciendo que el concreto sea más ligero.

CONCLUSIONES

- El reciclado de las fibras de las botellas PET tiene un efecto en las propiedades del concreto respecto al asentamiento, resistencia y densidad, por tanto la investigación presenta las siguientes conclusiones específicas:
- Para una relación agua – cemento de 0.5, el asentamiento del concreto con fibras de PET disminuye a 48.03%. Sin embargo para concreto hasta 4% de fibras de PET ofrecían una adecuada trabajabilidad y consistencia plástica.
- La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado, al aumentar el 2% de fibras de botellas PET se incrementó 2.6% respecto al concreto normal y para 4% de fibras de botellas PET se aprecia una reducción de 6.3%, no obstante esto supera la resistencia requerida de 210 kg/cm^2 . La resistencia a la flexión para concreto con 4% de fibras de PET aumenta a 24%. Por lo tanto, se puede adicionar hasta 4% de fibras de PET, puesto que, el concreto con 4% de fibras de PET nos ofrece una adecuada trabajabilidad, resistencia a la compresión superior a 210 kg/cm^2 e incremento de resistencia a la flexión; y con fibras superiores a 4% de PET disminuye la trabajabilidad y la resistencia a la compresión.
- La densidad seca tiende a disminuir por debajo de los valores de la mezcla del concreto normal, haciendo que el concreto sea más ligero. Se puede utilizar como una posible opción de la disminución de la carga muerta del concreto en construcciones de viviendas, ya que el concreto se mantiene como concreto de peso normal.

RECOMENDACIONES

- Las fibras de botellas PET pueden usarse en la producción del concreto, adicionando un porcentaje limite estimado para mantener y mejorar las propiedades del concreto, de la misma manera, un método muy útil para resolver algunos problemas de desechos de PET en el medio ambiente.
- En la presente investigación se realizó sin incorporar ningún tipo de plastificante para la elaboración de concreto para diferentes porcentajes de fibras de botellas PET, por lo que se recomienda realizar investigaciones incluyendo plastificantes, sabiendo que éstos mejoran la trabajabilidad del concreto en su etapa fresca.
- Realizar un estudio para diversas calidades de concreto adicionando porcentajes de fibras de PET. De la misma manera, se recomienda aplicar fibras de PET en pavimentos rígidos, ya que el concreto con fibras de PET tiene un mejor comportamiento a flexión y mejora su adherencia.
- Limitar la adición de fibras de PET hasta un porcentaje adecuado, ya que a mayor incorporación de fibras, el concreto se vuelve más ligero.

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima: Editorial San Marcos.
- ACI - 318. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario*. American Concrete Institute (ACI).
- Akçaözöğlü, S., Atiş, C. D., & Akçaözöğlü, K. (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30(2), 285–290. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.033>
- Albano, C., Camacho, N., Hernández, M., Matheus, A., & Gutiérrez, A. (2009). Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*, 29(10), 2707–2716. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.007>
- Aldahdooh, M. A. A., Jamrah, A., Alnuaimi, A., Martini, M. I., Ahmed, M. S. R., & Ahmed, A. S. R. (2018). Influence of various plastics-waste aggregates on properties of normal concrete. *Journal of Building Engineering*, 17, 13–22. <http://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.01.014>
- ASTM C143. (2016). *Método de ensayo normalizado para asentamiento de concreto de cemento hidráulico*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C150. (2001). *Standard specification for Portland cement*. Annual Book of ASTM Standards 04.01, pp. 149–155.
- ASTM C33. (2016). *Especificación normalizada para agregados para concreto*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C39. (2018). *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. American Society for Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C78. (2002). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. American Society for Testing and

Materials (ASTM).

- Avila Córdoba, L. I. (2015). *La radiación gamma como metodología alternativa para la modificación fisicoquímica del PET de desecho y su reuso como material reciclado en concreto (tesis doctoral)*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ávila Córdoba, L., Martínez-Barrera, G., Barrera Díaz, C., Ureña Nuñez, F., & Loza Yañez, A. (2013). Effects on Mechanical Properties of Recycled PET in Cement-Based Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2013(1), 1–6. <http://doi.org/10.1155/2013/763276>
- Borg, R. P., Baldacchino, O., & Ferrara, L. (2016). Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 108, 29–47. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.029>
- Bui, N. K., Satomi, T., & Takahashi, H. (2018). Recycling woven plastic sack waste and PET bottle waste as fiber in recycled aggregate concrete: An experimental study. *Waste Management*, 78, 79–93. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.035>
- Chan Yam, J. L., Solís Carcaño, R., & Moreno, É. I. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*, 7(2), 39–46. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46770203>
- Choi, Y. W., Moon, D. J., Chung, J. S., & Cho, S. K. (2005). Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 776–781. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.014>
- Choi, Y. W., Moon, D. J., Kim, Y. J., & Lachemi, M. (2009). Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2829–2835. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.036>
- Foti, D. (2011). Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1906–1915. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.066>
- Foti, D. (2019). *Recycled waste PET for sustainable fiber-reinforced concrete. Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete*. Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/b978-0-08-102676-2.00018-9>
- Fraternali, F., Ciancia, V., Chechile, R., Rizzano, G., & Feo, L. (2011). Experimental study of the thermo-mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced

- concrete. *Composite Structures*, 93(9), 2368–2374.
<http://doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.03.025>
- Fraternali, F., Farina, I., Polzone, C., Pagliuca, E., & Feo, L. (2013). On the use of R-PET strips for the reinforcement of cement mortars. *Composites Part B: Engineering*, 46, 207–210. <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.070>
- Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 30(6), 1101–1106. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>
- Ge, Z., Yue, H., & Sun, R. (2015). Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate and PET. *Construction and Building Materials*, 93, 851–856. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.081>
- Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2018). *Recycled plastic. New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete*. Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/b978-0-08-102480-5.00003-8>
- Hannawi, K., Kamali-Bernard, S., & Prince, W. (2010). Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste Management*, 30(11), 2312–2320. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.03.028>
- Harmsen, T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Fondo editorial PUPC.
- Ishaiba, A. A. (2015). A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Science in Civil Engineering Design and Rehabilitation of Structures.
- Islam, J., & Dipta, I. A. (2018). Investigation of recycled poly-ethylene terephthalate (PET) as partial replacement of coarse aggregate in concrete, 46(1), 11–20.
- Islam, M. J., Meherier, M. S., & Islam, A. K. M. R. (2016). Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 125, 946–951. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.128>
- Kim, S. B., Yi, N. H., Kim, H. Y., Kim, J. H. J., & Song, Y. C. (2010). Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 32(3), 232–240. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002>
- Mahdi, F., Abbas, H., & Khan, A. A. (2010). Strength characteristics of polymer mortar and concrete using different compositions of resins derived from post-consumer PET bottles. *Construction and Building Materials*, 24(1), 25–36. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.006>

- Mansour, A. M. H., & Ali, S. A. (2015). Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material. *Energy for Sustainable Development*, 24, 79–85. <http://doi.org/10.1016/j.esd.2014.11.001>
- Marthong, C. (2015). Effects of PET fiber arrangement and dimensions on mechanical properties of concrete. *IES Journal Part A: Civil and Structural Engineering*, 8(2), 111–120. <http://doi.org/10.1080/19373260.2015.1014304>
- Marthong, C., & Sarma, D. K. (2016). Influence of PET fiber geometry on the mechanical properties of concrete: An experimental investigation. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20(7), 771–784. <http://doi.org/10.1080/19648189.2015.1072112>
- Martínez-Soto, I. E., & Mendoza-Escobedo, C. J. (2018). Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 7(3), 151–164. <http://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2006.07n3.012>
- Nibudey, R. N. (2013). Strengths Prediction of Plastic fiber Reinforced concrete, 3(1), 1818–1825.
- Nováková, K., Šeps, K., & Achten, H. (2017). Experimental development of a plastic bottle usable as a construction building block created out of polyethylene terephthalate: Testing PET(b)rick 1.0. *Journal of Building Engineering*, 12, 239–247. <http://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.05.015>
- NTP 399.088. (2014). *Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos.*
- Ochi, T., Okubo, S., & Fukui, K. (2007). Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement and Concrete Composites*, 29(6), 448–455. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.02.002>
- Pelisser, F., Montedo, O. R. K., Gleize, P. J. P., & Roman, H. R. (2012). Mechanical properties of recycled PET fibers in concrete. *Materials Research*, 15(4), 679–686. <http://doi.org/10.1590/s1516-14392012005000088>
- Pereira De Oliveira, L. A., & Castro-Gomes, J. P. (2011). Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1712–1717. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.044>
- Poonyakan, A., Rachakornkij, M., Wecharatana, M., & Smittakorn, W. (2018). Potential Use of Plastic Wastes for Low Thermal Conductivity Concrete. *Materials*, 11(10), 1938. <http://doi.org/10.3390/ma11101938>
- Rahmani, E., Dehestani, M., Beygi, M. H. A., Allahyari, H., & Nikbin, I. M. (2013). On

- the mechanical properties of concrete containing waste PET particles. *Construction and Building Materials*, 47, 1302–1308. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.041>
- Rane, A., Ajitha, A. R., Aswathi, M. K., Manju, P., Kanny, K., & Thomas, S. (2018). Applications of Waste Poly(Ethylene Terephthalate) Bottles. *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*, 169–189. <http://doi.org/10.1016/b978-0-12-811361-5.00009-2>
- Rivva, E. (2015). *Diseño de mezclas*. Editorial Hozlo SCRL.
- Shubbar, S. D. A., & Al-Shadeedi, A. S. (2017). Utilization of waste plastic bottles as fine aggregate in concrete. *Kufa Journal of Engineering*, 8(2), 132–146. Retrieved from <http://www.uokufa.edu.iq/journals/index.php/kje/article/view/6068>
- Siddique, R., Khatib, J., & Kaur, I. (2008). Use of recycled plastic in concrete: A review. *Waste Management*, 28(10), 1835–1852. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.011>
- Subramani, T., & Rahman, A. F. (2017). Ijaiem-2017-03-14-18, 6(3), 58–66.
- Valencia, D., López, C., Cortes, E., & Froese, A. (2012). Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra. *Apuntes: Revista de ...*, 25, 292–303. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-97632012000200011&script=sci_arttext&tlng=es
- Yang, S., Yue, X., Liu, X., & Tong, Y. (2015). Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles. *Construction and Building Materials*, 84, 444–453. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.038>
- Yesilata, B., Isiker, Y., & Turgut, P. (2009). Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. *Construction and Building Materials*, 23(5), 1878–1882. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.014>



ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza (ANOVA)

Análisis de varianza (ANOVA) para los datos de resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0% de PET	6	1373.43	228.90	2.83
2% de PET	6	1409.01	234.84	10.10
4% de PET	6	1287.30	214.55	6.70
6% de PET	6	1130.87	188.48	9.00
8% de PET	6	1093.75	182.29	15.41

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P
Entre grupos	13353.988	4	3338.497	379.112	<0.001
Dentro de los grupos	220.153	25	8.806		
Total	13574.141	29			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento presentan una variación, hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = <0.001$).

Prueba de hipótesis $\alpha = 0.05$

Hipótesis	Condición de hipótesis	Con el valor de ρ
Ho	Ho: Todas los promedios son iguales	Si $\rho > \alpha$ aceptar Ho
Ha	Ha: Al menos un promedio es distinto	Si $\rho \leq \alpha$ rechazar Ho

Como $P < \alpha \rightarrow$ se rechaza la hipótesis nula.

Como se acepta la hipótesis alterna, se realiza la prueba por Tukey para ver los promedios que están haciendo diferencia.

Procedimiento de comparación múltiple por pares (Tukey Test):

Comparaciones por factor

Comparación	Diferencias de promedios	p	q	P	P<0.050
2% de PET vs. 8% de PET	52.544	5	43.372	<0.001	Si
2% de PET vs. 6% de PET	46.357	5	38.265	<0.001	Si
2% de PET vs. 4% de PET	20.286	5	16.745	<0.001	Si
2% de PET vs. 0% de PET	5.930	5	4.895	0.015	Si
0% de PET vs. 8% de PET	46.614	5	38.477	<0.001	Si
0% de PET vs. 6% de PET	40.426	5	33.369	<0.001	Si
0% de PET vs. 4% de PET	14.355	5	11.849	<0.001	Si
4% de PET vs. 8% de PET	32.258	5	26.627	<0.001	Si
4% de PET vs. 6% de PET	26.071	5	21.52	<0.001	Si
6% de PET vs. 8% de PET	6.187	5	5.107	0.011	Si

La diferencia de promedios es significativa en el nivel 0.05 ($p < 0.05$)

Análisis de varianza (ANOVA) para los datos de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0% de PET	4	95.375	23.844	4.884
2% de PET	4	110.499	27.625	0.927
4% de PET	4	118.418	29.604	0.250
6% de PET	4	130.481	32.620	0.396
8% de PET	4	114.336	28.584	1.152

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P
Entre grupos	162.561	4	40.640	26.704	<0.001
Dentro de los grupos	22.828	15	1.522		
Total	185.389	19			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento presentan una variación, hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = <0.001$).

Prueba de hipótesis $\alpha = 0.05$

Hipótesis	Condición de hipótesis	Con el valor de ρ
Nula: Ho	Ho: Todos los promedios son iguales	Si $\rho > \alpha$ aceptar Ho
Alternativa: Ha	Ha: Al menos un promedio es distinto	Si $\rho \leq \alpha$ rechazar Ho

Como $P < \alpha \rightarrow$ se rechaza la hipótesis nula.

Como se acepta la hipótesis alternativa, se realiza la prueba por Tukey para ver los promedios que están haciendo diferencia

Procedimiento de comparación múltiple por pares (Tukey Test):

Comparaciones por factor

Comparación	Diferencias de promedios	p	q	P	P<0.050
6% de PET vs. 0% de PET	8.777	5	14.229	<0.001	Si
6% de PET vs. 2% de PET	4.995	5	8.099	<0.001	Si
6% de PET vs. 8% de PET	4.036	5	6.544	0.003	Si
6% de PET vs. 4% de PET	3.016	5	4.889	0.025	Si
4% de PET vs. 0% de PET	5.761	5	9.339	<0.001	Si
4% de PET vs. 2% de PET	1.98	5	3.209	0.208	No
4% de PET vs. 8% de PET	1.02	5	1.654	0.768	No prueba
8% de PET vs. 0% de PET	4.74	5	7.685	<0.001	Si
8% de PET vs. 2% de PET	0.959	5	1.555	0.804	No prueba
2% de PET vs. 0% de PET	3.781	5	6.13	0.005	Si

La diferencia de promedios es significativa en el nivel 0.05 ($p < 0.05$) por lo menos en más de uno

Anexo 2. Diseño de mezclas $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$; método ACI 211.1

Hoja de cálculo de diseño de mezclas

Cantera : Cutimbo

Tipo de concreto : $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

1. Características de los materiales

a. Cemento

Cemento	Tipo I
Pesos específico kg/cm^3	2.82

b. agua

Potable

c. Agregados

Material	p.e. (kg/m^3)	p.u.c. (kg/m^3)	m.f.	Absorción (%)	Humedad (%)
A. fino	2430	1752	3.15	4.59	3.94
A. grueso	2480	1679		2.94	2.89

2. Cálculo de resistencia promedio

En el caso de contar con un registro de ensayos de resistencia en compresión, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores obtenidos a partir de la solución de las siguientes ecuaciones:

Resistencia Promedio

$f'c$	$f'cr$
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 85$
Sobre 350	$1.1f'c + 50$

Por lo tanto, para una resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 , se considera un factor de 85 kg/cm^2 , obteniendo una resistencia promedio de 295 kg/cm^2

3. Tamaño máximo nominal del agregado

De acuerdo a la norma E.060 (2016) de concreto armado recomienda que el tamaño máximo nominal del agregado grueso, en ningún caso exceda los siguientes valores:

- 1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados.
- 1/3 del peralte de las losas.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras de refuerzo.

→ Tamaño máximo nominal = 1”

4. Selección del asentamiento

Se ha considerado realizar el diseño de mezcla con una consistencia plástica con el fin de garantizar la trabajabilidad del concreto, teniéndose un revenimiento de 3" a 4".

5. Volumen unitario de agua

Para la determinación del volumen unitario de agua, se ha considerado la siguiente tabla establecida por el ACI 211.1:

Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes Slump

Slump	Agua en lt/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominal de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" - 7"	243	228	216	202	190	178	160	---

Concreto sin aire incorporado

Fuente: ACI – 211.1 (Tabla 6.3.3. Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes Slump)

Para una mezcla de consistencia plástica (revenimiento de 3" a 4"), y de tamaño máximo nominal de 1", se tiene un volumen unitario de 193 l/m³

6. Selección del contenido de aire

Puesto que no ha sido considerado la incorporación de aire en el diseño, se procede a obtener el porcentaje de aire atrapado, según la siguiente tabla:

Contenido de aire atrapado

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: ACI – 211

Para un tamaño máximo nominal de 1", se tiene 1.5% de aire atrapado en la mezcla.

7. Selección de la relación agua/cemento

En este paso se ha considerado, la elección de la relación agua/cemento según a las condiciones de exposición del concreto a procesos de congelación y deshielo, garantizando así su durabilidad.

Relación agua cemento a/c en condiciones de exposición

Condiciones de exposición	a/c
Concretos impermeable	
- Expuesto a agua dulce	0.50
- Expuesto a agua de mar	0.45
- Expuesto a la acción de aguas cloacales	0.45
Concreto expuesto a congelamiento y hielo en condiciones húmedas:	
- Sardineles, cunetas y secciones delgadas	0.45
- Otros elementos estructurales	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina, o rocío de ésta agua.	
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm	0.45

Fuente: ACI - 211.1 (Tabla 6.3.4. Relación agua cemento a/c en condiciones de exposición)

Se considera que el concreto es diseñado en la ciudad de Puno, la cual estará expuesto a congelamiento y hielo en condiciones húmedas, entonces se establece 0.50 como relación a/c.

8. Factor cemento

$$FC = \frac{\text{Vol. unitario de agua}}{\text{Relación a/c}} = \frac{193}{0.5} = 386 \text{ kg/m}^3$$

9. Selección del contenido de agregado grueso

Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Tamaño máximo del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del fino (b/bo)				
	2.4	2.6	2.8	3	3.20
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44	0.42
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58
1"	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70	0.67
2"	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
3"	0.81	0.79	0.77	0.75	0.74
6"	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79

Fuente: ACI - 211.1 (Tabla 6.3.6. peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto)

Con un módulo de finura de 3.15 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1" se encuentra un valor de $b/bo = 0.635$ metros cúbicos de agregado grueso seco compactado por unidad de volumen de concreto. Por lo tanto, se tiene que:

Peso del agregado grueso seco y compactado = $0.635 \times 1679 = 1066.17 \text{ kg/m}^3$

10. Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso

Volumen absoluto de:

$$\text{Cemento} = \frac{FC}{P. e. \text{ del cemento}} = \frac{386 \text{ kg}}{2820 \text{ kg/m}^3} = 0.137 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{\text{Vol. unit. agua}}{P. e. \text{ del agua}} = \frac{193 \text{ l}}{1000 \text{ l/m}^3} = 0.193 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \% \text{ de aire atrapado} = 1.5\% = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{\text{Peso Ag. Sec. y Compactado}}{P. e. \text{ del Agregado}} = \frac{1066.17 \text{ kg}}{2480 \text{ kg/m}^3} = 0.430 \text{ m}^3$$

Volúmenes absolutos de materiales

Volúmenes absolutos	
Cemento	0.137 m ³
Agua	0.193 m ³
Aire	0.015 m ³
Agregado grueso	0.430 m ³
Suma de Vol. conocidos	0.775 m ³

11. Cálculo del contenido de agregado fino

El Volumen absoluto del agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado fino será igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso específico.

$$\text{Vol. absoluto de agregado fino} = \text{Vol. total} - \text{Vol. absoluto conocidos}$$

$$\text{Vol. absoluto de agregado fino} = 1 - 0.775 = 0.225 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.225 \text{ m}^3 \times 2430 \text{ kg/m}^3 = 546.75 \text{ m}^3$$

Valores de diseño

Materiales	En peso (kg/m ³)
Cemento	386.00
Agregado fino seco	546.75
Agregado grueso seco	1066.17
Agua	193.00
Total	2191.92

12. Corrección por humedad del agregado

Una vez obtenido los valores de diseño en proporciones secas, estas deben ser corregidas en función de las condiciones de humedad de los agregados fino y grueso, a fin de obtener los valores a ser utilizados en obra.

Diseño de mezclas final

Materiales	Pesos secos (kg/m ³)	%w	%a	Pesos corregidos (kg/m ³)
Cemento	386.00			386.00
Agregado fino húmedo	546.75	3.94	4.59	568.29
Agregado grueso húmedo	1066.17	2.89	2.94	1096.96
Agua efectiva	195.00			197.09

13. Proporciones de materiales para diseño de mezclas de concreto normal

Diseño de mezclas para concreto normal $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Materiales	En peso (kg/m ³)	% en peso
Cemento	386.00	17.36
Agregado fino húmedo	568.29	24.96
Agregado grueso húmedo	1096.96	48.82
Agua efectiva	197.09	8.86
Total	2248.34	100
Fibra de PET	0	0

14. Valores de diseño de concreto con fibras de botellas PET

Porcentajes de fibras de botellas PET respecto al peso del cemento

Materiales	Und	% de PET en sustitución de agregado fino				
		0%	2%	4%	6%	8%
Cemento	kg/m ³	386.00	386.00	386.00	386.00	386.00
Agregado fino húmedo	kg/m ³	568.29	568.29	568.29	568.29	568.29
Agregado grueso húmedo	kg/m ³	1096.96	1096.96	1096.96	1096.96	1096.96
Agua efectiva	lt/m ³	197.09	197.09	197.09	197.09	197.09
Fibras de PET	kg/m ³	0.00	7.70	15.44	23.20	30.90

Anexo 3. Evidencias fotográficas



Figura 13. Ensayo de granulometría del agregado grueso



Figura 14. Ensayo de peso específico y absorción de los agregados



Figura 15. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino



Figura 16. Ensayo de contenido de humedad de los agregados



Figura 17. Determinación de peso unitario del agregado fino



Figura 18. Determinación de peso unitario compactado del agregado grueso



Figura 19. Elaboración de fibras de botellas PET



Figura 20. Materiales para dosificación del concreto con fibras de 4% de PET



Figura 21. Curado de especímenes



Figura 22. Determinación del peso de los especímenes a los 28 días de curado

Anexo 4. Resultado de los ensayos de los agregados



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

COSTANCIA DE USO DE EQUIPOS Y LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES DE LA FICA

Hace constar:

Que el tesista, conducente a la obtención del Grado de Doctor en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente **Mg. DARWIN QUENTA FLORES**, hizo uso de los equipos del Laboratorio de Construcciones - FICA, para realizar los ensayos requeridos para su proyecto de Tesis: "**EFFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE BOTELLAS PET EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO NORMAL**".

Los ensayos que realizo son los siguientes:

Diseño de mezclas

Nº	Ensayo	Cantidad
1	Contenido de humedad para agregado fino y grueso	01
2	Peso unitario de los agregados grueso y fino	01
3	Granulometría para agregados grueso y fino	01
4	Peso específico y absorción de los Agregados	01

Ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto

Nº	Ensayo	Cantidad
1	Muestras cilíndricas: con fibras 0% de botellas PET	18
2	Muestras cilíndricas: con fibras 2% de botellas PET	18
3	Muestras cilíndricas: con fibras 4% de botellas PET	18
4	Muestras cilíndricas: con fibras 6% de botellas PET	18
5	Muestras cilíndricas: con fibras 8% de botellas PET	18

NOTA: Los ensayos de compresión simple de probetas de concreto se realizaron a edades de 7, 14 y 28 días.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES**



Ensayo de resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

Nº	Ensayo	Cantidad
1	Vigas con fibras 0% de botellas PET	04
2	Vigas con fibras 2% de botellas PET	04
3	Vigas con fibras 4% de botellas PET	04
4	Vigas con fibras 6% de botellas PET	04
5	Vigas con fibras 8% de botellas PET	04

Densidad seca del concreto

Nº	Ensayo	Cantidad
1	Muestras con fibras 0% de botellas PET	06
2	Muestras con fibras 2% de botellas PET	06
3	Muestras con fibras 4% de botellas PET	06
4	Muestras con fibras 6% de botellas PET	06
5	Muestras con fibras 8% de botellas PET	06

NOTA: Los resultados obtenidos, de los ensayos, no son responsabilidad del Laboratorio de Construcciones.

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para adjuntar en su proyecto de Tesis.

Puno, C. U. 14 de Octubre de 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES - PUNO

MSc. Ing. Gino F. Laque Córdova
JEFE DE LABORATORIO





Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura
 Laboratorio de Construcciones
Av. Jorge Basadre S/N (Ciudad Universitaria)



CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADOS FINO Y GRUESO

TESISTA : QUENTA FLORES, Darwin
 TESIS : EFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
 CANTERA : Cutimbo
 MUESTRA : Proporcionado por el tesista
 DISEÑO : $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

I. AGREGADO FINO

Nro De Tara	E-1	E-2	E-3
Peso de Tara	29.26	28.6	27.01
Peso de Tara + M. Humeda	340.17	344.56	300.75
Peso de Tara + M. Seca	328.39	332.58	290.37
Peso de Agua	11.78	11.98	10.38
Peso Muestra Seca	299.13	303.98	263.36
Contenido de humedad W%	3.94	3.94	3.94
Promedio cont. Humedad W%	3.94		

II. AGREGADO GRUESO

Nro De Tara	E-4	E-5	E-6
Peso de Tara	50.6	51.32	50.67
Peso de Tara + M. Humeda	934.08	928.31	883.28
Peso de Tara + M. Seca	910.22	903.79	858.94
Peso de Agua	23.86	24.52	24.34
Peso Muestra Seca	859.62	852.47	808.27
Contenido de humedad W%	2.78	2.88	3.01
Promedio cont. Humedad W%	2.89		



PESO ESPECIFICO UNITARIO
AGREGADOS FINO Y GRUESO

TESISTA : QUENTA FLORES, Darwin
 TESIS : EFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
 CANTERA : Cutimbo
 MUESTRA : Proporcionado por el tesista
 DISEÑO : $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

I. AGREGADO FINO

1.1. PESO UNITARIO SUELTO

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	10000.000	10000.000	10000.000
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	18580.000	18585.000	18610.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	8580.000	8585.000	8610.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm ³ ,	5560.000	5560.000	5560.000
PESO UNITARIO Gr/Cm ³ ,	1.543	1.544	1.549
PESO UNITARIO HUMEDO KG/M ³ ,		1545	
PESO UNITARIO SECO KG/M ³ ,		1545	

1.2. PESO UNITARIO COMPACTADO

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	10000.000	10000.000	10000.000
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	19730.000	19740.000	19750.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	9730.000	9740.000	9750.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm ³	5560.000	5560.000	5560.000
PESO UNITARIO Gr/Cm ³	1.750	1.752	1.754
PESO UNITARIO HUMEDO KG/M ³		1752	
PESO UNITARIO SECO KG/M ³ ,		1752	

II. AGREGADO GRUESO

2.1. PESO UNITARIO SUELTO

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	10000.000	10000.000	10000.000
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	18340.000	18255.000	18350.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	8340.000	8255.000	8350.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm ³	5560.000	5560.000	5560.000
PESO UNITARIO Gr/Cm ³	1.500	1.485	1.502
PESO UNITARIO HUMEDO KG/M ³		1496	
PESO UNITARIO SECO KG/M ³ ,		1496	

2.2. PESO UNITARIO COMPACTADO

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	10000.000	10000.000	10000.000
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	19375.000	19295.000	19330.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	9375.000	9295.000	9330.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm ³	5560.000	5560.000	5560.000
PESO UNITARIO Gr/Cm ³	1.686	1.672	1.678
PESO UNITARIO HUMEDO KG/M ³		1679	
PESO UNITARIO SECO KG/M ³ ,		1679	



Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura
Laboratorio de Construcciones
Av. Jorge Basadre SN (Ciudad Universitaria)



PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN AGREGADOS FINO Y GRUESO PARA DISEÑO DE MEZCLAS

TESISTA : QUENTA FLORES, Darwin
 TESIS : EFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
 CANTERA : Cutimbo
 MUESTRA : Proporcionado por el tesista
 DISEÑO : $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

I.- DATOS

S	PESO DE LA MUESTRA DE ARENA SUPERFICIALMENTE SECA (gr.)	500.00
B	PESO DEL PICNOMETRO + PESO DEL AGUA (gr.)	707.15
C	PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA + PESO DEL PICNOMETRO + PESO DEL AGUA (gr.)	1010.03
A	PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO (gr.)	478.04

II.- RESULTADOS

1	PESO ESPECIFICO APARENTE $(A/(B+S-C))$	2.43
2	PESO ESPECIFICO APARENTE (SSS)	2.54
3	PORCENTAJE DE ABSORCION: $\%ABS((S-A)/A)$	4.59

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

I.- DATOS

A	PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (gr.)	1676.71
S	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (gr.)	1725.94
	PESO DE LA CANASTILLA SUMERGIDA (gr.)	176.20
C	PESO DE LA CANASTILLA SUMERGIDA + MUESTRA SSS SUMERGIDA (gr.)	1227.12
	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA SUMERGIDA EN AGUA (gr.)	1050.92

II.- RESULTADOS

1	PESO ESPECIFICO APARENTE $(A/(S-C))$	2.48
2	PESO ESPECIFICO APARENTE (SSS)	2.56
3	PORCENTAJE DE ABSORCION: $\%ABS(S-A)/A$	2.94



Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura
 Laboratorio de Construcciones
Av. Jorge Basadre S/N (Ciudad Universitaria)



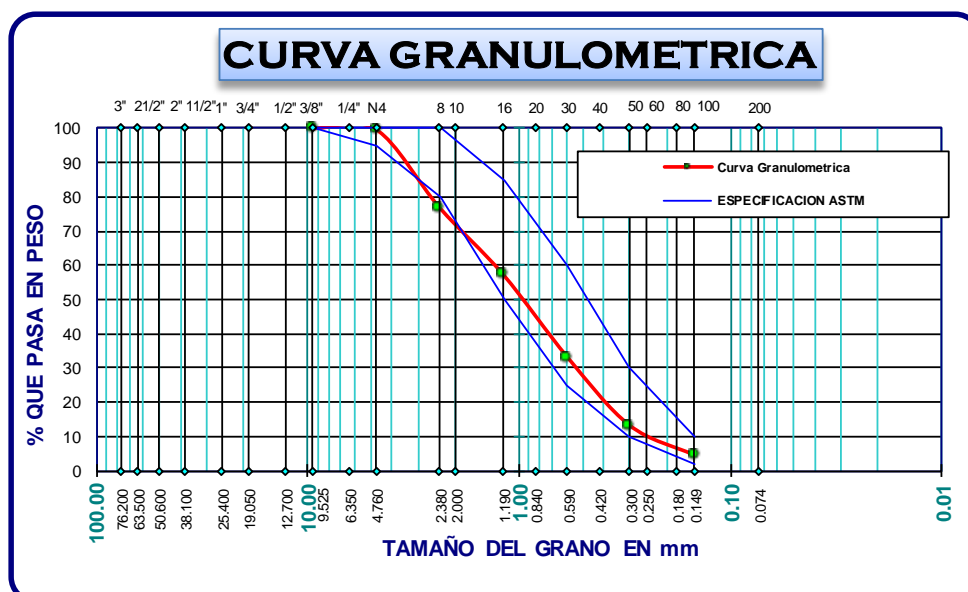
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)
ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487)

TESISTA : QUENTA FLORES, Darwin
 TESIS : EFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
 CANTERA : Cutimbo
 MUESTRA : Proporcionado por el tesista
 DISEÑO : F'c = 210 kg/cm²

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ASTM	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						P.L. P.S. 1000.00
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525					100	
1/4"	6.350						
No4	4.760	2.83	0.28	0.28	99.72	95	
No8	2.380	228.26	22.85	23.13	76.87	80	100
No10	2.000						
No16	1.190	195.45	19.57	42.70	57.30	50	85
No20	0.840						
No30	0.590	241.73	24.20	66.90	33.10	25	60
No40	0.420						
No50	0.300	198.55	19.88	86.77	13.23	10	30
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	86.32	8.64	95.41	4.59	2	10
No200	0.074	30.51	3.05	98.47	1.53		
BASE		15.31	1.53	100.00	0.00		
TOTAL		998.96	100.00				
% PERDIDA		0.1%					

MODULO DE FINEZA : 3.15

El modulo de fineza debe de estar dentro de los limites de 2.35 - 3.15, no debiendo exceders e el limite en mas o menos 0.2 Max 3.35





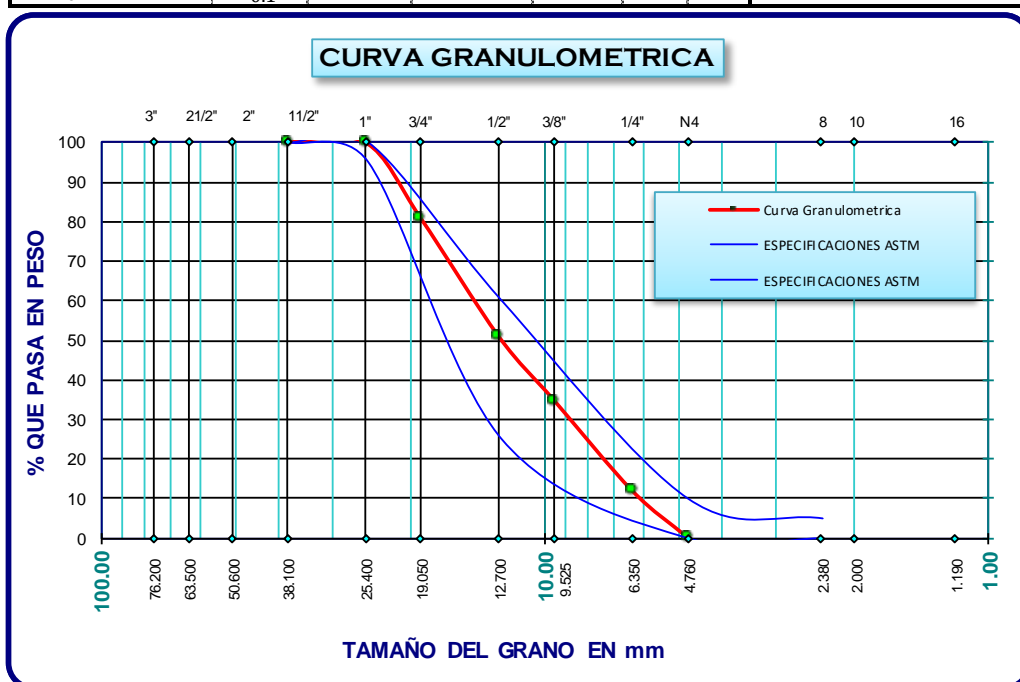
Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura
 Laboratorio de Construcciones
Av. Jorge Basadre S/N (Ciudad Universitaria)



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)
ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487)

TESISTA : QUENTA FLORES, Darwin
 TESIS EFECTO DEL REICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
 CANTERA : Cutimbo
 MUESTRA : Proporcionado por el tesista
 DISEÑO : F'c = 210 kg/cm2

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ASTM C-33	TAMAÑO MAXIMO: 1"
3"	76.200						P.M 10010.00 P.I 10000.00
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	95 100	
3/4"	19.050	1915.00	19.13	19.13	80.87	100	
1/2"	12.700	2995.00	29.92	49.05	50.95	25 60	
3/8"	9.525	1615.00	16.13	65.18	34.82		
1/4"	6.350						
No4	4.760	3470.00	34.67	99.85	0.15	0 10	
No8	2.380						MODULO DE FINEZA: 6.84 OBS: TAMIZAR POR LA MALLA N° 4 PARA SEPARAR EL AG. GRUESO Y FINO
No10	2.000						
No16	1.190						
No20	0.840						
No30	0.590						
No40	0.420						
No50	0.300						
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149						
No200	0.074						
BASE		15.00	0.15	100.00	0.00		
TOTAL		10010.00	100.00				
% PERDIDA		-0.1					



Anexo 5. Resultado de los ensayos del concreto



Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura
 Laboratorio de Construcciones
Av. Jorge Basadre S/N (Ciudad Universitaria)



MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO
ENSAYOS ESTANDAR ASTM C 39

TESISTA : QUENTA FLORES, Darwin
 TESIS : EFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
 MUESTRA : Proporcionado por el tesista

Nº	Especimen	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	% de fibras PET	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Rotura (kg/cm ²)	Diseño (kg/cm ²)	% Resistencia	Resistencia Promedio
1	M1	31/07/2019	07/08/2019	7	0%	78.07	14130	180.99	210	86.19%	
2	M2	31/07/2019	07/08/2019	7	0%	80.12	14870	185.60	210	88.38%	
3	M3	31/07/2019	07/08/2019	7	0%	79.33	14570	183.67	210	87.46%	
4	M4	31/07/2019	07/08/2019	7	0%	80.44	14330	178.15	210	84.84%	181.91
5	M5	31/07/2019	07/08/2019	7	0%	78.54	14540	185.13	210	88.16%	
6	M6	31/07/2019	07/08/2019	7	0%	80.44	14310	177.91	210	84.72%	
7	M7	31/07/2019	14/08/2019	14	0%	79.33	16120	203.21	210	96.77%	
8	M8	31/07/2019	14/08/2019	14	0%	79.33	15910	200.56	210	95.51%	
9	M9	31/07/2019	14/08/2019	14	0%	78.54	15830	201.55	210	95.98%	
10	M10	31/07/2019	14/08/2019	14	0%	78.70	15710	199.63	210	95.06%	202.19
11	M11	31/07/2019	14/08/2019	14	0%	78.23	16110	205.94	210	98.07%	
12	M12	31/07/2019	14/08/2019	14	0%	78.85	15950	202.27	210	96.32%	
13	M13	31/07/2019	28/08/2019	28	0%	78.54	17800	226.64	210	107.92%	
14	M14	31/07/2019	28/08/2019	28	0%	78.70	18080	229.74	210	109.40%	
15	M15	31/07/2019	28/08/2019	28	0%	78.54	18110	230.58	210	109.80%	
16	M16	31/07/2019	28/08/2019	28	0%	78.70	18040	229.23	210	109.16%	228.90
17	M17	31/07/2019	28/08/2019	28	0%	78.23	18010	230.23	210	109.63%	
18	M18	31/07/2019	28/08/2019	28	0%	78.85	17900	227.00	210	108.10%	
19	M2-1	01/08/2019	08/08/2019	7	2%	78.54	13490	171.76	210	81.8%	
20	M2-2	01/08/2019	08/08/2019	7	2%	78.23	13560	173.34	210	82.5%	
21	M2-3	01/08/2019	08/08/2019	7	2%	79.01	13960	176.68	210	84.1%	
22	M2-4	01/08/2019	08/08/2019	7	2%	80.44	14300	177.78	210	84.7%	175.43
23	M2-5	01/08/2019	08/08/2019	7	2%	78.54	14200	180.80	210	86.1%	
24	M2-6	01/08/2019	08/08/2019	7	2%	80.44	13850	172.19	210	82.0%	
25	M2-7	01/08/2019	15/08/2019	14	2%	80.12	16470	205.57	210	97.89%	
26	M2-8	01/08/2019	15/08/2019	14	2%	78.70	16280	206.87	210	98.51%	
27	M2-9	01/08/2019	15/08/2019	14	2%	78.54	16250	206.90	210	98.52%	
28	M2-10	01/08/2019	15/08/2019	14	2%	80.12	15910	198.58	210	94.56%	204.97
29	M2-11	01/08/2019	15/08/2019	14	2%	78.70	15950	202.68	210	96.51%	
30	M2-12	01/08/2019	15/08/2019	14	2%	78.85	16500	209.25	210	99.64%	
31	M2-13	01/08/2019	29/08/2019	28	2%	78.54	18180	231.47	210	110.23%	
32	M2-14	01/08/2019	29/08/2019	28	2%	78.85	18910	239.81	210	114.19%	
33	M2-15	01/08/2019	29/08/2019	28	2%	78.38	18140	231.43	210	110.20%	
34	M2-16	01/08/2019	29/08/2019	28	2%	78.54	18460	235.04	210	111.92%	234.84
35	M2-17	01/08/2019	29/08/2019	28	2%	78.38	18400	234.75	210	111.78%	
36	M2-18	01/08/2019	29/08/2019	28	2%	78.85	18650	236.51	210	112.62%	
37	M4-1	01/08/2019	08/08/2019	7	4%	78.54	11170	142.22	210	67.72%	
38	M4-2	01/08/2019	08/08/2019	7	4%	78.38	11340	144.67	210	68.89%	
39	M4-3	01/08/2019	08/08/2019	7	4%	78.85	11530	146.22	210	69.63%	
40	M4-4	01/08/2019	08/08/2019	7	4%	80.12	11510	143.66	210	68.41%	144.69
41	M4-5	01/08/2019	08/08/2019	7	4%	78.85	12050	152.81	210	72.77%	
42	M4-6	01/08/2019	08/08/2019	7	4%	80.12	11100	138.54	210	65.97%	
43	M4-7	01/08/2019	15/08/2019	14	4%	78.70	14030	178.28	210	84.89%	
44	M4-8	01/08/2019	15/08/2019	14	4%	78.85	13820	175.26	210	83.46%	
45	M4-9	01/08/2019	15/08/2019	14	4%	79.01	13560	171.62	210	81.72%	
46	M4-10	01/08/2019	15/08/2019	14	4%	78.54	13360	170.10	210	81.00%	173.46
47	M4-11	01/08/2019	15/08/2019	14	4%	78.54	13900	176.98	210	84.28%	
48	M4-12	01/08/2019	15/08/2019	14	4%	80.12	13500	168.50	210	80.24%	



MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO
ENSAYOS ESTANDAR ASTM C 39

TESISTA : QUENTA FLORES, Darwin
TESIS : EFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
MUESTRA : Proporcionado por el tesista

Nº	Especimen	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	% de fibras PET	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Rotura (kg/cm ²)	Diseño (kg/cm ²)	% Resistencia	Resistencia Promedio
49	M4-13	01/08/2019	29/08/2019	28	4%	78.54	17100	217.724	210	103.68%	
50	M4-14	01/08/2019	29/08/2019	28	4%	78.70	16660	211.698	210	100.81%	
51	M4-15	01/08/2019	29/08/2019	28	4%	78.54	16760	213.395	210	101.62%	
52	M4-16	01/08/2019	29/08/2019	28	4%	78.54	16700	212.631	210	101.25%	214.55
53	M4-17	01/08/2019	29/08/2019	28	4%	78.23	16750	214.123	210	101.96%	
54	M4-18	01/08/2019	29/08/2019	28	4%	78.54	17100	217.724	210	103.68%	
55	M6-1	05/08/2019	12/08/2019	7	6%	78.54	10110	128.72	210	61.30%	
56	M6-2	05/08/2019	12/08/2019	7	6%	78.23	10310	131.80	210	62.76%	
57	M6-3	05/08/2019	12/08/2019	7	6%	76.98	9790	127.18	210	60.56%	
58	M6-4	05/08/2019	12/08/2019	7	6%	80.12	10350	129.18	210	61.52%	129.27
59	M6-5	05/08/2019	12/08/2019	7	6%	78.23	9590	122.59	210	58.38%	
60	M6-6	05/08/2019	12/08/2019	7	6%	80.44	10950	136.13	210	64.83%	
61	M6-7	05/08/2019	19/08/2019	14	6%	78.23	12100	154.68	210	73.66%	
62	M6-8	05/08/2019	19/08/2019	14	6%	78.54	12010	152.92	210	72.82%	
63	M6-9	05/08/2019	19/08/2019	14	6%	78.07	12130	155.37	210	73.99%	
64	M6-10	05/08/2019	19/08/2019	14	6%	80.12	12020	150.03	210	71.44%	154.31
65	M6-11	05/08/2019	19/08/2019	14	6%	80.28	12880	160.44	210	76.40%	
66	M6-12	05/08/2019	19/08/2019	14	6%	78.85	12020	152.43	210	72.59%	
67	M6-13	05/08/2019	02/09/2019	28	6%	78.54	14860	189.20	210	90.10%	
68	M6-14	05/08/2019	02/09/2019	28	6%	78.85	15020	190.48	210	90.70%	
69	M6-15	05/08/2019	02/09/2019	28	6%	78.23	14810	189.32	210	90.15%	
70	M6-16	05/08/2019	02/09/2019	28	6%	78.54	14420	183.60	210	87.43%	188.48
71	M6-17	05/08/2019	02/09/2019	28	6%	78.23	15010	191.88	210	91.37%	
72	M6-18	05/08/2019	02/09/2019	28	6%	78.23	14580	186.38	210	88.75%	
73	M8-1	05/08/2019	12/08/2019	7	8%	78.54	9070	115.48	210	54.99%	
74	M8-2	05/08/2019	12/08/2019	7	8%	80.12	9900	123.57	210	58.84%	
75	M8-3	05/08/2019	12/08/2019	7	8%	78.23	8900	113.77	210	54.18%	
76	M8-4	05/08/2019	12/08/2019	7	8%	80.12	9750	121.69	210	57.95%	119.54
77	M8-5	05/08/2019	12/08/2019	7	8%	78.85	9450	119.84	210	57.07%	
78	M8-6	05/08/2019	12/08/2019	7	8%	79.01	9710	122.89	210	58.52%	
79	M8-7	05/08/2019	19/08/2019	14	8%	78.54	11320	144.13	210	68.63%	
80	M8-8	05/08/2019	19/08/2019	14	8%	78.54	11470	146.04	210	69.54%	
81	M8-9	05/08/2019	19/08/2019	14	8%	78.70	11960	151.98	210	72.37%	
82	M8-10	05/08/2019	19/08/2019	14	8%	78.54	11350	144.51	210	68.82%	147.46
83	M8-11	05/08/2019	19/08/2019	14	8%	80.12	12010	149.90	210	71.38%	
84	M8-12	05/08/2019	19/08/2019	14	8%	79.01	11710	148.21	210	70.57%	
85	M8-13	05/08/2019	02/09/2019	28	8%	78.70	14100	179.17	210	85.32%	
86	M8-14	05/08/2019	02/09/2019	28	8%	79.01	14710	186.17	210	88.65%	
87	M8-15	05/08/2019	02/09/2019	28	8%	78.54	14200	180.80	210	86.10%	
88	M8-16	05/08/2019	02/09/2019	28	8%	78.54	13900	176.98	210	84.28%	182.29
89	M8-17	05/08/2019	02/09/2019	28	8%	78.23	14600	186.64	210	88.88%	
90	M8-18	05/08/2019	02/09/2019	28	8%	78.54	14450	183.98	210	87.61%	



Universidad Nacional del Altiplano
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura
 Laboratorio de Construcciones
Av. Jorge Basadre S/N (Ciudad Universitaria)



**RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS
 CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO
 ENSAYOS ESTANDAR ASTM C 78**

TESISTA : QUENTA FLORES, Darwin
 TESIS : EFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO
 MUESTRA : Proporcionado por el tesista

Nº	Descripción	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	Base (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	Fuerza Lectura (kg)	Resistencia a (kg/cm ²)	Resistencia Promedio (kg/cm ²)
1	V1	31/07/2019	28/08/2019	28	14.95	15.00	50.00	1624.40	24.15	
2	V2	31/07/2019	28/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	1471.60	21.80	
3	V3	31/07/2019	28/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	1526.00	22.61	23.84
4	V4	31/07/2019	28/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	1810.40	26.82	
5	V2-1	01/08/2019	29/08/2019	28	14.95	15.00	50.00	1888.50	28.07	
6	V2-2	01/08/2019	29/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	1825.30	27.04	
7	V2-3	01/08/2019	29/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	1940.60	28.75	27.62
8	V2-4	01/08/2019	29/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	1798.00	26.64	
9	V4-1	01/08/2019	29/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	1964.50	29.10	
10	V4-2	01/08/2019	29/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	1978.50	29.31	
11	V4-3	01/08/2019	29/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	2010.20	29.78	29.60
12	V4-4	01/08/2019	29/08/2019	28	15.00	15.00	50.00	2040.00	30.22	
13	V6-1	05/08/2019	02/09/2019	28	15.00	15.00	50.00	2166.30	32.09	
14	V6-2	05/08/2019	02/09/2019	28	15.00	15.00	50.00	2261.80	33.51	
15	V6-3	05/08/2019	02/09/2019	28	15.00	15.00	50.00	2178.20	32.27	32.62
16	V6-4	05/08/2019	02/09/2019	28	15.00	15.00	50.00	2201.20	32.61	
17	V8-1	05/08/2019	02/09/2019	28	15.00	15.00	50.00	1855.10	27.48	
18	V8-2	05/08/2019	02/09/2019	28	15.00	15.00	50.00	2020.00	29.93	28.58
19	V8-3	05/08/2019	02/09/2019	28	15.00	15.00	50.00	1952.00	28.92	
20	V8-4	05/08/2019	02/09/2019	28	15.00	15.00	50.00	1890.60	28.01	

OBSERVACIONES: Los respectivos especímenes y datos informativos fueron proporcionados por el tesista.

Anexo 6. ASTM C143: Método de ensayo normalizado para asentamiento de concreto de cemento hidráulico



Designation: C143/C143M – 15

Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C143/C143M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers determination of slump of hydraulic-cement concrete, both in the laboratory and in the field.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.)²*

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*.³
- C31/C31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
- C138/C138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
- C172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete

¹This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.60 on Testing Fresh Concrete.

Current edition approved June 15, 2015. Published August 2015. Originally approved in 1922. Last previous edition approved in 2012 as C143/C143M – 12. DOI: 10.1520/C0143_C0143M-15

²Section on Safety Precautions, Manual of Aggregate and Concrete Testing, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.02.

³For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- C173/C173M Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method
- C231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method
- C670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- D638 Test Method for Tensile Properties of Plastics

3. Summary of Test Method

3.1 A sample of freshly mixed concrete is placed and compacted by rodding in a mold shaped as the frustum of a cone. The mold is raised, and the concrete allowed to subside. The vertical distance between the original and displaced position of the center of the top surface of the concrete is measured and reported as the slump of the concrete.

4. Significance and Use

4.1 This test method is intended to provide the user with a procedure to determine slump of plastic hydraulic-cement concretes.

NOTE 1—This test method was originally developed to provide a technique to monitor the consistency of unhardened concrete. Under laboratory conditions, with strict control of all concrete materials, the slump is generally found to increase proportionally with the water content of a given concrete mixture, and thus to be inversely related to concrete strength. Under field conditions, however, such a strength relationship is not clearly and consistently shown. Care should therefore be taken in relating slump results obtained under field conditions to strength.

4.2 This test method is considered applicable to plastic concrete having coarse aggregate up to 1½ in. [37.5 mm] in size. If the coarse aggregate is larger than 1½ in. [37.5 mm] in size, the test method is applicable when it is performed on the fraction of concrete passing a 1½-in. [37.5-mm] sieve, with the larger aggregate being removed in accordance with the section titled “Additional Procedure for Large Maximum Size Aggregate Concrete” in Practice C172.

4.3 This test method is not considered applicable to non-plastic and non-cohesive concrete.

NOTE 2—Concretes having slumps less than ½ in. [15 mm] may not be adequately plastic and concretes having slumps greater than about 9 in. [230 mm] may not be adequately cohesive for this test to have significance. Caution should be exercised in interpreting such results.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Fri Jan 8 17:00:16 EST 2016 1

Downloaded/printed by

Kathy Segala (KP Intercon, LLC) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

C143/C143M – 15

5. Apparatus

5.1 *Mold*—The test specimen shall be formed in a mold made of metal or plastic not readily attacked by the cement paste. The mold shall be sufficiently rigid to maintain the specified dimensions and tolerances during use, resistant to impact forces, and shall be non-absorbent. Metal molds shall have an average thickness of not less than 0.060 in. [1.5 mm] with no individual thickness measurement less than 0.045 in. [1.15 mm]. Plastic molds shall be ABS plastic or equivalent (Note 3) with a minimum average wall thickness of 0.125 in. [3 mm], with no individual thickness measurement less than 0.100 in. [2.5 mm]. The manufacturer or supplier shall certify the materials used in mold construction are in compliance with the requirements of this test method. The mold shall be in the form of the lateral surface of the frustum of a cone with the base 8 in. [200 mm] in diameter, the top 4 in. [100 mm] in diameter, and the height 12 in. [300 mm]. Individual diameters and heights shall be within $\pm 1/8$ in. [3 mm] of the prescribed dimensions. The base and the top shall be open and parallel to each other and at right angles to the axis of the cone. The mold shall be provided with foot pieces and handles similar to those shown in Fig. 1. The mold shall be constructed without a seam. The interior of the mold shall be relatively smooth and free from projections. The mold shall be free from dents, deformation, or adhered mortar. A mold which clamps to a nonabsorbent base plate is acceptable instead of the one illustrated, provided the clamping arrangement is such that it

can be fully released without movement of the mold and the base is large enough to contain all of the slumped concrete in an acceptable test.

NOTE 3—ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) plastic exhibits the following minimum mechanical properties:

Tensile modulus of elasticity, at 73 °F [23 °C]	320 000 psi	[2206 MPa]
Tensile strength (Test Method D638)	5670 psi	[39 MPa]
Percent Elongation at Break, at 73 °F [23 °C]	40%	

5.1.1 Check and record conformance to the mold’s specified dimensions when it is purchased or first placed in service and at least annually thereafter.

5.2 *Tamping Rod*—A round, smooth, straight steel rod, with a $5/8$ in. [16 mm] $\pm 1/16$ in. [2 mm] diameter. The length of the tamping rod shall be at least 4 in. [100 mm] greater than the depth of the mold in which rodding is being performed, but not greater than 24 in. [600 mm] in overall length (Note 4). The rod shall have the tamping end or both ends rounded to a hemispherical tip of the same diameter as the rod.

NOTE 4—A rod length of 16 in. [400 mm] to 24 in. [600 mm] meets the requirements of the following: Practice C31/C31M, Test Method C138/C138M, Test Method C143/C143M, Test Method C173/C173M, and Test Method C231.

5.3 *Measuring Device*—A ruler, metal roll-up measuring tape, or similar rigid or semi-rigid length measuring instrument marked in increments of $1/4$ in. [5 mm] or smaller. The instrument length shall be at least 12 in. [300 mm].

5.4 *Scoop*—of a size large enough so each amount of concrete obtained from the sampling receptacle is representative and small enough so it is not spilled during placement in the mold.

6. Sample

6.1 The sample of concrete from which test specimens are made shall be representative of the entire batch. It shall be obtained in accordance with Practice C172.

7. Procedure

7.1 Dampen the mold and place it on a rigid, flat, level, moist, nonabsorbent surface, free of vibration, and that is large enough to contain all of the slumped concrete. It shall be held firmly in place during filling and perimeter cleaning by the operator standing on the two foot pieces or by a clamping arrangement to a base plate as described in 5.1. From the sample of concrete obtained in accordance with Section 6, immediately fill the mold in three layers, each approximately one third the volume of the mold (See Note 5). Place the concrete in the mold using the scoop described in 5.4. Move the scoop around the perimeter of the mold opening to ensure an even distribution of the concrete with minimal segregation.

NOTE 5—One third of the volume of the slump mold fills it to a depth of $2\frac{3}{8}$ in. [70 mm]; two thirds of the volume fills it to a depth of $6\frac{1}{8}$ in. [160 mm].

7.2 Rod each layer 25 times uniformly over the cross section with the rounded end of the rod. For the bottom layer, this will necessitate inclining the rod slightly and making

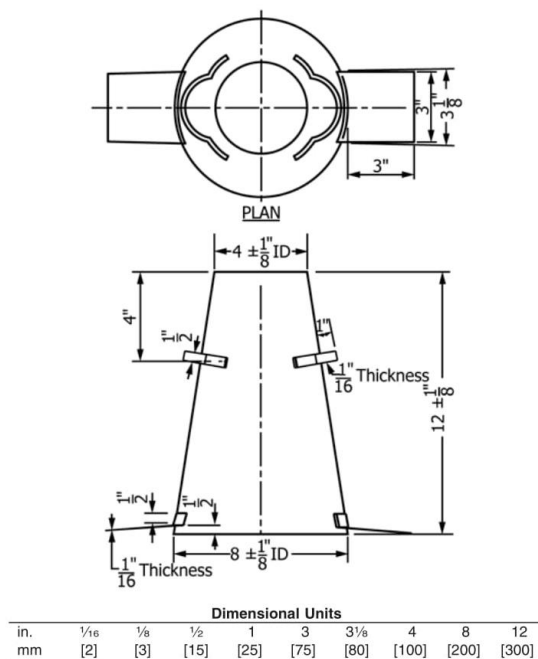


FIG. 1 Mold for Slump Test

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Fri Jan 8 17:00:16 EST 2016
 Downloaded/printed by
 Kathy Segala (KP Intercon, LLC) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

C143/C143M – 15

approximately half of the strokes near the perimeter, and then progressing with vertical strokes spirally toward the center. Rod the bottom layer throughout its depth. For each upper layer, allow the rod to penetrate through the layer being rodded and into the layer below approximately 1 in. [25 mm].

7.3 In filling and rodding the top layer, heap the concrete above the mold before rodding is started. If the rodding operation results in subsidence of the concrete below the top edge of the mold, add additional concrete to keep an excess of concrete above the top of the mold at all times. After the top layer has been rodded, strike off the surface of the concrete by means of a screeding and rolling motion of the tamping rod. Continue to hold the mold down firmly and remove concrete from the area surrounding the base of the mold to preclude interference with the movement of slumping concrete. Remove the mold immediately from the concrete by raising it carefully in a vertical direction. Raise the mold a distance of 12 in. [300 mm] in 5 ± 2 s by a steady upward lift with no lateral or torsional motion. Complete the entire test from the start of the filling through removal of the mold without interruption and complete it within an elapsed time of 2½ min.

7.4 Immediately measure the slump by determining the vertical difference between the top of the mold and the displaced original center of the top surface of the specimen. If a decided falling away or shearing off of concrete from one side or portion of the mass occurs (Note 6), disregard the test and make a new test on another portion of the sample.

NOTE 6—If two consecutive tests on a sample of concrete show a falling away or shearing off of a portion of the concrete from the mass of the specimen, the concrete probably lacks necessary plasticity and cohesiveness for the slump test to be applicable.

8. Report

8.1 Report the slump in terms of inches [millimetres] to the nearest ¼ in. [5 mm] of subsidence of the specimen during the test.

9. Precision and Bias⁴

9.1 *Precision*—The estimates of precision for this test method are based upon results from tests conducted in Fayetteville, Arkansas by 15 technicians from 14 laboratories representing 3 states. All tests at 3 different slump ranges, from 1.0 in. [25 mm] to 6.5 in. [160 mm], were performed using one load of truck-mixed concrete. The concrete was delivered and tested at a low slump, with water then being added and mixed into the remaining concrete to independently produce moderate and finally high-slump concrete. The concrete mixture that used a No. 67 crushed limestone aggregate and a washed river sand, contained 500 lb of cementitious materials per cubic yard [297 kg of cementitious material per cubic metre]. The 500 lb [227 kg] were equally divided between a C150, Type I/II cement and a Class C fly ash. A double dosage of a chemical retarder was used in an attempt to minimize slump losses and

⁴The test data used to develop this precision statement were based on tests performed in September 1997. Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:C09-1022.

maintain workability of the concrete. Concrete temperatures ranged from 86 to 93 °F [30 to 34 °C]. Slump losses averaged 0.68 in. [17 mm] during the 20 min required to perform a series of 6 tests at 1 slump range. Testing was performed alternately using metal and plastic molds, which were determined to produce comparable results. Precision data thus applies to both metal and plastic molds. A total of 270 slump tests were performed.

9.1.1 *Inch-Pound [SI]*—The data used to develop the precision statement were obtained using metric units (millimetres). The precision values shown in inch-pound units are conversions from the millimetre measurements, which were recorded to the nearest 1 mm.

9.1.2 *Measure of Variability*—The standard deviation was determined to be the most consistent measure of variability and was found to vary with the slump value.

9.1.3 *Single-Operator Precision*—The single-operator standard deviation represented by (1s) is shown in Table 1 by average slump values. The reported results for the replicate readings apply to tests conducted by the same operator performing successive tests, one immediately following the other. Acceptable results of two properly conducted tests by the same operator on the same material (Note 7) will not differ from each other by more than the (d2s) value of the last column of Table 1 for the appropriate slump value and single-operator precision.

9.1.4 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory standard deviation represented by (1s) is shown in Table 1 by average slump values. The reported results for the replicate readings apply to tests conducted by different operators from different laboratories performing tests less than 4 min apart. Therefore, acceptable results of two properly conducted slump tests on the same material (Note 7) by two different laboratories will not differ from each other by more than the (d2s) value of the last column of Table 1 for the appropriate slump value and multilaboratory precision.

NOTE 7—“Same materials,” is used to mean freshly mixed concrete from one batch.

9.2 *Bias*—This test method has no bias since slump is defined only in terms of this test method.

10. Keywords

10.1 concrete; concrete slump; cone; consistency; plasticity; slump; workability

TABLE 1 Precision

Slump and Type Index	Standard Deviation (1s) ^A		Acceptable Range of Two Results (d2s) ^A	
	in.	[mm]	in.	[mm]
<i>Single-Operator Precision:</i>				
Slump 1.2 in. [30 mm]	0.23	[6]	0.65	[17]
Slump 3.4 in. [85 mm]	0.38	[9]	1.07	[25]
Slump 6.5 in. [160 mm]	0.40	[10]	1.13	[28]
<i>Multilaboratory Precision:</i>				
Slump 1.2 in. [30 mm]	0.29	[7]	0.82	[20]
Slump 3.4 in. [85 mm]	0.39	[10]	1.10	[28]
Slump 6.5 in. [160 mm]	0.53	[13]	1.50	[37]

^AThese numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C670.



SUMMARY OF CHANGES

Committee C09 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (C143/C143M – 12) that may impact the use of this standard. (Approved June 15, 2015.)

(1) Section 5.1.1.1 was deleted.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

Anexo 7. ASTM C39: Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: C39/C39M – 18

Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation C39/C39M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers determination of compressive strength of cylindrical concrete specimens such as molded cylinders and drilled cores. It is limited to concrete having a density in excess of 800 kg/m³ [50 lb/ft³].

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* (**Warning**—Means should be provided to contain concrete fragments during sudden rupture of specimens. Tendency for sudden rupture increases with increasing concrete strength and it is more likely when the testing machine is relatively flexible. The safety precautions given in the Manual are recommended.)

1.4 The text of this standard references notes which provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

1.5 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Jan. 1, 2018. Published February 2018. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2017 as C39/C39M – 17b. DOI: 10.1520/C0039_C0039M-18.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- C31/C31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
- C42/C42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
- C125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- C192/C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- C617/C617M Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens
- C670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- C873/C873M Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds
- C943 Practice for Making Test Cylinders and Prisms for Determining Strength and Density of Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory
- C1077 Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation
- C1176/C1176M Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table
- C1231/C1231M Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Cylindrical Concrete Specimens
- C1435/C1435M Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer
- C1604/C1604M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores of Shotcrete
- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Wed Jul 18 12:14:39 EDT 2018 1
Downloaded/printed by

Terracon (Terracon) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

 C39/C39M – 18

E74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines Manual of Aggregate and Concrete Testing

C943, C1176/C1176M, C1231/C1231M, and C1435/C1435M, and Test Methods C42/C42M, C873/C873M, and C1604/C1604M.

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this practice, refer to Terminology C125.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *bearing block, n*—steel piece to distribute the load from the testing machine to the specimen.

3.2.2 *lower bearing block, n*—steel piece placed under the specimen to distribute the load from the testing machine to the specimen.

3.2.2.1 *Discussion*—The lower bearing block provides a readily machinable surface for maintaining the specified bearing surface. The lower bearing block may also be used to adapt the testing machine to various specimen heights. The lower bearing block is also referred to as *bottom block, plain block, and false platen*.

3.2.3 *platen, n*—primary bearing surface of the testing machine.

3.2.3.1 *Discussion*—The platen is also referred to as the testing machine *table*.

3.2.4 *spacer, n*—steel piece used to elevate the lower bearing block to accommodate test specimens of various heights.

3.2.4.1 *Discussion*—Spacers are not required to have hardened bearing faces because spacers are not in direct contact with the specimen or the retainers of unbonded caps.

3.2.5 *upper bearing block, n*—steel assembly suspended above the specimen that is capable of tilting to bear uniformly on the top of the specimen.

3.2.5.1 *Discussion*—The upper bearing block is also referred to as the *spherically seated block* and the *suspended block*.

4. Summary of Test Method

4.1 This test method consists of applying a compressive axial load to molded cylinders or cores at a rate which is within a prescribed range until failure occurs. The compressive strength of the specimen is calculated by dividing the maximum load attained during the test by the cross-sectional area of the specimen.

5. Significance and Use

5.1 Care must be exercised in the interpretation of the significance of compressive strength determinations by this test method since strength is not a fundamental or intrinsic property of concrete made from given materials. Values obtained will depend on the size and shape of the specimen, batching, mixing procedures, the methods of sampling, molding, and fabrication and the age, temperature, and moisture conditions during curing.

5.2 This test method is used to determine compressive strength of cylindrical specimens prepared and cured in accordance with Practices C31/C31M, C192/C192M, C617/C617M,

5.3 The results of this test method are used as a basis for quality control of concrete proportioning, mixing, and placing operations; determination of compliance with specifications; control for evaluating effectiveness of admixtures; and similar uses.

5.4 The individual who tests concrete cylinders for acceptance testing shall meet the concrete laboratory technician requirements of Practice C1077, including an examination requiring performance demonstration that is evaluated by an independent examiner.

NOTE 1—Certification equivalent to the minimum guidelines for ACI Concrete Laboratory Technician, Level 1 or ACI Concrete Strength Testing Technician will satisfy this requirement.

6. Apparatus

6.1 *Testing Machine*—The testing machine shall be of a type having sufficient capacity and capable of providing the rates of loading prescribed in 8.5.

6.1.1 Verify the accuracy of the testing machine in accordance with Practices E4, except that the verified loading range shall be as required in 6.4. Verification is required:

6.1.1.1 Within 13 months of the last calibration,

6.1.1.2 On original installation or immediately after relocation,

6.1.1.3 Immediately after making repairs or adjustments that affect the operation of the force applying system or the values displayed on the load indicating system, except for zero adjustments that compensate for the mass of bearing blocks or specimen, or both, or

6.1.1.4 Whenever there is reason to suspect the accuracy of the indicated loads.

6.1.2 *Design*—The design of the machine must include the following features:

6.1.2.1 The machine must be power operated and must apply the load continuously rather than intermittently, and without shock. If it has only one loading rate (meeting the requirements of 8.5), it must be provided with a supplemental means for loading at a rate suitable for verification. This supplemental means of loading may be power or hand operated.

6.1.2.2 The space provided for test specimens shall be large enough to accommodate, in a readable position, an elastic calibration device which is of sufficient capacity to cover the potential loading range of the testing machine and which complies with the requirements of Practice E74.

NOTE 2—The types of elastic calibration devices most generally available and most commonly used for this purpose are the circular proving ring or load cell.

6.1.3 *Accuracy*—The accuracy of the testing machine shall be in accordance with the following provisions:

6.1.3.1 The percentage of error for the loads within the proposed range of use of the testing machine shall not exceed $\pm 1.0\%$ of the indicated load.

ASTM C39/C39M – 18

6.1.3.2 The accuracy of the testing machine shall be verified by applying five test loads in four approximately equal increments in ascending order. The difference between any two successive test loads shall not exceed one third of the difference between the maximum and minimum test loads.

6.1.3.3 The test load as indicated by the testing machine and the applied load computed from the readings of the verification device shall be recorded at each test point. Calculate the error, E , and the percentage of error, E_p , for each point from these data as follows:

$$E = A - B \tag{1}$$

$$E_p = 100 A - B / B$$

where:

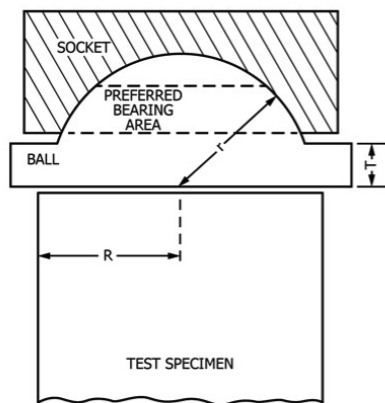
A = load, kN [lbf] indicated by the machine being verified, and

B = applied load, kN [lbf] as determined by the calibrating device.

6.1.3.4 The report on the verification of a testing machine shall state within what loading range it was found to conform to specification requirements rather than reporting a blanket acceptance or rejection. In no case shall the loading range be stated as including loads below the value which is 100 times the smallest change of load estimable on the load-indicating mechanism of the testing machine or loads within that portion of the range below 10 % of the maximum range capacity.

6.1.3.5 In no case shall the loading range be stated as including loads outside the range of loads applied during the verification test.

6.1.3.6 The indicated load of a testing machine shall not be corrected either by calculation or by the use of a calibration diagram to obtain values within the required permissible variation.



$$T \geq R - r$$

r = radius of spherical portion of upper bearing block

R = nominal radius of specimen

T = thickness of upper bearing block extending beyond the sphere

FIG. 1 Schematic Sketch of Typical Upper Bearing Block

6.2 *Bearing Blocks*—The upper and lower bearing blocks shall conform to the following requirements:

6.2.1 Bearing blocks shall be steel with hardened bearing faces (Note 3).

6.2.2 Bearing faces shall have dimensions at least 3 % greater than the nominal diameter of the specimen.

6.2.3 Except for the inscribed concentric circles described in 6.2.4.7, the bearing faces shall not depart from a plane by more than 0.02 mm [0.001 in.] along any 150 mm [6 in.] length for bearing blocks with a diameter of 150 mm [6 in.] or larger, or by more than 0.02 mm [0.001 in.] in any direction of smaller bearing blocks. New bearing blocks shall be manufactured within one-half of this tolerance.

NOTE 3—It is desirable that the bearing faces of bearing blocks have a Rockwell hardness at least 55 HRC as determined by Test Methods E18.

NOTE 4—Square bearing faces are permissible for the bearing blocks.

6.2.4 *Upper Bearing Block*—The upper bearing block shall conform to the following requirements:

6.2.4.1 The upper bearing block shall be spherically seated and the center of the sphere shall coincide with the center of the bearing face within ± 5 % of the radius of the sphere.

6.2.4.2 The ball and the socket shall be designed so that the steel in the contact area does not permanently deform when loaded to the capacity of the testing machine.

NOTE 5—The preferred contact area is in the form of a ring (described as *preferred bearing area*) as shown in Fig. 1.

6.2.4.3 Provision shall be made for holding the upper bearing block in the socket. The design shall be such that the bearing face can be rotated and tilted at least 4° in any direction.

6.2.4.4 If the upper bearing block is a two-piece design composed of a spherical portion and a bearing plate, a mechanical means shall be provided to ensure that the spherical portion is fixed and centered on the bearing plate.

6.2.4.5 The diameter of the sphere shall be at least 75 % of the nominal diameter of the specimen. If the diameter of the sphere is smaller than the diameter of the specimen, the portion of the bearing face extending beyond the sphere shall have a thickness not less than the difference between the radius of the sphere and radius of the specimen (see Fig. 1). The least dimension of the bearing face shall be at least as great as the diameter of the sphere.

6.2.4.6 The dimensions of the bearing face of the upper bearing block shall not exceed the following values:

Nominal Diameter of Specimen, mm [in.]	Maximum Diameter of Round Bearing Face, mm [in.]	Maximum Dimensions of Square Bearing Face, mm [in.]
50 [2]	105 [4]	105 by 105 [4 by 4]
75 [3]	130 [5]	130 by 130 [5 by 5]
100 [4]	165 [6.5]	165 by 165 [6.5 by 6.5]
150 [6]	255 [10]	255 by 255 [10 by 10]
200 [8]	280 [11]	280 by 280 [11 by 11]

6.2.4.7 If the diameter of the bearing face of the upper bearing block exceeds the nominal diameter of the specimen by more than 13 mm [0.5 in.], concentric circles not more than 0.8 mm [0.03 in.] deep and not more than 1 mm [0.04 in.] wide shall be inscribed on the face of upper bearing block to facilitate proper centering.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Wed Jul 18 12:14:39 EDT 2018 3
Downloaded/printed by
Terracon (Terracon) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

 C39/C39M – 18

6.2.4.8 At least every six months, or as specified by the manufacturer of the testing machine, clean and lubricate the curved surfaces of the socket and of the spherical portion of the upper bearing block. The lubricant shall be a petroleum-type oil such as conventional motor oil or as specified by the manufacturer of the testing machine.

NOTE 6—To ensure uniform seating, the upper bearing block is designed to tilt freely as it comes into contact with the top of the specimen. After contact, further rotation is undesirable. Friction between the socket and the spherical portion of the head provides restraint against further rotation during loading. Pressure-type greases can reduce the desired friction and permit undesired rotation of the spherical head and should not be used unless recommended by the manufacturer of the testing machine. Petroleum-type oil such as conventional motor oil has been shown to permit the necessary friction to develop.

6.2.5 *Lower Bearing Block*—The lower bearing block shall conform to the following requirements:

6.2.5.1 The lower bearing block shall be solid.

6.2.5.2 The top and bottom surfaces of the lower bearing block shall be parallel to each other.

6.2.5.3 The lower bearing block shall be at least 25 mm [1.0 in.] thick when new, and at least 22.5 mm [0.9 in.] thick after resurfacing.

6.2.5.4 The lower bearing block shall be fully supported by the platen of the testing machine or by any spacers used.

6.2.5.5 If the testing machine is designed that the platen itself is readily maintained in the specified surface condition, a lower bearing block is not required.

NOTE 7—The lower bearing block may be fastened to the platen of the testing machine.

NOTE 8—Inscribed concentric circles as described in 6.2.4.7 are optional on the lower bearing block.

6.3 *Spacers*—If spacers are used, the spacers shall be placed under the lower bearing block and shall conform to the following requirements:

6.3.1 Spacers shall be solid steel. One vertical opening located in the center of the spacer is permissible. The maximum diameter of the vertical opening is 19 mm [0.75 in.].

6.3.2 The top and bottom surfaces of the spacer shall be parallel to each other.

6.3.3 Spacers shall be fully supported by the platen of the test machine.

6.3.4 Spacers shall fully support the lower bearing block and any spacers above.

6.3.5 Spacers shall not be in direct contact with the specimen or the retainers of unbonded caps.

6.4 *Load Indication*—The testing machine shall be equipped with either a dial or digital load indicator.

6.4.1 The verified loading range shall not include loads less than 100 times the smallest change of load that can be read.

6.4.2 A means shall be provided that will record, or indicate until reset, the maximum load to an accuracy within 1.0 % of the load.

6.4.3 If the load is displayed on a dial, the graduated scale shall be readable to at least the nearest 0.1 % of the full scale load (Note 9). The dial shall be readable within 1.0 % of the indicated load at any given load level within the loading range. The dial pointer shall be of sufficient length to reach the graduation marks. The width of the end of the pointer shall not

exceed the clear distance between the smallest graduations. The scale shall be provided with a labeled graduation line load corresponding to zero load. Each dial shall be equipped with a zero adjustment located outside the dial case and accessible from the front of the machine while observing the zero mark and dial pointer.

NOTE 9—Readability is considered to be 0.5 mm [0.02 in.] along the arc described by the end of the pointer. If the spacing is between 1 and 2 mm [0.04 and 0.08 in.], one half of a scale interval is considered readable. If the spacing is between 2 and 3 mm [0.08 and 0.12 in.], one third of a scale interval is considered readable. If the spacing is 3 mm [0.12 in.] or more, one fourth of a scale interval is considered readable.

6.4.4 If the load is displayed in digital form, the numbers must be large enough to be read. The numerical increment shall not exceed 0.1 % of the full scale load of a given loading range. Provision shall be made for adjusting the display to indicate a value of zero when no load is applied to the specimen.

6.5 Documentation of the calibration and maintenance of the testing machine shall be in accordance with Practice C1077.

7. Specimens

7.1 Specimens shall not be tested if any individual diameter of a cylinder differs from any other diameter of the same cylinder by more than 2 %.

NOTE 10—This may occur when single use molds are damaged or deformed during shipment, when flexible single use molds are deformed during molding, or when a core drill deflects or shifts during drilling.

7.2 Prior to testing, neither end of test specimens shall depart from perpendicularity to the axis by more than 0.5° (approximately equivalent to 1 mm in 100 mm [0.12 in. in 12 in.]). The ends of compression test specimens that are not plane within 0.050 mm [0.002 in.] shall be sawed or ground to meet that tolerance, or capped in accordance with either Practice C617/C617M or, when permitted, Practice C1231/C1231M. The diameter used for calculating the cross-sectional area of the test specimen shall be determined to the nearest 0.25 mm [0.01 in.] by averaging two diameters measured at right angles to each other at about midheight of the specimen.

7.3 The number of individual cylinders measured for determination of average diameter is not prohibited from being reduced to one for each ten specimens or three specimens per day, whichever is greater, if all cylinders are known to have been made from a single lot of reusable or single-use molds which consistently produce specimens with average diameters within a range of 0.5 mm [0.02 in.]. When the average diameters do not fall within the range of 0.5 mm [0.02 in.] or when the cylinders are not made from a single lot of molds, each cylinder tested must be measured and the value used in calculation of the unit compressive strength of that specimen. When the diameters are measured at the reduced frequency, the cross-sectional areas of all cylinders tested on that day shall be computed from the average of the diameters of the three or more cylinders representing the group tested that day.

7.4 If the purchaser of the testing services or the specifier of the tests requests measurement of the specimen density, determine the specimen density before capping by either 7.4.1

C39/C39M – 18

(specimen dimension method) or 7.4.2 (submerged weighing method). For either method, use a balance or scale that is accurate to within 0.3 % of the mass being measured.

7.4.1 Remove any surface moisture with a towel and measure the mass of the specimen. Measure the length of the specimen to the nearest 1 mm [0.05 in.] at three locations spaced evenly around the circumference. Compute the average length and record to the nearest 1 mm [0.05 in.].

7.4.2 Remove any surface moisture with a towel and determine the mass of the specimen in air. Submerge the specimen in water at a temperature of $23.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$ [$73.5 \pm 3.5^\circ\text{F}$] for 15 ± 5 sec. Then, determine the apparent mass of the specimen while submerged under water.

7.5 When density determination is not required and the length to diameter ratio is less than 1.8 or more than 2.2, measure the length of the specimen to the nearest 0.05 D.

8. Procedure

8.1 Compression tests of moist-cured specimens shall be made as soon as practicable after removal from moist storage.

8.2 Test specimens shall be kept moist by any convenient method during the period between removal from moist storage and testing. They shall be tested in the moist condition.

8.3 Tolerances for specimen ages are as follows:

Test Age ^a	Permissible Tolerance
24 h	±0.5 h
3 days	±2 h
7 days	±6 h
28 days	±20 h
90 days	±2 days

^aFor test ages not listed, the test age tolerance is ±2.0% of the specified age.

8.3.1 Unless otherwise specified by the specifier of tests, for this test method the test age shall start at the beginning of casting specimens.

8.4 *Placing the Specimen*—Place the lower bearing block, with the hardened face up, on the table or platen of the testing machine. Wipe clean the bearing faces of the upper and lower bearing blocks, spacers if used, and of the specimen. If using unbonded caps, wipe clean the bearing surfaces of the retainers and center the unbonded caps on the specimen. Place the specimen on the lower bearing block and align the axis of the specimen with the center of thrust of the upper bearing block.

NOTE 11—Although the lower bearing block may have inscribed concentric circles to assist with centering the specimen, final alignment is made with reference to the upper bearing block.

8.4.1 *Zero Verification and Block Seating*—Prior to testing the specimen, verify that the load indicator is set to zero. In cases where the indicator is not properly set to zero, adjust the indicator (Note 12). After placing the specimen in the machine but prior to applying the load on the specimen, tilt the movable portion of the spherically seated block gently by hand so that the bearing face appears to be parallel to the top of the test specimen.

NOTE 12—The technique used to verify and adjust load indicator to zero will vary depending on the machine manufacturer. Consult your owner’s manual or compression machine calibrator for the proper technique.

8.4.2 *Verification of Alignment When Using Unbonded Caps*—If using unbonded caps, verify the alignment of the specimen after application of load, but before reaching 10 % of the anticipated specimen strength. Check to see that the axis of the cylinder does not depart from vertical by more than 0.5° (Note 13) and that the ends of the cylinder are centered within the retaining rings. If the cylinder alignment does not meet these requirements, release the load, and carefully recenter the specimen. Reapply load and recheck specimen centering and alignment. A pause in load application to check cylinder alignment is permissible.

NOTE 13—An angle of 0.5° is equal to a slope of approximately 1 mm in 100 mm [$1/8$ inches in 12 inches]

8.5 *Rate of Loading*—Apply the load continuously and without shock.

8.5.1 The load shall be applied at a rate of movement (platen to crosshead measurement) corresponding to a stress rate on the specimen of 0.25 ± 0.05 MPa/s [35 ± 7 psi/s] (see Note 14). The designated rate of movement shall be maintained at least during the latter half of the anticipated loading phase.

NOTE 14—For a screw-driven or displacement-controlled testing machine, preliminary testing will be necessary to establish the required rate of movement to achieve the specified stress rate. The required rate of movement will depend on the size of the test specimen, the elastic modulus of the concrete, and the stiffness of the testing machine.

8.5.2 During application of the first half of the anticipated loading phase, a higher rate of loading shall be permitted. The higher loading rate shall be applied in a controlled manner so that the specimen is not subjected to shock loading.

8.5.3 Make no adjustment in the rate of movement (platen to crosshead) as the ultimate load is being approached and the stress rate decreases due to cracking in the specimen.

8.6 Apply the compressive load until the load indicator shows that the load is decreasing steadily and the specimen displays a well-defined fracture pattern (Types 1 to 4 in Fig. 2). For a testing machine equipped with a specimen break detector, automatic shut-off of the testing machine is prohibited until the load has dropped to a value that is less than 95 % of the peak load. When testing with unbonded caps, a corner fracture similar to a Type 5 or 6 pattern shown in Fig. 2 may occur before the ultimate capacity of the specimen has been attained. Continue compressing the specimen until the user is certain that the ultimate capacity has been attained. Record the maximum load carried by the specimen during the test, and note the type of fracture pattern according to Fig. 2. If the fracture pattern is not one of the typical patterns shown in Fig. 2, sketch and describe briefly the fracture pattern. If the measured strength is lower than expected, examine the fractured concrete and note the presence of large air voids, evidence of segregation, whether fractures pass predominantly around or through the coarse aggregate particles, and verify end preparations were in accordance with Practice C617/C617M or Practice C1231/C1231M.

9. Calculation

9.1 Calculate the compressive strength of the specimen as follows:

SI units:

ASTM C39/C39M – 18

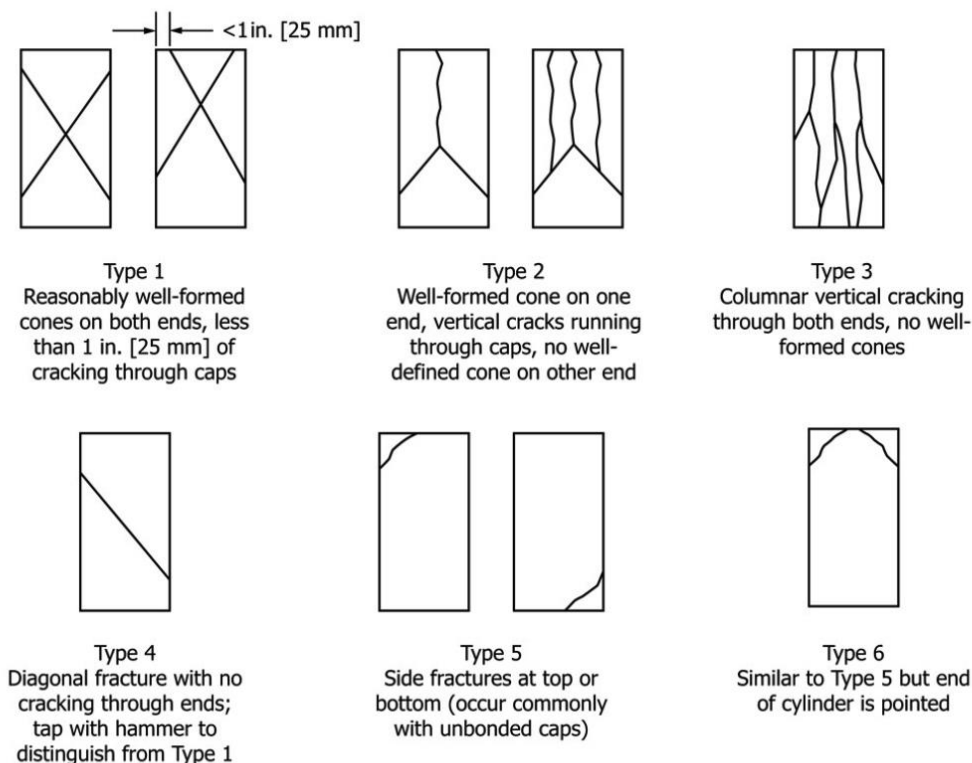


FIG. 2 Schematic of Typical Fracture Patterns

$$f_{cm} = \frac{4000P_{max}}{\pi D^2} \quad (2)$$

Inch-pound units:

$$f_{cm} = \frac{4P_{max}}{\pi D^2} \quad (3)$$

where:

f_{cm} = compressive strength, MPa [psi],
 P_{max} = maximum load, kN [lbf], and
 D = average measured diameter, mm [in.].

9.2 If the specimen length to diameter ratio is 1.75 or less, correct the result obtained in 9.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table:

L/D:	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor:	0.98	0.96	0.93	0.87

Use interpolation to determine correction factors for L/D values between those given in the table.

NOTE 15—Correction factors depend on various conditions such as moisture condition, strength level, and elastic modulus. Average values are given in the table. These correction factors apply to low-density concrete weighing between 1600 and 1920 kg/m³ [100 and 120 lb/ft³] and to normal-density concrete. They are applicable to concrete dry or soaked at the time of loading and for nominal concrete strengths from 14 to 42 MPa [2000 to 6000 psi]. For strengths higher than 42 MPa [6000 psi] correction

factors may be larger than the values listed above³.

9.3 If required, calculate the specimen density to the nearest 10 kg/m³ [1 lb/ft³] using the applicable method.

9.3.1 If specimen density is determined based on specimen dimensions, calculate specimen density as follows:
 SI units:

$$\rho_s = \frac{4 \times 10^9 \times W}{L \times D^2 \times \pi} \quad (4)$$

Inch-pound units:

$$\rho_s = \frac{6912 \times W}{L \times D^2 \times \pi}$$

where:

ρ_s = specimen density, kg/m³ [lb/ft³],
 W = mass of specimen in air, kg [lb],
 L = average measured length, mm [in.], and
 D = average measured diameter, mm [in.].

9.3.2 If the specimen density is based on submerged weighing, calculate the specimen density as follows:

³ Bartlett, F.M. and MacGregor, J.G., "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength," *ACI Materials Journal*, Vol 91, No. 4, July-August, 1994, pp. 339-348.

C39/C39M – 18

$$\rho_s = \frac{W \times \gamma_w}{W - W_s} \quad (6)$$

where:

- ρ_s = specimen density, kg/m³ [lb/ft³],
- W = mass of specimen in air, kg [lb],
- W_s = apparent mass of submerged specimen, kg [lb], and
- γ_w = density of water at 23°C [73.5°F] = 997.5 kg/m³ [62.27 lb/ft³].

10. Report

- 10.1 Report the following information:
 - 10.1.1 Identification number,
 - 10.1.2 Average measured diameter (and measured length, if outside the range of 1.8 D to 2.2 D), in millimetres [inches],
 - 10.1.3 Cross-sectional area, in square millimetres [square inches],
 - 10.1.4 Maximum load, in kilonewtons [pounds-force],
 - 10.1.5 Compressive strength rounded to the nearest 0.1 MPa [10 psi],
 - 10.1.6 If the average of two or more companion cylinders tested at the same age is reported, calculate the average compressive strength using the unrounded individual compressive strength values. Report the average compressive-strength rounded to the nearest 0.1 MPa [10 psi].
 - 10.1.7 Type of fracture (see Fig. 2),
 - 10.1.8 Defects in either specimen or caps,
 - 10.1.9 Age of specimen at time of testing. Report age in days for ages three days or greater, report age in hours if the age is less than three days,

NOTE 16—If software limitations prevent reporting the specimen age in hours, the age of the specimen in hours may be included in a note in the report.

- 10.1.10 If determined, the density to the nearest 10 kg/m³ [1 lb/ft³].

11. Precision and Bias

- 11.1 Precision
 - 11.1.1 *Single-Operator Precision*—The following table provides the single-operator precision of tests of 150 by 300 mm [6 by 12 in.] and 100 by 200 mm [4 by 8 in.] cylinders made from a well-mixed sample of concrete under laboratory conditions and under field conditions (see 11.1.2).

	Coefficient of Variation ⁴	Acceptable Range ⁴ of Individual Cylinder Strengths	
		2 cylinders	3 cylinders
150 by 300 mm [6 by 12 in.]			
Laboratory conditions	2.4 %	6.6 %	7.8 %
Field conditions	2.9 %	8.0 %	9.5 %
100 by 200 mm [4 by 8 in.]			
Laboratory conditions	3.2 %	9.0 %	10.6 %

⁴ These numbers represent respectively the (1s %) and (d2s %) limits as described in Practice C670.

11.1.2 The single-operator coefficient of variation represents the expected variation of measured strength of companion cylinders prepared from the same sample of concrete and tested by one laboratory at the same age. The values given for the single-operator coefficient of variation of 150 by 300 mm [6 by 12 in.] cylinders are applicable for compressive strengths between 15 to 55 MPa [2000 to 8000 psi] and those for 100 by 200 mm [4 by 8 in.] cylinders are applicable for compressive strengths between 17 to 32 MPa [2500 and 4700 psi]. The single-operator coefficients of variation for 150 by 300 mm [6 by 12 in.] cylinders are derived from CCRL concrete proficiency sample data for laboratory conditions and a collection of 1265 test reports from 225 commercial testing laboratories in 1978.⁵ The single-operator coefficient of variation of 100 by 200 mm [4 by 8 in.] cylinders are derived from CCRL concrete proficiency sample data for laboratory conditions.

11.1.3 *Multilaboratory Precision*—The multi-laboratory coefficient of variation for compressive strength test results of 150 by 300 mm [6 by 12 in.] cylinders has been found to be 5.0 %⁴; therefore, the results of properly conducted tests by two laboratories on specimens prepared from the same sample of concrete are not expected to differ by more than 14 %⁴ of the average (see Note 17). A strength test result is the average of two cylinders tested at the same age.

NOTE 17—The multilaboratory precision does not include variations associated with different operators preparing test specimens from split or independent samples of concrete. These variations are expected to increase the multilaboratory coefficient of variation.

11.1.4 The multilaboratory data were obtained from six separate organized strength testing round robin programs where 150 by 300 mm [6 by 12 in.] cylindrical specimens were prepared at a single location and tested by different laboratories. The range of average strength from these programs was 17.0 to 90 MPa [2500 to 13 000 psi].

NOTE 18—Subcommittee C09.61 will continue to examine recent concrete proficiency sample data and field test data and make revisions to precision statements when data indicate that they can be extended to cover a wider range of strengths and specimen sizes.

11.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material, no statement on bias is being made.

12. Keywords

12.1 concrete core; concrete cylinder; concrete specimen; concrete strength; compressive strength; core; cylinder; drilled core; strength

⁵ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:C09-1006. Contact ASTM Customer Service at service@astm.org.



C39/C39M – 18

SUMMARY OF CHANGES

Committee C09 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (C39/C39M–17b) that may impact the use of this standard. (Approved Jan. 1, 2018)

(1) Added Practice C943 to Referenced Documents and Practice C943 as a source of specimens. (2) Revised 8.3.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

Anexo 8. ASTM C78: Método de ensayo normalizado para la determinación resistencia a la flexión del concreto (Utilizando viga simple con carga en los tercios del claro)



Designation: C 78 – 02

Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)¹

This standard is issued under the fixed designation C 78; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the flexural strength of concrete by the use of a simple beam with third-point loading.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI equivalent of inch-pound units has been rounded where necessary for practical application.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²

C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²

C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

3. Significance and Use

3.1 This test method is used to determine the flexural strength of specimens prepared and cured in accordance with Test Methods C 42 or Practices C 31 or C 192. Results are calculated and reported as the modulus of rupture. The strength determined will vary where there are differences in specimen size, preparation, moisture condition, curing, or where the

beam has been molded or sawed to size.

3.2 The results of this test method may be used to determine compliance with specifications or as a basis for proportioning, mixing and placement operations. It is used in testing concrete for the construction of slabs and pavements (Note 1).

4. Apparatus

4.1 The testing machine shall conform to the requirements of the sections on Basis of Verification, Corrections, and Time Interval Between Verifications of Practices E 4. Hand operated testing machines having pumps that do not provide a continuous loading in one stroke are not permitted. Motorized pumps or hand operated positive displacement pumps having sufficient volume in one continuous stroke to complete a test without requiring replenishment are permitted and shall be capable of applying loads at a uniform rate without shock or interruption.

4.2 *Loading Apparatus*—The third point loading method shall be used in making flexure tests of concrete employing bearing blocks which will ensure that forces applied to the beam will be perpendicular to the face of the specimen and applied without eccentricity. A diagram of an apparatus that accomplishes this purpose is shown in Fig. 1.

4.2.1 All apparatus for making flexure tests of concrete shall be capable of maintaining the specified span length and distances between load-applying blocks and support blocks constant within ± 0.05 in. (± 1.3 mm).

4.2.2 The ratio of the horizontal distance between the point of application of the load and the point of application of the nearest reaction to the depth of the beam shall be 1.0 ± 0.03 .

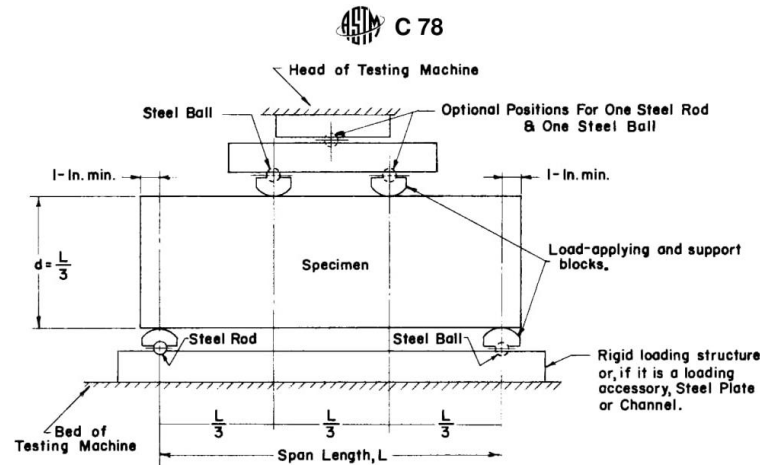
4.2.3 If an apparatus similar to that illustrated in Fig. 1 is used: the load-applying and support blocks should not be more than $2\frac{1}{2}$ in. (64 mm) high, measured from the center or the axis of pivot, and should extend entirely across or beyond the full width of the specimen. Each case-hardened bearing surface in contact with the specimen shall not depart from a plane by more than 0.002 in. (0.05 mm) and shall be a portion of a cylinder, the axis of which is coincidental with either the axis of the rod or center of the ball, whichever the block is pivoted upon. The angle subtended by the curved surface of each block should be at least 45° (0.79 rad). The load-applying and support blocks shall be maintained in a vertical position and in

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Jan. 10, 2002. Published March 2002. Originally published as C 78 – 30T. Last previous edition C 78 – 00.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.



NOTE 1—This apparatus may be used inverted. If the testing machine applies force through a spherically seated head, the center pivot may be omitted, provided one load-applying block pivots on a rod and the other on a ball.
NOTE 2—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 1 Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method

contact with the rod or ball by means of spring-loaded screws that hold them in contact with the pivot rod or ball. The uppermost bearing plate and center point ball in Fig. 1 may be omitted when a spherically seated bearing block is used, provided one rod and one ball are used as pivots for the upper load-applying blocks.

5. Testing

5.1 The test specimen shall conform to all requirements of Test Method C 42 or Practices C 31 or C 192 applicable to beam and prism specimens and shall have a test span within 2 % of being three times its depth as tested. The sides of the specimen shall be at right angles with the top and bottom. All surfaces shall be smooth and free of scars, indentations, holes, or inscribed identification marks.

5.2 The technician performing the flexural strength test should be certified as an ACI Technician—Grade II, or by an equivalent written and performance test program.

NOTE 1—The testing laboratory performing this test method may be evaluated in accordance with Practice C 1077.

6. Procedure

6.1 Flexural tests of moist-cured specimens shall be made as soon as practical after removal from moist storage. Surface drying of the specimen results in a reduction in the measured flexural strength.

6.2 When using molded specimens, turn the test specimen on its side with respect to its position as molded and center it on the support blocks. When using sawed specimens, position the specimen so that the tension face corresponds to the top or bottom of the specimen as cut from the parent material. Center the loading system in relation to the applied force. Bring the load-applying blocks in contact with the surface of the specimen at the third points and apply a load of between 3 and 6 % of the estimated ultimate load. Using 0.004 in. (0.10 mm) and 0.015 in. (0.38 mm) leaf-type feeler gages, determine whether

any gap between the specimen and the load-applying or support blocks is greater or less than each of the gages over a length of 1 in. (25 mm) or more. Grind, cap, or use leather shims on the specimen contact surface to eliminate any gap in excess of 0.004 in. (0.10 mm) in width. Leather shims shall be of uniform 1/4 in. (6.4 mm) thickness, 1 to 2 in. (25 to 50 mm) width, and shall extend across the full width of the specimen. Gaps in excess of 0.015 in. (0.38 mm) shall be eliminated only by capping or grinding. Grinding of lateral surfaces should be minimized inasmuch as grinding may change the physical characteristics of the specimens. Capping shall be in accordance with the applicable sections of Practice C 617.

6.3 Load the specimen continuously and without shock. The load shall be applied at a constant rate to the breaking point. Apply the load at a rate that constantly increases the extreme fiber stress between 125 and 175 psi/min (0.86 and 1.21 MPa/min) until rupture occurs. The loading rate is calculated using the following equation:

$$r = Sbd^2/L \tag{1}$$

where:

- r* = loading rate, lb/min (MN/min),
- S* = rate of increase in extreme fiber stress, psi/min (MPa/min),
- b* = average width of the specimen, in. (mm),
- d* = average depth of the specimen, in. (mm), and
- L* = span length, in. (mm).

7. Measurement of Specimens After Test

7.1 To determine the dimensions of the specimen cross section for use in calculating modulus of rupture, take measurements across one of the fractured faces after testing. For each dimension, take one measurement at each edge and one at the center of the cross section. Use the three measurements for each direction to determine the average width and the average depth. Take all measurements to the nearest 0.05 in. (1 mm). If



the fracture occurs at a capped section, include the cap thickness in the measurement.

8. Calculation

8.1 If the fracture initiates in the tension surface within the middle third of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = PL/bd^2 \tag{2}$$

where:

- R = modulus of rupture, psi, or MPa,
- P = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf, or N,
- L = span length, in., or mm,
- b = average width of specimen, in., or mm, at the fracture, and
- d = average depth of specimen, in., or mm, at the fracture.

NOTE 2—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.2 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by not more than 5 % of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = 3Pa/bd^2 \tag{3}$$

where:

- a = average distance between line of fracture and the nearest support measured on the tension surface of the beam, in., (or mm).

NOTE 3—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.3 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by more than 5 % of the span length, discard the results of the test.

9. Report

- 9.1 Report the following information:
 - 9.1.1 Identification number,

- 9.1.2 Average width to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.3 Average depth to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.4 Span length in inches (or millimeters),
- 9.1.5 Maximum applied load in pound-force (or newtons),
- 9.1.6 Modulus of rupture calculated to the nearest 5 psi (0.05 MPa),
- 9.1.7 Curing history and apparent moisture condition of the specimens at the time of test,
- 9.1.8 If specimens were capped, ground, or if leather shims were used,
- 9.1.9 Whether sawed or molded and defects in specimens, and
- 9.1.10 Age of specimens.

10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—The coefficient of variation of test results has been observed to be dependent on the strength level of the beams.⁴ The single operator coefficient of variation has been found to be 5.7 %. Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 16 %. The multilaboratory coefficient of variation has been found to be 7.0 %. Therefore, results of two different laboratories on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 19 %.

10.2 *Bias*—Since there is no accepted standard for determining bias in this test method, no statement on bias is made.

11. Keywords

11.1 beams; concrete; flexural strength testing; modulus of rupture

⁴ See "Improved Concrete Quality Control Procedures Using Third Point Loading" by P. M. Carrasquillo and R. L. Carrasquillo, Research Report 119-1F, Project 3-9-87-1119, Center For Transportation Research, The University of Texas at Austin, November 1987, for possible guidance as to the relationship of strength and variability.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).