

# COMPORTAMIENTO MECÁNICO A COMPRESIÓN Y FLEXO-TRACCIÓN DE HORMIGONES TIPO H-21 CON INCORPORACIÓN DE POLIETILENO DE TEREFALATO MEDIANTE LA METODOLOGÍA AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

## MECHANICAL BEHAVIOR TO COMPRESSION AND FLEXO-TRACTION OF TYPE H-21 CONCRETE WITH INCORPORATION OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE USING THE AMERICAN CONCRETE INSTITUTE METHODOLOGY

VACA SOLIZ, D. M., ROCHA ARGOTE, F.

### RESUMEN

**U**n análisis del comportamiento mecánico del hormigón utilizando distintos porcentajes de polímero tipo PET, determinando los efectos que tendrá en el hormigón al ser sometido a ensayos de resistencia a compresión y flexo-tracción. Se determinaron las características que tienen los agregados empleados, bajo la norma ASTM (Sociedad Americana de los ensayos a los materiales), la dosificación se basó en la norma ACI 211 (American Concrete Institute), se obtuvo una dosificación para el hormigón patrón H-21 y en base a ello se realizaron tres dosificaciones relacionados al peso de la arena empleando los porcentajes 0,25, 0,50 y 1,00 % con la adición de polímero tipo PET para proceder a realizar las pruebas de desempeño al hormigón que comprende la resistencia a la compresión y flexo-tracción a los 3, 7 y 28 días. Al evaluar los resultados se obtiene que la presencia del polímero PET en el hormigón aumenta el costo del producto final, sin embargo, se presenta un aumento de resistencia sobre la fabricación final del producto.

### PALABRAS CLAVE

Compresión,  
Flexo-Tracción,  
Hormigón tipo H-21,  
Hormigones modificados,  
Poliétileno Tereftalato

### ABSTRACT

**A**n analysis of the mechanical behavior of concrete using different percentages of PET-type polymer, determining the effects it will have on the concrete when subjected to compression and flexural-traction resistance tests. The characteristics of the aggregates used were determined, under the ASTM standard (American Society of Materials Testing), the dosage was based on the ACI 211 standard (American Concrete Institute), a dosage was obtained for the H-pattern concrete. 21 and based on this, three dosages were made related to the weight of the sand using the percentages 0.25, 0.50 and 1.00% with the addition of PET type polymer to proceed with performing the performance tests on the concrete that includes the resistance to compression and flexure-traction at 3, 7 and 28 days. When evaluating the results, it is obtained that the presence of the PET polymer in the concrete increases the cost of the final product, however, there is an increase in resistance over the final manufacturing of the product.

### KEYWORDS

Compression,  
Flexo-traction,  
Concrete type H-21,  
modified concretes,  
Polyethylene Terephthalate

## INTRODUCCIÓN

La producción de Polietileno de Tereftalato, ha tenido un crecimiento exponencial llevando a que este material sea muy utilizado en las industrias de alimentos y bebidas en altas cantidades a nivel mundial.

El PET tiene propiedades mecánicas como alto valor de dureza y de resistencia a la abrasión, valores medios de resistencia a la propagación de grietas por tensión y baja resistencia al impacto, así como alta capacidad de absorción de agua, elevada impermeabilidad a gases, vapor de agua, aromas y aislamiento eléctrico medio.

Se ha buscado el uso de material reciclado en el concreto ya que, al ser el plástico el segundo material más contaminante a nivel mundial, hace que se vea la necesidad de mitigar el daño causado en el medio ambiente.

Por lo anterior se ha considerado reemplazar agregados y compuestos, como las fibras reciclables, en las adiciones del concreto, como la adición de desechos de construcción, ceniza volante, cáscara de arroz, entre otros. En este trabajo se presenta el PET ya que este material es desechado en grandes cantidades, tanto por las industrias como por los hogares, a nivel mundial.

La industria de la construcción es uno de los sectores que más contamina, es por ello que se debe ser más consciente con el medioambiente creando tecnologías eficientes y ecológicas que minimicen los impactos medioambientales y sean sustentables en el tiempo, así como también buscar la opción de aprovecharlos para una segunda vida.

En el sector de la construcción uno de los materiales más utilizados es el hormigón, debido a sus excelentes características físicas de durabilidad, resistencia a la compresión y docilidad del material en estado fresco. La obtención de áridos necesarias para la obtención del cemento, puede implicar la destrucción de ciertos hábitats. (Infante & Valderrama, 2019)

Por otro lado, los residuos también generan un gran impacto en el medio ambiente, sobre todo aquellos de lenta degradación, como el caso de los plásticos, los cuales se acumulan en vertederos, basurales o rellenos sanitarios, que con el tiempo forman parte de los lixiviados, creando un peligro al contaminar aguas subterráneas. (Infante & Valderrama, 2019)

Estos estudios están orientados a evaluar el efecto de agregar en el hormigón Polietileno Tereftalato, PET, proveniente del reciclaje de las botellas plásticas como polímero en reemplazo de la arena y analizar sus consecuencias, tanto técnicas en la resistencia a compresión y a la flexión, como económicas frente a los competidores más cercanos para conocer su viabilidad y competencia en el mercado. Además de abordar un análisis medioambiental. (Infante & Valderrama, 2019)

## DESARROLLO

De los materiales que conforman el hormigón, el agregado grueso que se utilizó fue de ¾ in, procedente del Río Abapó, departamento de Santa Cruz, municipio de Cabezas, zonas de extracción de agregado de canto rodado para hormigones. El agregado fino fue extraído del Río Piraí. Los ensayos fueron realizados según las normas de Asociación Americana de Materiales (ASTM) y método ACI.

Contenido de humedad, ASTM C566.

Agregado fino	1,99 %
Agregado grueso	2,32 %

Análisis granulométrico, ASTM C136.

El análisis granulométrico del agregado fino, la curva gravimétrica se muestra en la figura 1.

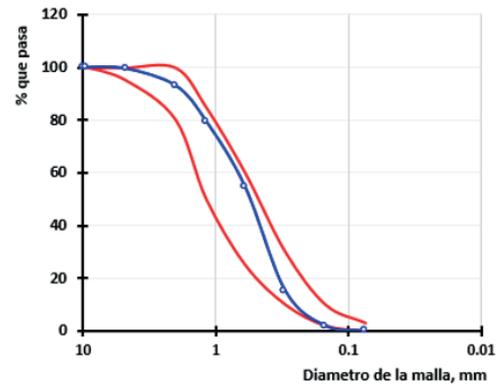


Figura 1. Curva granulométrica de agregados finos

Agregado grueso La figura 2 muestra la curva granulométrica para el agregado grueso.

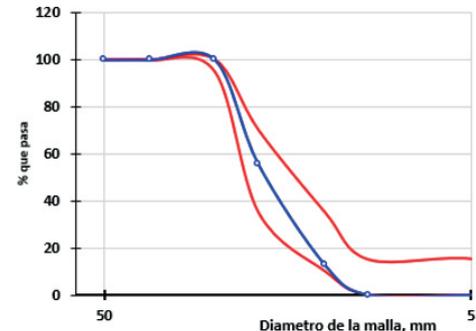


Figura 2. Curva granulométrica agregado grueso

Peso unitario de los agregados, ASTM C29.

Agregado fino:

Peso unitario suelto	1,663 g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,767 g/cm <sup>3</sup>

Agregado grueso:

Peso unitario agregado grueso	1,393 g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,503 g/cm <sup>3</sup>

Densidad real, neta y absorción de los agregados finos, ASTM C128.

$$\rho_{\text{real seco}} = 2,59 \text{ g/cm}^3 \quad \rho_{\text{neta}} = 2,65 \text{ g/cm}^3 \quad \text{absorción, } \alpha = 0,87$$

Densidad real, neta y absorción de los agregados gruesos, ASTM C127.

$$\rho_{\text{real seco}} = 2,50 \text{ g/cm}^3 \quad \rho_{\text{neta}} = 2,71 \text{ g/cm}^3 \quad \text{absorción, } \alpha = 3,04$$

Equivalente de arena, ASTM D2419.

El equivalente de arena determinado fue 33,61 %.

Desgaste del agregado grueso, ASTM C31

El desgaste mediante la máquina de los ángeles

% de desgaste = 32 %.

Finura del cemento portland por medio del tamiz N° 200, ASTM C 184.

La finura determinada fue 96,80 %

Peso específico del cemento, ASTM C188.

El peso específico del cemento Warnes IP 40 mediante el frasco Lechatelier.

$\rho = 2,95 \text{ g/cm}^3$

Consistencia normal del cemento hidráulico, ASTM C187.

W% = 28.5 %

Exudación del Concreto, ASTM C232.

Ensayo de la capacidad exudación del hormigón patrón H-21,

Exudación = 4,08 %

La tabla 1 muestra la caracterización de los materiales del polímero tipo PET.

Tabla 1 Características de los materiales del polímero tipo PET

Porcentaje de PET, %	0,25	0,50	1,00
Humedad, ASTM C566, %	2,11	2,06	2,02
	Suelto		
Peso unitario del agregado fino ASTM C29, g/cm <sup>3</sup>	1,648	1,651	1,649
	Compacto		
	1,766	1,775	1,763
Densidad real de árido seco, g/cm <sup>3</sup>	2,62	2,58	2,58
Densidad neta, g/cm <sup>3</sup>	2,66	2,63	2,62
Absorción de agua, %	0,56	0,70	0,60
Consistencia normal del cemento, %	36,91	37,81	38,61
Exudación del concreto ASTM C232,	4,95	5,41	10,33

La figura 3 muestra las curvas gravimétricas para agregado fino con incorporación del polímero tipo PET

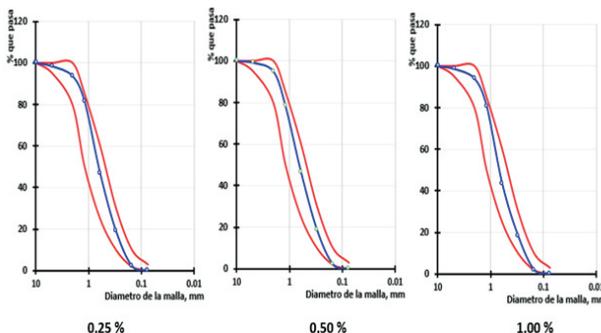


Figura 3. Curvas gravimétricas para agregado fino con incorporación del polímero tipo PET

En la tabla 2 se indica la dosificación y elaboración de hormigón tipo H-21 mediante el método ACI.

Tabla 2. Dosificación de hormigón tipo H-21 para vigas, columnas y muros 100 mm -25 m

Selección del asentamiento	
Tamaño máximo del agregado grueso, mm	19
Contenido de agua, según la tabla, l/m <sup>3</sup>	200
Relación agua/cemento. Según la tabla	0,684
Contenido de cemento, kg/m <sup>3</sup>	292,4
Módulo de finura, %	2,56
Peso del hormigón fresco, kg/m <sup>3</sup>	2355
Contenido de agregado fino, kg	894,67
Contenido de agregado grueso, kg	967,93
Ajuste por humedad de los agregados	
Agregado fino corregido, kg	912,47
Agregado grueso corregido, kg	990,39
Agua neta o efectiva en la mezcla, litros	183,01

Las distintas dosificaciones para el hormigón armado Tipo H-21 y hormigones modificados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Dosificación de Hormigón armado tipo H-21 y modificado con polímeros tipo PET mediante el método ACI.

	Cemento, kg	Agua, l	Arena, kg	Grava, kg	PET
H-21	292,4	183,01	912,47	980,39	--
H-21+0,25 PET	292,4	179,14	916,61	987,32	2,29
H-21+0,50 PET	292,4	180,82	919,23	984,24	4,60
H-21+1,00 PET	292,4	180,27	921,96	981,16	9,22

Los resultados del método de ensayo a la compresión de probetas cilíndricas, ASTM C39, se muestran en la figura 4.

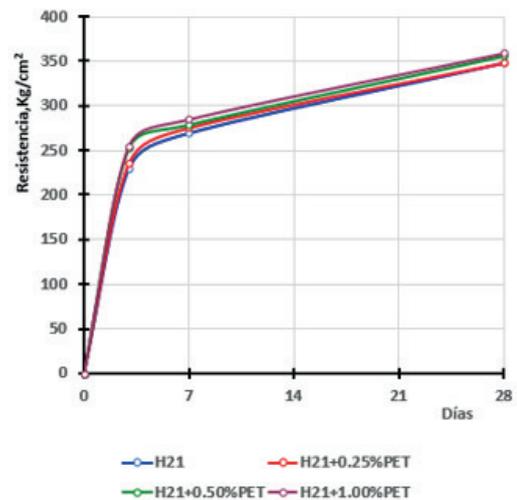


Figura 4. Curva de resistencia a compresión de hormigón patrón H-21 y hormigón modificado con polímeros tipo PET

Los resultados del método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón ASTM C78 se exhiben en la figura 5.

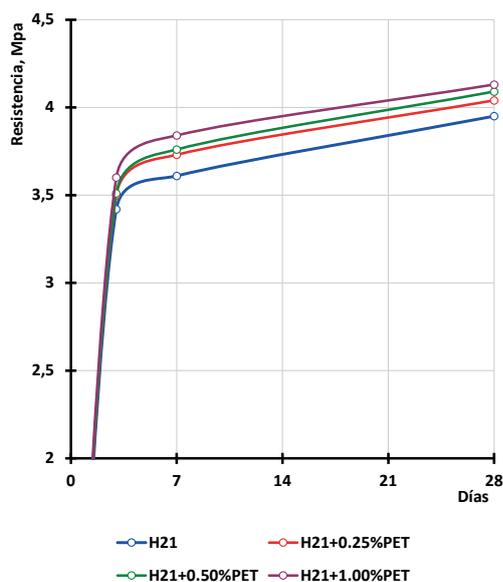


Figura 5. Curva de resistencia de vigas a compresión de hormigón patrón H-21 y hormigón modificado con polímeros tipo PET

## CONCLUSIONES

En los análisis realizados tanto al agregado fino como al agregado grueso, extraídos de la localidad de Abapó y Rio Piraí, empleando lo señalado en las normas ASTM, AASHTO indican que este material cumple con todas las especificaciones, lo cual significa que el agregado es apto para su uso en hormigones.

En los ensayos realizados al cemento Warnes IP40, el porcentaje de finura es mayor al 78%, indicado en la norma ASTM. Este valor señala que el cemento usado presenta grano fino, mismo que se hidrata de manera rápida contribuyendo a resistencias altas a temprana edad, por lo tanto, se puede observar que el cemento utilizado es apto para el uso en hormigones.

Se usó el polímero tipo PET con tres diferentes porcentajes: mínimo, medio y máximo, 0,25, 0,50 y 1,00 %. La dosificación de un hormigón convencional, cuyas proporciones son 1 de cemento, 3,12 arena, 3,39 grava, así como también para el hormigón modificado, alcanzó los valores de resistencia establecidos, tanto para el hormigón patrón como para el hormigón modificado, con incorporación del polímero tipo PET.

Al realizar la dosificación con incorporación del polímero PET se evidenció la exudación en los especímenes de hormigón, así mismo como que el asentamiento disminuye al aumentar el polímero PET.

Se logró realizar la rotura de probetas, cilíndricas y prismáticas, verificando el cumplimiento de la resistencia planificada de acuerdo con la dosificación realizada anteriormente, habiéndose podido observar un incremento en la resistencia del hormigón con polímero tipo PET respecto al hormigón patrón.

## REFERENCIAS

ACI AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. NORMAS  
ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, NORMAS  
AUZA, G. L. (2017). GUÍA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y HORMIGÓN. SANTA CRUZ DE LA SIERRA, EMI.  
CASTILLO A. (2009). TECNOLOGÍA DEL CONCRETO. PALMA, J. L. (2021). TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES AGREGADOS RECICLADOS.  
INFANTE, J., & VALDERRAMA, C. (2019). ANÁLISIS TÉCNICO, ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL DE LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN CON POLIETILENO TEREFALATO RECICLADO (PET). SCIELO

CITA

