

UTILIZACIÓN DEL PLÁSTICO RECICLABLE EN LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO

Heddy Marcela Jiménez Yábar, Dr. ¹
Carlos Alberto Villegas Martínez, Mg ²
Eder Franklin Flores Guillén, Ing. ³
Miller Roberto Morales Carhuayano, Ing. ⁴

¹ Jefe de Proyecto, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, hjimenez@uni.edu.pe

² Especialista, Universidad Nacional de Ingeniería, carlosvillegasma@yahoo.es

³ Investigador I, Universidad Nacional de Ingeniería, ederfloresguillen@gmail.com

⁴ Investigador II, Universidad Nacional de Ingeniería, robertomorales1127@gmail.com

Resumen: El presente trabajo de investigación evalúa el comportamiento del concreto en el cual se sustituye un porcentaje de sus agregados por plástico reciclable PET, este concreto será empleado en la elaboración de elementos prefabricados que cumplan con los estándares de la normativa nacional. Se contempla asimismo las propiedades básicas de este concreto tales como su resistencia a la compresión, ensayos de flexión y compresión diametral comparada con un diseño patrón de acuerdo a las especificaciones requeridas para los elementos prefabricados de concreto.

Palabras Clave: elementos prefabricados, plásticos reciclados, ecología.

Abstract: This research evaluates the behavior of concrete in which a percentage of aggregates is replaced by recyclable PET plastic; this concrete will be used in the manufacture of prefabricated elements that meet the standards of national legislation. The basic properties of this particular such as resistance to compression, bending tests and diametral compression compared to a standard design according to the specifications required for the precast concrete is also contemplated.

Keywords: prefabricated elements, recycled plastics, ecology.

Abstract: This research evaluates the behavior of concrete in which a percentage of aggregates is replaced by recyclable PET plastic; this concrete will be used in the manufacture of prefabricated elements that meet the standards of national legislation. The basic properties of this particular such as resistance to compression, bending tests and diametral compression compared to a standard design according to the specifications required for the precast concrete is also contemplated.

Keywords: prefabricated elements, recycled plastics, ecology.

I. INTRODUCCIÓN

La naturaleza produce residuos, pero tiene la suficiente capacidad de procesarlos, integrándolos de nuevo al ciclo vital, de esta manera la naturaleza trata de mantener el delicado equilibrio del sistema ecológico.

El hombre representa una amenaza al equilibrio del sistema ecológico, puesto que al producir residuos en grandes volúmenes altera el ciclo natural de descomposición, algunos de los residuos son degradados rápidamente, sin embargo otros como el plástico PET presentan escasa biodegradabilidad. El plástico PET (Tereftalato de polietileno) se acumula, entierra o incinera produciendo contaminación, acciones que causan un impacto negativo en el medio ambiente.

En el último informe que el Perú envió a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC), el Minam reconoció que el 70% de la basura recolectada a nivel nacional es llevada a los botaderos no autorizados o es quemado directamente, lo cual propicia la emisión de dióxido de carbono (CO₂) y de gas metano (21 veces más contaminante que el CO₂).

Solo en la capital, los plásticos PET constituyen el 10.1% del peso total de los residuos producidos por la ciudad (Fuente: INFORME ANUAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MINAM 2012). Un gran porcentaje de estos residuos son acumulados y depositados en rellenos sanitarios, la preocupación gira en torno a que, por sus grandes volúmenes, estos envases reducen la vida útil de los rellenos sanitarios.

La reducción en la producción de residuos, el reciclado de los materiales reutilizables y la correcta disposición final de los residuos no pueden aplicarse para un nuevo uso, se proyectan como las mejores soluciones posibles dentro de esta problemática.

El reciclado es además la mejor forma de evitar la extracción de materias primas.

Se propone un destino diferente a los materiales de plástico PET, una alternativa para elaborar elementos

prefabricados que cumplan con la normativa vigente en el país.

Se espera que los elementos prefabricados califiquen con los estándares requeridos en la construcción y representen una alternativa de material ecológico en una sociedad cada vez más consumista.

II. OBJETIVO

Elaborar elementos de concreto utilizando el material de plástico reciclado PET para el uso de elementos prefabricados de concreto, para tales efectos se consideran todos y cada uno de los resultados de diseño verificados con los estándares del mercado.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físicas del producto elaborado.
- Evaluar la relación costo beneficio como material de construcción.

IV. JUSTIFICACIÓN

En el Perú no se cuentan con inventarios sobre estudios relacionados a la construcción de viviendas saludables con el uso de materiales ecológicos para la construcción en edificaciones que aún no se encuentra reconocido en nuestro país y mucho menos certificado, de ahí la justificación del estudio.

La razón que impulso el presente estudio es el deterioro progresivo de nuestro medio ambiente, ya sea por la explotación de canteras para la fabricación de materiales de construcción o por la contaminación debido al desecho de materiales reciclables ya sea por desconocimiento o dejadez de parte de los usuarios, ver Fig. N°1.

Ante el panorama anterior y dado que la población necesita viviendas más accesibles se requiere contar con materiales de construcción más livianos, ecológicos y económicos, con una resistencia térmica suficiente; una alternativa para ello es la utilización de material plástico PET reciclado como agregado en la elaboración de prefabricados tales como bloques de construcción ecológicos, obteniendo un producto útil para la sociedad, solucionando el déficit habitacional e impulsando las tecnologías ambientalistas dentro de la industria de la construcción buscando descontaminar el medio ambiente que nos rodea.



*Fig. N°1: Desperdicios de plástico PET en la ciudad de Lima)
Fuente: shutterstock*

V. FUNDAMENTO TEÓRICO

PLÁSTICO PET: Plástico denominado polietileno-tereftalato (PET) reciclados: es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro. El PET se usa para recipientes de bebidas suaves, jugos, agua, bebidas alcohólicas, y otros. El PET reciclado está compuesto por envases descartables de bebidas, triturados. El PET reciclado se utiliza para mejorar la resistencia a la tracción, las fibras de polipropileno deberían ser utilizadas en todo concreto en el que se requiere evitar las fisuras por contracción plástica

Presenta como características más relevantes:

- Cristalinidad y transparencia, aunque admite cargas de colorantes
- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes
- Alta resistencia al desgaste
- Muy buen coeficiente de deslizamiento
- Buena resistencia química
- Buenas propiedades térmicas
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Resistente a esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza.
- Estabilidad a la intemperie
- No es biodegradable

Las propiedades físicas de los agregados se determinaron cumpliendo con las normas técnicas peruanas: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (NTP 400.012) .Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“peso unitario”) y los vacíos en los agregados. (NTP 400.017). Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. (NTP 400.021). Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. (NTP 400.022), etc.

Para determinar las propiedades físicas de mortero en especímenes de cubitos se determinó con la norma Unidades De Albañilería. Especificación normalizada para morteros (NTP 399.610:2003)

Los diseños de mezcla se hicieron con las recomendaciones del método ACI 211.1-91 y del método del agregado global para la probetas y vigas con una relación agua/cemento (0.60, 0.65, 0.70) tanto en el diseño patrón como en los diseños con adición de plástico PET, para la aplicación de elementos prefabricados de concreto con adición de plástico PET reciclado se utilizó la relación agua /cemento (0.70, 0.75, 0.80) para Bloque de concreto y la relación agua /cemento (0.55 0.60, 0.65) para Ladrillo de concreto.

Se utilizó la norma “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field” (ASTM C31/C31M-08b), para el moldeo de especímenes cilíndricos y vigas, así mismo se empleó el método de la compactación por apisonado.

Las Propiedades físicas del Concreto al Estado fresco se determinaron con las siguientes normas: Método de ensayo

para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. (NTP 339.035:2009), Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. (NTP 339.082:2011) Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión (NTP 339.083:2003)

Las Propiedades mecánicas del Concreto al Estado Endurecido se determinaron con las siguientes normas: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. (NTP 339.034:2013), Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. (NTP 339.084:2012), Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. (NTP 339.078:2012).

Para determinar las propiedades físicas de los elementos prefabricados en bloque de concreto se usó la norma: unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto (NTP 339.604:2002) y para el ladrillo de concreto se usó la norma de Unidades de Albañilería ladrillos de concreto. (NTP 339.601:2006)

VI. HIPÓTESIS

El problema de la contaminación ambiental debido a los residuos de plástico PET se podría solucionar con la utilización del plástico PET en la elaboración de elementos de concreto como una alternativa de producto ecológico.

VII. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el diseño de investigación del proyecto se comenzó a realizar el diseño en el mortero de cemento denominado patrón con la adición PET en diferentes proporciones determinando las propiedades físicas y mecánicas. Luego se realizó el diseño para el concreto patrón con adición PET, así mismo se determinó las propiedades físicas y mecánicas, procediendo a realizar el diseño patrón con diferentes proporciones con % de PET reciclado para la aplicación de los elementos prefabricados de bloque de concreto y ladrillo de concreto, que cumplan las normas técnicas peruanas (NTP) y Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

7.1 ESPACIO O ESCENARIO

La Universidad Nacional de ingeniería, Facultad de ingeniería Civil, los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales N°01 (LEM) de la FIC – UNI.

VIII. TRABAJO EN LABORATORIO

A continuación se detalla la determinación de las propiedades de los materiales componentes del concreto y del plástico PET.

8.1 Elaboración del agregado PET reciclado

Se realiza el acopio del PET reciclado, selección del material, Se realiza el triturado con la máquina trituradora de plásticos con un rendimiento de 6 kg/hora (motor 4HP), Se realiza el tamizado, donde el tamaño máximo de las piezas irregulares (escamas) del plástico triturado es de 3/8" y se determinó el peso específico del PET (1340 kg/m³). Se muestra el PET triturado y la máquina trituradora de plástico ver Fig. N°2.



Fig. N°2: PET triturado y máquina trituradora

a) Ensayo Granulométrico plástico PET

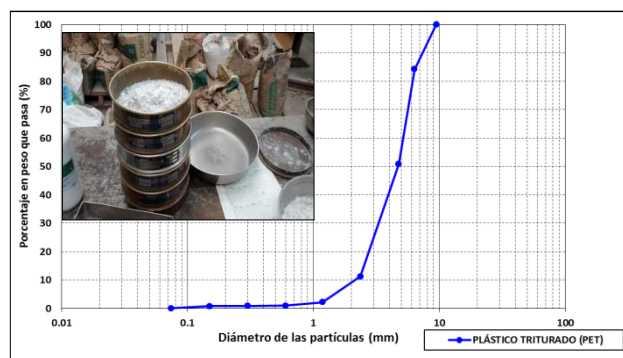
Para el presente estudio realizamos un análisis granulométrico de las partículas de PET requerido para nuestro diseño como se indica en el cuadro N°01, la curva granulométrica ver el gráfico N°1 y las propiedades del PET en el cuadro N° 02

Cuadro N° 1: Granulometría del plástico reciclable (PET) triturado

Malla	Peso Retenido (g)	RET. PROM.(%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA (%)
	M-1			
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	78.60	15.72	15.72	84.28
N°4	167.30	33.46	49.18	50.82
N°8	198.10	39.62	88.80	11.20
N°16	45.20	9.04	97.84	2.16
N°30	6.10	1.22	99.06	0.94
N°50	0.70	0.14	99.20	0.80
N°100	0.30	0.06	99.26	0.74
FONDO	3.70	0.74	100.00	0.00
SUMA	500.00	100.00	MODULO DE FINEZA:	5.33

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 1: Curva granulométrica del plástico reciclable (PET)



Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 2: Propiedades físicas del plástico reciclable (PET).

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: Industria del Plástico. Plástico Industrial. Richardson & Lokensgard

8.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

A continuación se define las características y propiedades físicas del agregado fino y grueso en base a la norma técnica peruana.

a) Agregado fino

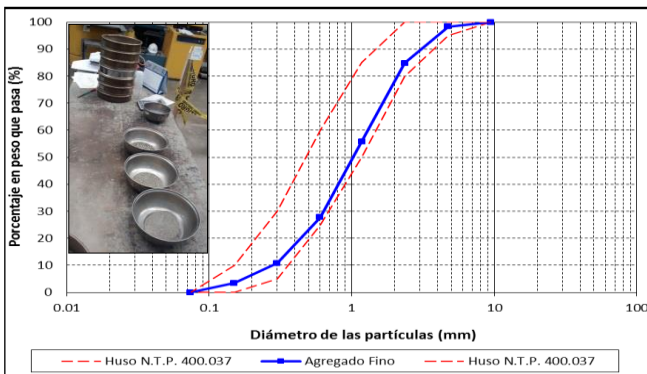
La arena tiene como procedencia la cantera Trapiche en Lima, según el análisis granulométrico realizado de acuerdo a la N.T.P. 400.037:2002. Como se indica en el cuadro N°3, la curva granulométrica en el gráfico N° 2 y las propiedades del agregado fino en el cuadro N°4.

Cuadro N° 3: Granulometría del agregado fino

Malla	Peso Retenido (g)			RET. PROM.(%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA (%)
	M-1	M-2	PROMEDIO			
3/8"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	5.80	19.30	12.55	1.69	1.69	98.32
N°8	81.50	105.90	93.70	12.58	14.26	85.74
N°16	201.10	209.10	205.10	27.53	41.79	58.21
N°30	225.50	186.70	206.10	27.66	69.46	30.54
N°50	164.00	104.10	134.05	17.99	87.45	12.55
N°100	78.60	45.50	62.05	8.33	95.78	4.22
FONDO	33.50	29.40	31.45	4.22	100.00	0.00
SUMA	790.00	700.00	745.00	100.00	MODULO DE FINEZA: 3.10	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2: Curva granulométrica del agregado fino, uso ASTM-C33



Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°4: Propiedades físicas del agregado fino

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ARENA	UND	Agregado fino
Absorción	%	1.55
Contenido de humedad	%	2.27
Peso específico	gr/cm ³	2.63
Peso unitario suelto	kg/m ³	1578
Peso unitario compactado	kg/m ³	1729
Modulo de finura		3.10
Finos que pasan la malla N°200	%	4.96
Tamaño máximo	Pulgada	3/8"
Tamaño máximo nominal	Pulgada	N°4

Fuente: Elaboración propia

b) Agregado grueso

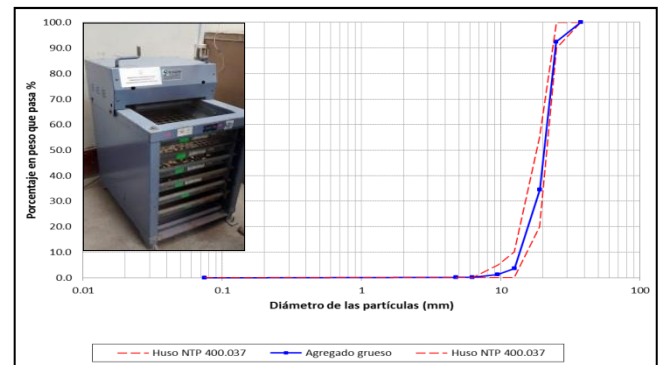
La piedra tiene como procedencia la cantera Unicón - Huachipa, según el análisis granulométrico realizado de acuerdo a la N.T.P. 400.037:2002. Como se aprecia en el cuadro N°5, la piedra es predominante gruesa, con un módulo de finura de 7.64, que encaja dentro del uso granulométrico ASTM 5, como se indica en el Gráfico N° 3 y se indica el resumen de las propiedades físicas del agregado grueso en el cuadro N°6

Cuadro N°5: Granulometría del agregado grueso

Malla	M-1	M-2	PROMEDIO	RET. PROM.(%)	RET. ACUM. (%)	ACUM. PASA (%)
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	1137.00	991.50	1064.25	7.67	7.67	92.33
3/4"	7901.50	8172.00	8036.75	57.91	65.58	34.42
1/2"	4086.50	4472.00	4279.25	30.84	96.41	3.59
3/8"	338.00	323.50	330.75	2.38	98.80	1.20
1/4"	149.50	138.00	143.75	1.04	99.83	0.17
N°4	12.50	12.50	12.50	0.09	99.92	0.08
FONDO	13.00	8.50	10.75	0.08	100.00	0.00
Suma	13638.00	14118.00	13878.00	100.00	MF	7.64

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3: Curva granulométrica del agregado grueso, uso ASTM - 5



Cuadro N°6: Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso

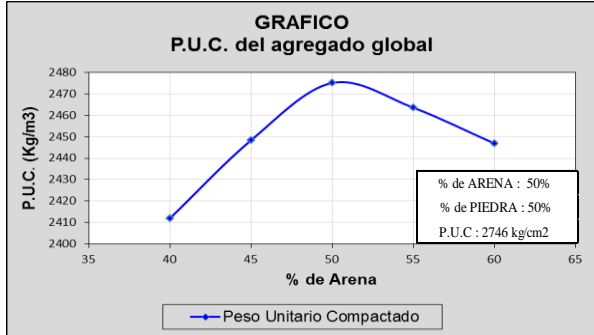
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PIEDRA	UND	Agregado Grueso
Absorción	%	0.74
Contenido de humedad	%	0.42
Peso específico	gr/cm ³	2.72
Peso unitario suelto	kg/m ³	971.9
Peso unitario compactado	kg/m ³	1036.7
Modulo de finura		7.64
Finos que pasan la malla N°200	%	0.18
Tamaño máximo	Pulgada	1 1/2"
Tamaño máximo nominal	Pulgada	1"

Fuente: Elaboración propia

c) Agregado global (P.U.C)

Se realizó el ensayo de densidad para determinar la combinación óptima del agregado fino y grueso, con fines de mejorar la calidad del concreto y luego utilizarlo en la dosificación de la mezcla del concreto, obteniéndose una combinación optima de (Arena, Piedra) = (50%,50%), como se aprecia en el grafico N°4.

Gráfico N° 4: curva del peso unitario compactado



Fuente: Elaboración propia.

8.3 MORTERO

Se especifica la dosificación del diseño de mezcla y propiedades físicas y mecánicas del mortero cúbico.

a) Diseño de mezcla en mortero

Se prepararon mezclas de control a base de mortero de cemento en una proporción de 1: 2.75 y una relación (agua/cemento) = 0.60, la dosificación utilizada es (Cemento, Arena, Agua) = (500gr, 1375gr, 300 ml.), a/c = 0.60. Una vez obtenido el diseño patrón se reemplazó parte del arena por el 1%,2% y 3% de PET reciclado. En el cuadro N°7 se presenta el diseño de mortero.

Cuadro N°7: Diseño de mezcla del mortero de cemento con adición (1%,2% y 3%) de plástico PET

DISEÑO DE MEZCLA EN MORTERO (A/C = 0.60)					
MATERIALES	UNID	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 1% PET	PATRÓN + 2% PET	PATRÓN + 3% PET
CEMENTO	g	500.0	500.0	500.0	500.0
ARENA	g	1375.0	1361.3	1347.5	1333.8
PLÁSTICO	g	0.0	13.8	27.5	41.3
AGUA	ml	300.4	300.4	300.4	300.4

Fuente: Elaboración propia

b) Propiedades físicas y mecánicas del mortero.

Se determinó la trabajabilidad del mortero para una fluidez en el rango de 110 +/- 5%, y se elaboró el mortero cúbico en las proporciones indicadas. Se presenta el procedimiento y resultados de los ensayos en la Fig. N°03 y en el Cuadro N°8 y Cuadro N°9 se reporta las resistencias en kg/cm y porcentajes.



Fig. N° 03: Ensayo de fluidez, moldes cúbicos y ensayo de compresión.

Cuadro N°8: Ensayo de resistencia a compresión en mortero.

RESISTENCIA EN MORTERO CÚBICO (Kg/cm²) - A/C= 0.60				
FLUIDEZ (%)	110.14%	103.25%	97.10%	91.68%
EDAD (Días)	PATRÓN	PATRÓN + 1% PET	PATRÓN + 2% PET	PATRÓN + 3% PET
3	326.37	273.28	265.63	258.63
7	363.89	316.25	293.82	285.36
28	449.76	421.96	389.06	387.26

Fuente: Elaboración propia.

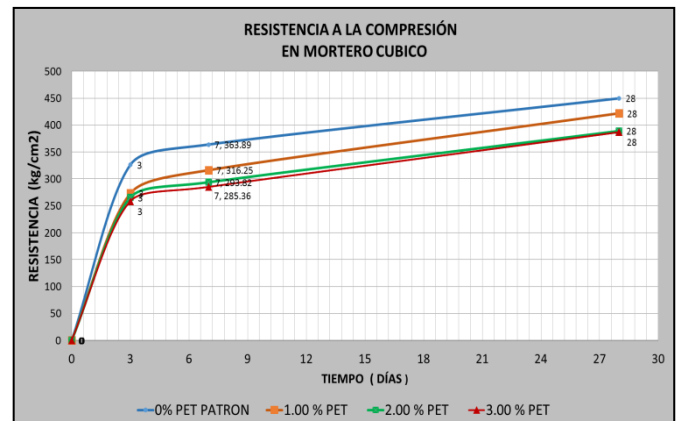
Cuadro N°9: Ensayo de resistencia a compresión en porcentaje.

RESISTENCIA EN MORTERO CÚBICO (%) - A/C= 0.60				
FLUIDEZ (%)	110.14%	103.25%	97.10%	91.68%
EDAD (Días)	PATRÓN	PATRÓN + 1% PET	PATRÓN + 2% PET	PATRÓN + 3% PET
3	100%	84%	81%	79%
7	100%	87%	81%	78%
28	100%	94%	87%	86%

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la gráfica de la resistencia vs tiempo, del mortero patrón con adición de 1%,2% y 3% PET reciclado, como se indica en el gráfico N°5:

Gráfico N° 5: Curva de resistencia a la compresión vs tiempo a los 3,7 y 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

8.4 CONCRETO

A continuación se detalla el diseño de mezcla del concreto patrón con adición % plástico PET y la determinación de las propiedades físicas del concreto en estado fresco y sus propiedades mecánicas en estado endurecido.

a) Diseño de mezcla en concreto

Con la norma ACI-211.1-91 y la metodología del agregado global se diseñó mezclas de concreto patrón para las relaciones agua/cemento: 0.60, 0.65 y 0.70 con trabajabilidad de slump de 3" a 4", obteniendo la dosificación y la cantidad requerida para un metro cubico de concreto con adición de 5%,10% y 15% de plástico PET, en el cuadro N°10 se presenta el diseño de mezcla.

Cuadro N° 10: Diseño de concreto para la relación agua/cemento de 0.60,0.65 y 0.65

DISEÑO DE CONCRETO POR M ³						
A/C	MATERIALES	UND	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
0.6	CEMENTO	kg	370.00	370.00	370.00	370.00
	AGUA	kg	222.00	222.00	222.00	222.00
	ARENA	kg	848.88	848.88	848.88	848.88
	PIEDRA	kg	877.93	834.04	790.14	746.24
	AIRE	%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
	PLÁSTICO PET	kg	0.00	43.90	87.79	131.69
0.65	CEMENTO	kg	333.85	333.85	333.85	333.85
	AGUA	kg	217.00	217.00	217.00	217.00
	ARENA	kg	870.55	870.55	870.55	870.55
	PIEDRA	kg	900.34	855.33	810.31	765.29
	AIRE	%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
	PLÁSTICO PET	kg	0.00	45.02	90.03	135.05
0.7	CEMENTO	kg	308.57	308.57	308.57	308.57
	AGUA	kg	216.00	216.00	216.00	216.00
	ARENA	kg	882.42	882.42	882.42	882.42
	PIEDRA	kg	912.62	866.98	821.35	775.72
	AIRE	%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
	PLÁSTICO PET	kg	0.00	45.63	91.26	136.89

Fuente: Elaboración propia.

- Obtenido el diseño patrón se reemplazó un porcentaje de piedra por el 5%,10% y 15% de PET reciclado.

b) Propiedades del concreto en estado fresco

Se determinó las propiedades del concreto en estado fresco tales como: Asentamiento, Peso unitario, Contenido de aire y Tiempo de fragua.

A continuación procederemos a indicar cada uno de los ensayos realizados al concreto en estado fresco. Todos estos ensayos se han realizado en concordancia con lo establecido en la Norma Técnica Peruana.

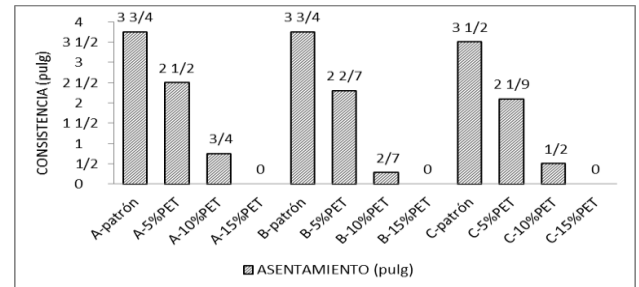
1. Ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. (NTP 339.035:2009)

Se determinó el ensayo de medición de asentamiento de concreto patrón con adición de plásticos PET (5%, 10% y 15%), Se muestra los valores y el ensayo en el cuadro N°6 y Fig. N°04:



Fig. N° 04: Medida del asentamiento con PET

Gráfico N°6: Asentamiento concreto fresco – Muestra patrón y PET reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

2.- Ensayo para la medición del Peso Unitario del Concreto Fresco. (NTP 339.046:2008)

Se realizó el peso de la mezcla del concreto patrón con adición de plásticos PET (5%, 10% y 15%).Se presenta los resultados del peso unitario fresco, en el cuadro N°11:

Cuadro N° 11: Peso unitario del concreto fresco para a/c:0.60,0.65 y 0.70

CUADRO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO						
Peso del Recipiente(R):		5.20		Kg		
Volumen del Recipiente(V):		0.014158		m ³		1/2 pies ³
N°	RELACIÓN A/C	DESCRIPCIÓN	ASENTAMIENTO (pulg)	PESO CONCRETO +RECIPIENTE (Kg)	PESO CONCRETO FRESCO (Kg)	PUCF (kg/m ³)
1	A (0.6)	A-0%PET	3.75	37.66	32	2292.70
2		A-5%PET	2.50	36.66	31	2222.07
3		A-10%PET	0.75	35.72	31	2155.67
4		A-15%PET	0.00	32.89	28	1955.78
5	B(0.65)	B-0%PET	3.75	37.64	32	2291.28
6		B-5%PET	2.29	36.95	32	2242.55
7		B-10%PET	0.29	35.14	30	2114.71
8		B-15%PET	0.00	32.52	27	1929.65
9	C(0.7)	C-0%PET	3.50	37.74	33	2298.35
10		C-5%PET	2.11	36.48	31	2209.35
11		C-10%PET	0.50	34.50	29	2069.50
12		C-15%PET	0.00	32.20	27	1907.05

Fuente: Elaboración propia.

- Se observa que a mayor incremento de porcentaje de plástico PET disminuye el peso unitario del concreto fresco.

3. Ensayo para contenido de aire de mezcla de concreto fresco, por el método de presión, (NTP 339.083:2003)

Se realizó de contenido de aire para la mezcla de concreto patrón y PET reciclado en 5 %,10% y 15% de plástico. Se muestra los valores en el cuadro N°12

Cuadro N° 12: Valores del contenido de aire para muestra patrón-PET reciclada.

RELACIÓN (a/c)	MEZCLA	% DE AIRE
A(0.60)	A-patrón	1.2
	A-5%PET	1.8
	A-10%PET	3.8
	A-15%PET	5.9
B(0.65)	B-patrón	1.4
	B-5%PET	2.1
	B-10%PET	4.0
	B-15%PET	6.1
C(0.70)	C-patrón	1.6
	C-5%PET	2.2
	C-10%PET	4.0
	C-15%PET	6.2

Fuente: Elaboración propia.

4. Ensayo en tiempo de fragua en el concreto fresco (N.T.P.339.082, 2011)

Se realizó el ensayo de en tiempo de fragua para la mezcla de concreto patrón con adición de 5 %,10% y 15% de PET reciclado .Se presenta los resultados del tiempo de fragua para la relación a/c: 0.65 En el cuadro N°13.

Cuadro N° 13: valores del tiempo de fragua inicial y final

MEZCLA	T.F.INICIAL	T.F.FINAL
patrón	5 h 02 min	7 h 27 min
patrón + 5%PET	7 h 33 min	9 h 34 min
patrón +10%PET	6 h 57 min	9 h 23 min
patrón + 15%PET	6 h 49 min	9 h 08 min

Fuente: Elaboración propia

c) Propiedades del concreto en estado endurecido

Se determina el ensayo de resistencia a la compresión axial, resistencia a la compresión diametral de probetas y resistencia a la flexión en vigas para la relación de a/c: 0.60, 0.65 y 0.70

1.- Ensayo de resistencia de concreto a la compresión axial (NTP 339.034 2008)

Se determinó la propiedad del ensayo de compresión axial de concreto con adición de plástico PET (5%, 10% y 15%), se indica los resultados en el cuadro N°14, N° 15, N°16, N°17, N° 18 y N°19 en kg/cm² y porcentajes.

Cuadro N° 14: Resistencia de compresión axial en kg/cm² para la relación A/C: 0.60

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL (Kg/cm ²) - A/C= 0.60				
EDAD (Días)	PATRÓN	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
7	236.86	167.13	145.36	81.88
28	291.58	206.34	174.43	87.56
45	322.21	208.98	176.96	94.02

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 15: Resistencia de compresión axial en % respecto al patrón para relación A/C: 0.60

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL (%) - A/C= 0.60				
EDAD (Días)	PATRÓN	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
7	100%	71%	61%	35%
28	100%	71%	60%	30%
45	100%	65%	55%	29%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 16: Resistencia a la compresión axial en kg/cm² para la relación A/C: 0.65

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL (Kg/cm ²) - A/C= 0.65				
EDAD (Días)	PATRÓN	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
7	178.46	164.61	132.56	76.27
28	262.27	196.93	137.39	83.17
45	293.23	201.22	141.55	85.72

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 17: Resistencia de compresión axial en % respecto al patrón para la relación A/C: 0.65.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL (%) - A/C= 0.65				
EDAD (Días)	PATRÓN	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
7	100%	92%	74%	43%
28	100%	75%	52%	32%
45	100%	69%	48%	29%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 18: Resistencia a la compresión axial en kg/cm² para la relación A/C: 0.70

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL (Kg/cm ²) - A/C= 0.70				
EDAD (Días)	PATRÓN	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
7	168.98	159.32	123.65	68.91
28	203.96	164.58	128.31	72.27
45	250.13	169.15	130.41	74.31

Fuente: Elaboración propia.

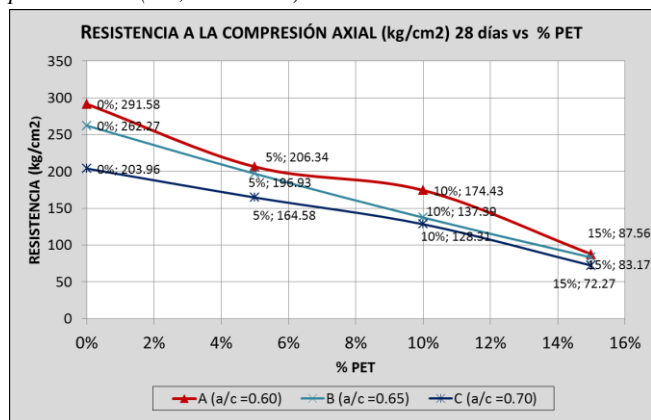
Cuadro N° 19: Resistencia de compresión axial en %respecto al patrón para la relación A/C: 0.70

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL (%) - A/C= 0.70				
EDAD (Días)	PATRÓN	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
7	100%	94%	73%	41%
28	100%	81%	63%	35%
45	100%	68%	52%	30%

Fuente: Elaboración propia.

De los cuadros N°14, N°16 y N°18 se obtiene la gráfica N° 7 a los 28 días:

Gráfico N° 7: Curvas de resistencia a la compresión axial vs plástico PET (5%,10%Y 15%) a los 28 días



Fuente: Elaboración propia.

- se observa el ensayo de compresión axial en probetas de concreto en la Fig. N°5



Fig. N° 5: ensayo de compresión axial en el laboratorio LEM N°1 FIC-UNI

B.- Ensayo de Resistencia a la tracción por Compresión diametral (NTP 339.084,2012)

Se realizó el ensayo de resistencia a la tracción de concreto patrón con adición de plásticos PET (5%, 10% y 15%). Se indican los resultados a los 28 días en el cuadro N°20, N°21, las curva de resistencia en el gráfico N°8 y los ensayos en la Fig. 6

Cuadro N° 20: Resistencia a la compresión diametral a los 28 días

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (Kg/cm²) - 28 días				
RELACIÓN (a/c)	PATRÓN +0% PET	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
A(0.60)	34.26	27.60	24.50	18.84
B(0.65)	30.65	23.95	21.13	12.23
C(0.70)	25.06	17.21	15.13	10.30

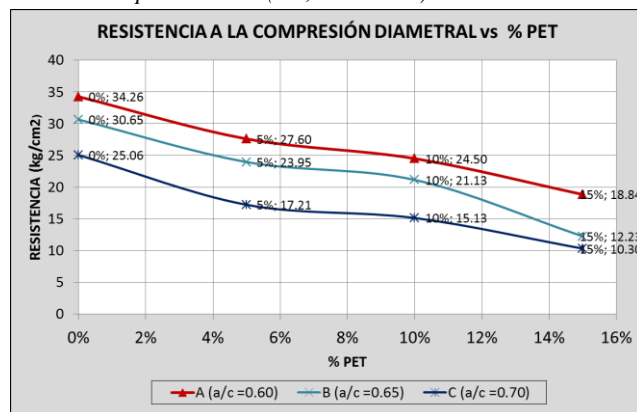
Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 21: Resistencia a la compresión diametral en porcentaje a los 28 días

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (%) - 28 días				
RELACIÓN (a/c)	PATRÓN +0% PET	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
A(0.60)	100%	81%	72%	55%
B(0.65)	100%	78%	69%	40%
C(0.70)	100%	69%	60%	41%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 8: Curvas de resistencia a la tracción por compresión diametral vs plástico PET (5%,10%Y 15%) a los 28 días



Fuente: Elaboración propia.



Fig. N° 6: Se observa e momento del ensayo a la tracción diametral en el laboratorio LEM N°1 FIC-UNI

C.- Ensayo de Resistencia a la flexión en vigas de concreto (NTP 339.078: 2012)

Se determinó la resistencia a la flexión en vigas de concreto patrón patrón con adición de plásticos PET (5%, 10% y 15%) se expresa como el módulo de rotura en (Mpa). Se muestra en el Cuadro N°22 el resumen de resultados del ensayo de flexión en vigas y Fig. N° 7 del ensayo mismo.

Cuadro N° 22: Valores de la resistencia de flexión en vigas

RELACIÓN (a/c)	DESCRIPCIÓN	Módulo de Rotura Mr (Mpa)	Módulo de Rotura Mr (Kg/cm ²)	Mr/patron (%)
A(0.60)	A + patrón	4.92	49.23	100
	A + 5%PET	4.25	42.54	86
	A + 10%PET	3.71	37.14	75
	A + 15%PET	2.32	23.19	47
B(0.65)	B + patrón	3.64	36.37	100
	B + 5%PET	3.32	33.24	91
	B + 10%PET	2.62	26.22	72
	B + 15%PET	1.81	18.12	50
C(0.70)	C + patrón	3.56	35.61	100
	C + 5%PET	3.09	30.95	87
	C + 10%PET	2.74	27.36	77
	C + 15%PET	1.57	15.71	44

Fuente: Elaboración propia



Fig. N° 7: Vista del ensayo de Flexión en vigas en el laboratorio LEM N°01 FIC-UNI

uniforme para un asentamiento cero, luego se vierte en el molde aceitados obteniendo la fabricación de la bloqueta y dejando reposar 24 horas para después realizar su curado respectivo. Se muestra en la Fig. N° 8 el aspecto de un bloque terminado.



Fig. N° 8: bloque hueco de concreto

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BLOQUE DE CONCRETO

A. Ensayo de resistencia a la compresión en bloque de concreto con la adición de plásticos PET a los 7 días y 28 días, se adjunta los resultados en los cuadros N° 23, N° 24, N° 25, N° 26, N° 27 y N° 28

Cuadro N° 23: Resumen de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.70.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²) - A/C=0.70				
DÍAS	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 15% PET	PATRÓN + 30% PET	PATRÓN + 45% PET
7	75.97	53.37	33.52	26.02
28	72.65	62.92	46.87	29.58

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 24: Resumen de la resistencia a la compresión (%) con respecto al diseño patrón a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.70.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (%) - A/C=0.70				
DÍAS	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 15% PET	PATRÓN + 30% PET	PATRÓN + 45% PET
7	100%	70%	44%	34%
28	100%	87%	65%	41%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 25: Resumen de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.75.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²) - A/C=0.75				
DÍAS	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 5% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 15% PET
7	62.58	41.79	31.62	20.23
28	64.58	47.44	41.31	25.40

Fuente: Elaboración propia

IX. APLICACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO CON EL USO DE PET RECICLADO

Se realizó el diseño de mezcla y fabricación de los elementos prefabricados de concreto patrón más PET reciclado cumpliendo con las normas técnicas peruanas vigentes.

- Bloque de hueco de concreto (39x9x19cm)

- Ladrillo de concreto (12x24x9cm)

9.1 ELEMENTO PREFABRICADO DEL BLOQUE HUECO DE CONCRETO CON ADICIÓN DE PET RECICLADO (15%, 30 % y 45%)

PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

Se utiliza polietilen-tereftalato (PET) procedente de botellas de gaseosas descartables. Se tritura con una máquina para obtener partículas con las siguientes dimensiones: 2 – 6.5 mm x 2 – 6.5 mm, espesor: 0,1 - 0,2 mm.

Se utiliza un molde diseñado para la fabricación manual de bloque hueco de concreto con medida modular 39cm x9cmx19cm. Se miden en pesos las cantidades con 0%, 15%, 30 % y 45% PET (confitillo patrón), cemento, arena gruesa y confitillos ¾” necesarias según su dosificación elegida y se las coloca en el trompo mezclador incorporando agua hasta obtener una consistencia

Cuadro N° 26: Resumen de la resistencia a la compresión (%) con respecto al diseño patrón a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.75

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (%) - A/C=0.75				
DÍAS	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 15% PET	PATRÓN + 30% PET	PATRÓN + 45% PET
7	100%	67%	51%	32%
28	100%	73%	64%	39%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 27: Resumen de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.80

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²) a/C= 0.80				
DÍAS	PATRÓN 0%PET	PATRÓN 10%PET	PATRÓN 20%PET	PATRÓN 30%PET
7	78.16	32.67	27.92	19.31
28	103.28	47.58	31.43	19.99

Fuente: Elaboración propia

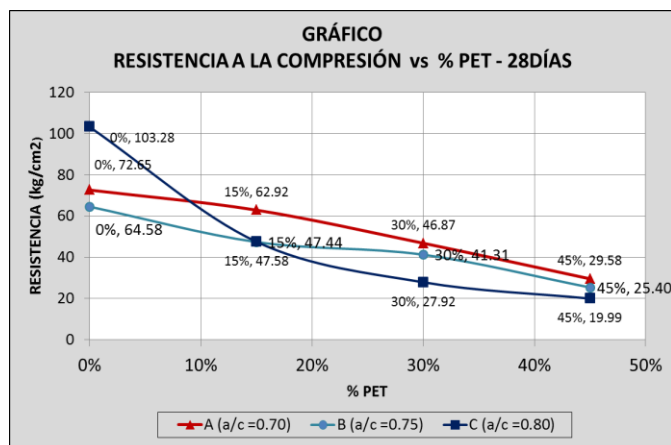
Cuadro N°28: Resumen de la resistencia a la compresión (%) con respecto al diseño patrón a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.80

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (%) - A/C =0.80				
DÍAS	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 15% PET	PATRÓN + 30% PET	PATRÓN + 45% PET
7	100%	42%	36%	25%
28	100%	46%	27%	19%

Fuente: Elaboración propia

- Se realiza la gráfica para ver la variación de resistencia del bloque patrón con el uso de 15%,30% y 45% de PET se presenta los resultados en el gráfico N°9

Gráfico N°9: Curvas de resistencia a la compresión vs plástico PET (15%,30% y 45%) a los 28 días.

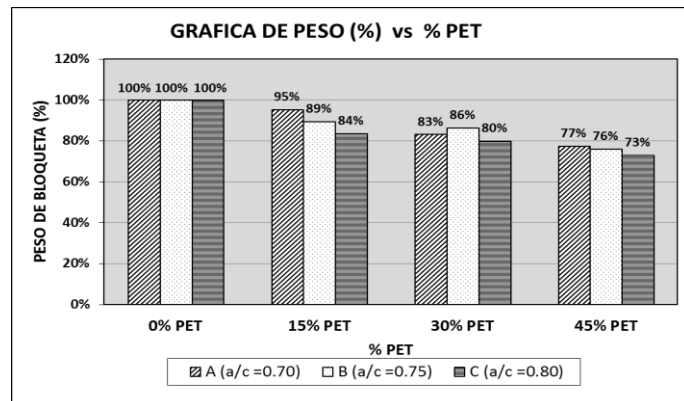


Fuente: Elaboración propia

COMPARACIÓN DE PESOS DE LA BLOQUETA DE CONCRETO PATRÓN CON 15%, 30% Y 45 % PET

- Se presenta el promedio de los pesos en porcentaje para diferentes relaciones de a/c: 0.70, 0.75 y 0.80 con adición de 15%,30% y 45% de PET reciclado en la gráfica N°10.

Gráfico N° 10: Relación de peso en porcentaje vs % pet



Fuente: Elaboración propia

C. Ensayo de absorción de agua en porcentaje de masa (NTP399.613: 2013)

Se detalla los resultados de % de absorción de bloques de concreto para una relación a/c: 0.70 del diseño patrón adicionado más 15%, 30% y 45% de plástico PET, se indica los resultados en el Cuadro N° 29:

Cuadro N° 29: Resumen del % de absorción de las bloques de concreto

MEZCLA	% DE ABSORCIÓN
Patrón + 0% PET	8.9
Patrón + 5%PET	7.9
Patrón + 10%PET	9.5
Patrón + 15%PET	11.1

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se observa que a mayor porcentaje de PET aumenta la permeabilidad del contenido de agua del bloque de concreto de 9cmx39cmx19cm, cumpliendo según la NTP 399.602 los requisitos de absorción máximo de 12% de absorción para los diseños PATRON+ 0%,15%,30% y 45%PET.

D. Medida del Tamaño (NTP 399.604: 2002)

Se determinó la variación de las dimensiones del bloque de concreto para una relación de a/c: 0.70, 0.75 de 10 muestras aleatorias, así mismo se utilizó como Medida modular del bloque hueco de concreto: 39cm x 9cm x 19 cm de la NTP 400.006, se indica los ensayos, datos determinados en el cuadro N°30 y fig. N°9

Cuadro N° 30: Variación dimensional de los bloques de concreto

N°	DESCRIPCIÓN	A/C	Promedio			Variación Dimensional (%)		
			Ancho (mm)	largo(mm)	alto(mm)	Δ Ancho	Δ Largo	Δ Alto
1	A+patrón	0.70	91.0	388.5	191.0	-1.1	0.4	-0.5
2	A+patrón	0.70	90.0	388.3	189.5	0.0	0.5	0.3
3	A+15%PET	0.70	90.3	389.0	192.3	-0.3	0.3	-1.2
4	A+15%PET	0.70	91.0	389.0	192.0	-1.1	0.3	-1.0
5	A+30%PET	0.70	91.5	389.8	192.0	-1.6	0.1	-1.0
6	A+40%PET	0.70	90.8	388.1	192.5	-0.9	0.5	-1.3
7	B+patrón	0.75	89.5	387.5	192.1	0.6	0.6	-1.1
8	B+15%PET	0.75	89.3	389.3	192.5	0.8	0.2	-1.3
9	B+30%PET	0.75	89.3	388.8	192.0	0.8	0.3	-1.0
10	B+45%PET	0.75	89.7	388.6	192.6	0.3	0.4	-1.3

Fuente: Elaboración propia



Fig. N° 9: medición del tamaño del bloque de concreto en el laboratorio LEM

E. Medida del alabeo del elemento prefabricado Bloque hueco de concreto (NTP399.604: 2002)

Se realizó la medición de la distorsión de la superficie cóncava, superficie convexa, bordes cóncavos y bordes convexos. Se indica los datos en el cuadro N°31:

Cuadro N° 31: Resultado de medidas de alabeo del bloque hueco de concreto

N°	CONCAV (PLANO SUP)		CONCAV(PLANO INF)		CONVEXIDAD EN CUATRO ESQUINAS DE BORDE (PLANO SUPERIOR) DEFORMACIÓN					CONVEXIDAD EN CUATRO ESQUINAS DE BORDE (PLANO INFERIOR) DEFORMACIÓN				
	DEFORMAC IÓN (1) (mm)	DEFORMAC IÓN (2) (mm)	DEFORMAC IÓN (3) (mm)	DEFORMAC IÓN (4) (mm)	(1)	(2)	(3)	(4)	mayor de las 4 medidas	(1)	(2)	(3)	(4)	mayor de las 4 medidas
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	1.5	2.0	5.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.0	1.5	1.5
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0
4	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	1.0	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.8	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.5	0.5	2.0	0.5	1.0	0.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	2.5	3.5	4.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

9.2 ELEMENTO PREFABRICADO DEL LADRILLO DE CONCRETO CON ADICIÓN DE PLÁSTICO PET (10%, 20 % y 30%)

PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

Se utiliza el PET triturado y el molde diseñado para la fabricación del ladrillo del concreto con medida modula 24x9x12 cm.

Se miden en pesos las cantidades 0%, 10%, 20 % y 30%PET (confitillo patrón), cemento, arena gruesa y confitillo; necesarias según su dosificación elegida y se las coloca en el trompo mezclador, incorporando hasta obtener una consistencia uniforme de “slump” cero, luego se vierte en el molde aceitado, obteniendo la muestra de ladrillos con reposo de 24 horas para realizar su curado respectivo. Se muestra en la Fig. N°10 el aspecto de un ladrillo terminado.



Fig. N° 10: ladrillo de concreto

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL LADRILLO DE CONCRETO

A. Ensayo de resistencia a la compresión en Ladrillo de concreto con la adición de 0%,10%20% y 30% plásticos PET a los 7 Días y 28 Días, se indican los resultados de resistencia en kg/cm² y porcentajes (%) en el cuadro N°32,N°33,N°34,N°35, N°36 y N°37, se presenta en el gráfico N°10 y N°11 la curva de variación de las resistencias en compresión para la relación a/c: 0.55, 0.60 y 0.65 a los 7 días y 28 días .En la Fig. N° 11 se muestra el ensayo de compresión en el laboratorio LEM N°01. FIC - UNI.

Cuadro N° 32: Resumen de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.50.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²) - A/C= 0.55				
EDAD (Días)	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 20% PET	PATRÓN + 30% PET
7	130.79	121.84	97.34	72.57
28	163.08	129.77	111.34	80.21

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 33: Resumen de la resistencia a la compresión (%) con respecto al diseño patrón a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.50.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (%) - A/C= 0.55				
EDAD (Días)	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 20% PET	PATRÓN + 30% PET
7	100%	93%	74%	55%
28	100%	80%	68%	49%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 34: Resumen de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.60.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²) - A/C= 0.60				
EDAD (Días)	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 20% PET	PATRÓN + 30% PET
7	111.11	89.35	80.79	63.75
28	150.12	104.75	86.92	71.36

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 35: Resumen de la resistencia a la compresión (%) con respecto al diseño patrón a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.60

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (%) - A/C= 0.60				
EDAD (Días)	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 20% PET	PATRÓN + 30% PET
7	100%	80%	73%	57%
28	100%	70%	58%	48%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 36: Resumen de la resistencia a la compresión respecto al diseño patrón a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.65

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²) - A/C= 0.65				
EDAD (Días)	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 20% PET	PATRÓN + 30% PET
7	98.15	66.90	48.84	44.56
28	136.85	94.78	79.15	57.41

Fuente: Elaboración propia

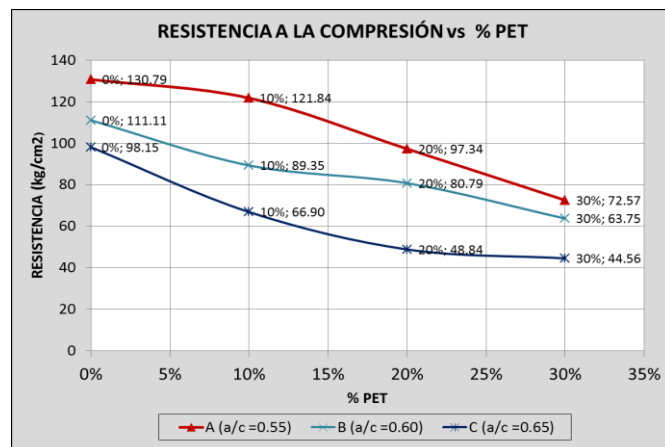
Cuadro N°37: Resumen de la resistencia a la compresión (%) con respecto al diseño patrón a los 7 y 28 días para la relación: a/c= 0.65

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (%) - A/C= 0.65				
EDAD (Días)	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 20% PET	PATRÓN + 30% PET
7	100%	68%	50%	45%
28	100%	69%	58%	42%

Fuente: Elaboración propia

- Se realiza la gráfica para ver la variación de resistencia del ladrillo patrón con el uso de 0%,10%,20% y 30% de PET a los 7 días se presenta los resultados en el gráfico N° 11

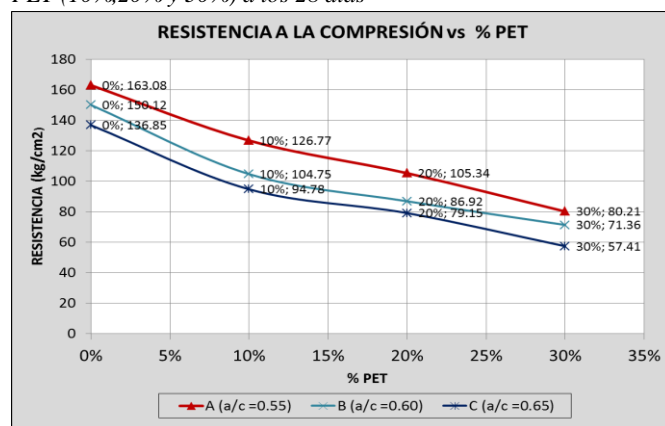
Gráfico N° 11: Curvas de resistencia compresión vs plástico PET a los 7 días



Fuente: Elaboración propia.

- Se realiza la gráfica para ver la variación de resistencia del ladrillo de concreto patrón con el uso de 0%, 10%,20% y 30% de PET a los 28 días, se presenta los resultados en el gráfico N°12

Gráfico N° 12: Curvas de resistencia a la compresión vs plástico PET (10%,20% y 30%) a los 28 días



Fuente: Elaboración propia



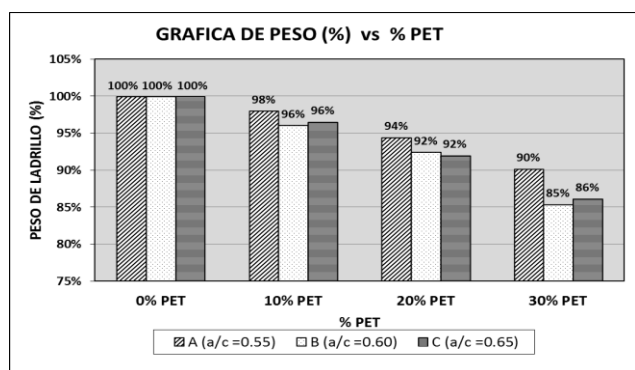
Fig. N° 11: Ensayo de compresión del ladrillo de concreto

COMPARACIÓN DE PESOS DEL LADRILLO DE CONCRETO CON ADICIÓN DE 0% ,10%, 20% y 30 %PET

- Se presenta el promedio de los pesos en porcentaje de ladrillo de concreto (24cmx12cmx9cm) para las diferentes relaciones a/c: 0.55, 0.60 y 0.65 con adición de

0%,10%,20% y 30% de PET reciclado en la gráfica N°13.

Gráfico N° 13: Relación de peso vs % PET



Fuente: Elaboración propia

C. Ensayo de absorción de agua en porcentaje de masa (NTP399.613: 2013)

Se realizó el ensayo para verificar la humedad de agua que contiene el ladrillo patrón con 0% ,10%,20%,30% de PET reciclado. (Ver resultados en el cuadro N°38).

Cuadro N° 38: Valores de absorción (%) de ladrillos de concreto.

DESCRIPCIÓN	ABSORCIÓN (%)
PATRON + 0% PET	7.7
PATRON + 10% PET	6.8
PATRON + 20% PET	9.3
PATRON + 30% PET	10.1

Fuente: Elaboración propia

D. Medida del Tamaño (NTP 399.604: 2002)

Se determinó la variación de los lados del ladrillo de concreto para 10 muestras seleccionadas. Presentando como Medida modular el ladrillo de concreto: 12cm x 24cm x 9 cm, se indica los datos determinados en el cuadro N°39:

Cuadro N° 39: Variación dimensional de los ladrillos de concreto

N°	DESCRIPCIÓN	A/C	Promedio			Variación Dimensional (%)		
			Ancho (mm)	largo(mm)	alto(mm)	Δ Ancho	Δ Largo	Δ Alto
1	A+patrón	0.55	122.1	242.5	93.6	-1.8	-1.0	-3.9
2	B+patrón	0.6	121.7	242.1	92.0	-1.4	-0.9	-2.2
3	A+10%PET	0.55	122.4	242.7	93.4	-2.0	-1.1	-3.7
4	B+10%PET	0.6	121.6	241.7	93.4	-1.3	-0.7	-3.8
5	A+20%PET	0.55	120.8	241.4	91.9	-0.7	-0.6	-2.1
6	B+20%PET	0.6	121.7	242.3	92.2	-1.4	-0.9	-2.4
7	A+30%PET	0.55	121.9	241.0	93.7	-1.6	-0.4	-4.1
8	B+30%PET	0.6	121.8	241.9	93.4	-1.5	-0.8	-3.8
9	C+patrón	0.65	120.7	241.2	93.7	-0.6	-0.5	-4.1
10	C+10%PET	0.65	121.6	242.3	93.1	-1.3	-1.0	-3.5

Fuente: Elaboración propia

E. Medida del alabeo del elemento prefabricado de concreto (NTP 399.604: 2002)

Se presenta la medición de la distorsión de la superficie cóncava, superficie convexa, bordes cóncavos y bordes convexos. Se indica los datos, ensayo de medida en el cuadro N°40 y Fig. N°12:

Cuadro N° 40: Medida de alabeo del ladrillo de concreto.

N°	CONCAV (PLANO SUP)		CONCAV(PLANO INF)		CONVEXIDAD EN CUATRO ESQUINAS DE BORDE (PLANO SUPERIOR) DEFORMACIÓN					CONVEXIDAD EN CUATRO ESQUINAS DE BORDE (PLANO INFERIOR) DEFORMACIÓN				
	DEFORMACIÓN (1) (mm)	DEFORMACIÓN (2) (mm)	DEFORMACIÓN (3) (mm)	DEFORMACIÓN (4) (mm)	(1) (mm)	(2) (mm)	(3) (mm)	(4) (mm)	mayor de las 4 medidas	(1) (mm)	(2) (mm)	(3) (mm)	(4) (mm)	mayor de las 4 medidas
	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.5	1.0	1.5	0.5	0.5	1.0	1.0
2	0.5	0.5	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
4	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
9	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia



Fig. N° 12: Medición del tamaño del ladrillo de concreto En el laboratorio LEM N°01 FIC-UNI

X. ANÁLISIS DE COSTO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO CON PET RECICLADO

10.1 BLOQUETA DE CONCRETO CON PET RECICLADO

a. Resumen de costos por unidad de bloque hueco de concreto con medida modular (39cmx9cmx19cm).

Se presenta los costos del bloque de concreto patrón adicionado 15%,30% y 45% de plástico PET, en el cuadro N°41 y cuadro N°42

Cuadro N° 41: Costos por unidad de elemento del bloque de concreto en soles(s/.)

DESCRIPCIÓN	A/C	COSTOS POR DISEÑO (S/.)			
		PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 15% PET	PATRÓN + 30% PET	PATRÓN + 45% PET
A	0.70	1.14	1.27	1.40	1.54
B	0.75	1.11	1.26	1.41	1.55
C	0.80	1.07	1.27	1.41	1.55

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 42: costos por unidad de elemento del bloque de concreto en porcentajes.

COSTOS POR DISEÑO (%)					
DESCRIPCIÓN	A/C	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 15% PET	PATRÓN + 30% PET	PATRÓN + 45% PET
A	0.70	100%	111%	123%	134%
B	0.75	100%	114%	127%	140%
C	0.80	100%	118%	131%	144%

Fuente: Elaboración propia

10.2 LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO

a. Costos por unidad de Ladrillo de concreto con medida modular (12cm x 24cm x 9 cm).

Se presenta los costos del ladrillo de concreto con relación a/c: 0.55 de mezcla de concreto patrón adicionado 10%,20% y 30% de plástico PET, se presenta en el cuadro N°43 y cuadro N°44.

Cuadro N° 43: costos por unidad de elemento del Ladrillo de concreto

COSTOS POR DISEÑO (\$/.)					
DESCRIPCIÓN	A/C	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 20% PET	PATRÓN + 30% PET
A	0.55	0.87	0.90	0.94	0.98

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 44: costos por unidad de elemento del Ladrillo de concreto

COSTOS POR DISEÑO (%)					
DESCRIPCIÓN	A/C	PATRÓN + 0% PET	PATRÓN + 10% PET	PATRÓN + 20% PET	PATRÓN + 30% PET
A	0.55	100%	103%	108%	113%

Fuente: Elaboración propia

- Al observar los resultados del ensayo de compresión en el mortero se concluye que el porcentaje de plástico PET adicionado afecta la resistencia final, donde los diseños de mortero con adición del 1%, 2% y 3% de plástico PET a los 28 días presentan un 94%, 87% y 86% de la resistencia obtenida en el diseño patrón.
- El resultado de ensayo por compresión del concreto con una relación a/c = 0.65 + 5% de plástico PET presenta una resistencia final de 201.22 kg/cm², diseño que puede ser empleado en estructuras que requieran una resistencia de 175 kg/cm². Si observamos el diseño de relación a/c=0.65 + 10% obtenemos una resistencia final de 141.55kg/cm², este diseño es una alternativa en estructuras de concreto que requerían una resistencia de 140 kg/cm².
- En el análisis de resistencia a la compresión en bloques de concreto el diseño con una relación a/c=0.70 +15% plástico PET presenta una resistencia de 62.92 kg/cm² la cual es mayor a la requerida para muros portantes (resistencia mínima = 50 kg/cm²). La resistencia a la compresión en los diseños de relación a/c= 0.70 + 45% PET, a/c= 0.75 + 30% PET y a/c= 0.80 + 30% plástico PET superan el límite permisible para ser útiles en muros de tabiquería (resistencia mayor a 20 kg/cm²).
- Los resultados de ensayo de resistencia a la compresión en los ladrillos de concreto indican que los diseños de relación a/c= 0.55 +10% plástico PET y a/c= 0.60 +10% plástico PET superan la resistencia mínima (95 kg/cm²) para ser clasificados como ladrillo tipo III de acuerdo a la norma establecida.
- Luego de realizar las pruebas de asentamiento y guiarnos a partir de los diseños patrón observamos que el concreto fresco reducirá su trabajabilidad en proporción al porcentaje de plástico PET agregado en la mezcla. Los diseños patrón de concreto presentan un asentamiento de 3” a 4” y los diseños con mayor porcentaje de 15% PET no presentan asentamiento.
- El contenido de aire en promedio del concreto fresco es del 1.40% rango aceptable según la NTP 339.083, 2003.
- El ensayo de variación dimensional realizado a los bloques de concreto ($\Delta A_{max} = -1.7\%$; $\Delta L_{max} = 0.6\%$; $\Delta H_{max} = -1.4\%$) cumple los parámetros del RNE-0.70 (cap. 3 tabla 1).
- El ensayo de alabeo realizado en los bloques de concreto presenta un alabeo máx. : 4mm cumpliendo el parámetro del RNE- 0.70 (cap. 3 tabla 1).

- El ensayo de variación dimensional realizado a los ladrillo de concreto ($\Delta A_{\max} = -2\%$; $\Delta L_{\max} = -1.1\%$; $\Delta H_{\max} = -3.90\%$) cumple los parámetros del RNE-0.70 (cap. 3 tabla 1).
- El ensayo del alabeo realizado para el ladrillo de concreto se tiene como alabeo máx. : 1mm cumpliendo el parámetro del RNE- 0.70 (cap. 3 tabla 1).
- El costo de producción de la unidad de ladrillo de concreto con adición de plástico PET en los diseños del 0%,10%, 20% y 30% PET es de S/.0.87, s/.0.90, s/.0.94, s/.0.98 nuevos soles respectivamente, podemos concluir que los costos de producción de los diseños no varían significativamente.

RECOMENDACIONES

- La elaboración de elementos prefabricados de concreto se presenta como una alternativa para la reutilización del plástico PET, la presente investigación es el primer paso para estudios futuros de alternativas ecológicas para la construcción.
- En investigaciones posteriores se puede optimizar los costos de producción de las unidades prefabricadas de concreto, más aun si se producen a gran escala.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute (ACI), “Guide for Consolidation of Concrete (ACI 309R-05)”, 2005, Lima 2005.
- American Concrete Institute (ACI), “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)”, 2009, Lima 2009.
- A. M. Neville y J. J. Brooks. “Tecnología del Concreto”, Primera edición, México 1998.
- ASTM, “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field (ASTM C31/C31M-08b)”, 2008, US 2008.
- ASTM, “Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete. (C138/C138M-10b)”, 2010, US 2010.
- INDECOPI, “AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (NTP 400.012)”, 2013, Lima 2013.
- INDECOPI, “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. (NTP 400.017)”, 2011, Lima 2011.
- INDECOPI, “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que

pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N°200) por lavado en agregados. (NTP 400.018)”, 2013, Lima 2013.

- INDECOPI, “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. (NTP 400.022)”, 2013, Lima 2013.
- INDECOPI, “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. (NTP 400.021)”, 2002, Lima 2002.
- INDECOPI, “HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados. (NTP 339.047)”, 2006, Lima 2006.
- INDECOPI, “HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. (NTP 339.034)”, 2013, Lima 2013.
- INDECOPI, “HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. (NTP 339.084)”, 2012, Lima 2012.
- INDECOPI, “HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. (NTP 339.078)”, 2012, Lima 2012.
- INDECOPI, “HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. (NTP 339.082)”, 2011, Lima 2011.
- INDECOPI, “HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. (NTP 339.035)”, 2009, Lima 2009.
- INDECOPI, “HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. (NTP 339.033) ‘’, 2009, Lima 2009.
- INDECOPI, “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso no estructurales. Requisitos (NTP 339.600) ‘’, 2010, Lima 2010.
- INDECOPI, “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de concreto. requisitos (NTP 339.601) ‘’, 2006, Lima 2006.
- INDECOPI, “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. (NTP 339.604) ‘’, 2002, Lima 2002.