



# Cemento mezclado con PET

Z. Bi, D. Sánchez, J. D. Soto, V. A. Ruiz

E.T.S.I. de Caminos, Canales y puertos, Universidad Politécnica de Madrid, C/ Profesor Aranguren 3, E28040, Madrid, Spain

## INFORMACIÓN

### Información del Proyecto:

Entrega anteproyecto 24 Febrero 2019

Entrega Proyecto 15 Mayo 2019

Disponible online 21 Mayo 2019

### Keywords:

Cemento

PET

Ensayos mecánicos

## ABSTRACT

En este informe se trata de la creación de cemento mezclado con PET, así como de las características de ambos materiales por separado. Explicaremos todo lo relacionado acerca de la modificación de este nuevo material, así como las pruebas realizadas. La prueba principal fue el ensayo de impacto, ver que material rompe antes y si cambia algo al añadir el PET. Los resultados fueron favorables y positivos. Utilizamos una reposición de fotos para ayudarnos a ver los cambios producidos durante el proceso y para que los resultados sean más visuales.

© 2019 ESTRUMAT 2.0. All rights reserved.

## 1. Introducción

En el presente informe exponemos el trabajo realizado para la asignatura de Estructura de Materiales II, cursada en el Grado en Ingeniería de Materiales.

Esta práctica tiene como objetivo la fabricación y mejora de las propiedades del cemento Portland tras añadir PET. El PET es un tipo de plástico utilizado en envases y textiles.

Otro de los objetivos de esta práctica es reducir la contaminación ambiental ocasionada por los envases de PET, así como darle un segundo uso a este material.

Para llevar a cabo este objetivo hemos utilizado un ensayo de impacto que fue realizado en un taller de mecanizado, Comesa, Material de Perforación.

Elegimos este ensayo para determinar y comparar la resistencia a impacto entre el cemento y el cemento con PET.

Para poder interpretar los resultados del experimento nos han sido útiles la teoría de las asignaturas de estructura de materiales I y II. Además de otros aspectos técnicos nombrados en la bibliografía.

## 2. Materiales y métodos

Los materiales utilizados durante el proyecto fueron:

- Cemento Portland CEM II/B-L 32,5 N
- Tereftalato de polietileno (PET)
- Cilindro de acero de 4,7 kg.
- Báscula de peso para los diferentes materiales

### 2.1. Cemento

Se denomina cementos a los conglomerantes hidráulicos que, amasados con agua, fraguan y se endurecen sumergidos en este líquido, y son prácticamente estables en contacto con él. Las propiedades del cemento son:

- Resistencia a la compresión
- Test de la aguja Vicat
- Expansión
- Calor de hidratación
- Retracción
- Densidad

#### Propiedades generales

Densidad	①	1,0e3	-	2,2e3	kg/m <sup>3</sup>
Precio	①	* 0,0846	-	0,101	EUR/kg
Fecha de primer uso (* significa AC)	①	-200			

#### Propiedades mecánicas

Módulo de Young	①	* 30,2	-	41,6	GPa
Módulo a cortante	①	* 13	-	17	GPa
Módulo en volumen	①	* 19	-	24,8	GPa
Coefficiente de Poisson	①	* 0,2	-	0,24	
Límite elástico	①	* 1,9	-	3	MPa
Resistencia a tracción	①	* 1,9	-	3	MPa
Resistencia a compresión	①	24	-	27	MPa
Elongación	①	0			% strain
Dureza-Vickers	①	* 5,6	-	6,2	HV
Resistencia a fatiga para 10 <sup>7</sup> ciclos	①	* 0,9	-	1,4	MPa
Tenacidad a fractura	①	0,35	-	0,45	MPa·m <sup>0,5</sup>
Coefficiente de pérdida mecánica (tan delta)	①	0,01	-	0,03	

Se denomina cemento Portland al producto obtenido por la mezcla íntima de calizas y arcillas, cocción de la mezcla hasta la sinterización y molienda del producto resultante, con una pequeña adición de yeso, con un grado de finura elevado. Este cemento es recomendable para ser usado en los siguientes casos:

- Hormigón en masa.
- Cimentaciones de hormigón en masa.

- Hormigón que contiene áridos potencialmente reactivos.
- Firmes de hormigón para carreteras.
- Hormigonado en tiempo caluroso y seco.
- Estabilización de suelos, cimentaciones, suelo-cemento, grava-cemento y obras subterráneas.
- Hormigones no estructurales y de limpieza.
- Sin embargo, este cemento no es recomendable para usarse en los siguientes casos:
- Hormigón pretensado, prefabricado y proyectado.
- Hormigones de alta resistencia.
- Hormigón para desencofrado y descimbrados rápidos.
- Medios con agresividad química moderada o alta como medios con sulfatos, cloruro, yesos, ácidos y materia orgánica.
- Estructuras cercanas al agua del mar o ambientes marinos.

Actualmente, existe una gran variedad de hormigón dependiendo del tipo de construcción que queramos realizar. A priori hay cinco tipos diferentes de cemento, con comportamientos definitorios específicos y composiciones químicas. A continuación, se adjunta una tabla con los diferentes tipos de cemento y sus características:

- CEM I: Cemento Portland.
- CEM II: Cemento Portland con adiciones.
- CEM III: Cemento horno alto.
- CEM IV: Cemento puzolánico.
- CEM V: Cemento compuesto.

TIPOS DE CEMENTOS COMUNES Y COMPOSICIONES: PROPORCIÓN EN MASA (1)									
Tipo de cemento	Denominación	Designación	Clinker	Escoria de horno alto	Humedad de oficina	Puzolana natural	Cenizas volantes	Caliza	Componente o mineralizaciones adicionales
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95-100	--	--	--	--	--	0-5
	Cemento Portland con escoria	CEM I/A-S	80-94	6-20	--	--	--	--	0-5
CEM II	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D	80-94	--	8-10	--	--	--	0-5
	Cemento Portland con cenizas volantes	CEM II/A-F	80-94	--	--	6-20	--	--	0-5
	Cemento Portland con cenizas volantes	CEM II/A-V	80-94	--	--	21-35	--	--	0-5
	Cemento Portland con cenizas volantes	CEM II/B-V	65-79	--	--	--	6-20	--	0-5
	Cemento Portland con cenizas volantes	CEM II/A-L	80-94	--	--	--	21-35	6-20	0-5
CEM III	Cemento Portland	CEM III/A-M	80-94	--	--	6-20 (4) (5)	--	--	0-5
	Cemento Portland	CEM III/B-M	75-79	--	--	21-35 (4) (5) (6)	--	--	0-5
CEM IV	Cemento puzolánico	CEM IV/A	25-64	35-65	--	--	--	--	0-5
	Cemento puzolánico	CEM IV/B	20-34	66-80	--	11-35 (4)	--	--	0-5
CEM V	Cemento compuesto	CEM V/A	45-69	--	--	36-55 (4)	--	--	0-5
	Cemento compuesto	CEM V/B	40-64	18-30	--	--	18-30	--	0-5

El cemento que hemos utilizado es cemento portland con caliza, de gama baja de clinker, tipo CEM II/B-L de resistencia media 32,5 MPa a 28 días con resistencia inicial normal N.



Fig. 1. Preparación de la mezcla



Fig. 2. Preparación de las probetas

## 2.2. PET

El tereftalato de polietileno (más conocido por sus siglas en inglés PET) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos, puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma y termoconformado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con lo que se logra una mayor transparencia. Algunas de sus propiedades son:

- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Buena resistencia química y térmica.
- Muy buena barrera al CO<sub>2</sub>, aceptable barrera al O<sub>2</sub> y humedad.
- Es reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad.

Composición (resumen)	
$(C_{10}H_{14}O_2)_n$	
Propiedades generales	
Densidad	1,2963 - 1,463 kg/m <sup>3</sup>
Peso	1,55 - 1,58 EUR/kg
Fecha de primer uso ("*" significa AC)	1941
Propiedades mecánicas	
Módulo de Young	2,76 - 4,14 GPa
Módulo a cortante	0,994 - 1,49 GPa
Módulo en volumen	4,95 - 5,2 GPa
Coefficiente de Poisson	0,381 - 0,396
Límite elástico	56,5 - 62,3 MPa
Resistencia a tracción	48,3 - 72,4 MPa
Resistencia a compresión	62,2 - 68,5 MPa
Elongación	30 - 300 % strain
Dureza-Vickers	17 - 18,7 HV
Resistencia a fatiga para 10 <sup>7</sup> ciclos	19,3 - 29 MPa
Tenacidad a fractura	4,5 - 5,5 MPa·m <sup>0,5</sup>
Coefficiente de pérdida mecánica (tan delta)	0,00966 - 0,0145

Para la realización de este proyecto fue necesario comprar una bolsa de cemento en polvo, dos envases iguales donde dejar reposar el cemento, agua, botellas de plástico para extraer el PET y una espátula. Primero, pusimos en uno de los envases el cemento en polvo y lo mezclamos con agua. Este proceso lo realizamos dos veces. El primer bloque fue el cemento básico sin mezclarlo con PET. El segundo bloque con adicción de PET. Las botellas de plástico se cortaron en láminas finas y se introdujeron en el cemento antes de que fraguase. Para que el cemento consiga sus características, es necesario dejarlo reposar un mínimo de dos semanas.

Transcurrido este tiempo, nos dispusimos a comparar las propiedades de este nuevo material con el original. Como no disponíamos de los recursos necesarios para realizar los ensayos que queríamos, solo pudimos realizar un ensayo a impacto con los instrumentos disponibles. Para medir el peso de los ladrillos utilizamos una báscula proporcionada por el taller Comesa. El primer ladrillo (solo cemento) pesaba 1,88kg mientras que el segundo (cemento con PET) tenía un peso de 2,5kg. El cilindro de acero que lanzamos desde diferentes alturas pesaba 4,7kg.

Las pruebas de impacto se utilizan para estudiar la tenacidad de un material. Las pruebas mecánicas pertenecen al grupo de pruebas mecánicas dinámicas. Debido al material con el que contábamos, realizamos una prueba a la caída, dejando caer el cilindro de acero desde diferentes alturas sobre el cemento. Primero ensayamos el cemento sin PET y a continuación el cemento mezclado.



Fig. 3. Probetas obtenidas tras los ensayos

### 3. Resultados

Tras dejar reposar durante dos semanas el cemento para que adquiriera sus características propias, realizamos el ensayo dicho en el apartado anterior para contrastar las propiedades de ambos cementos.

Para realizar el ensayo, utilizamos una pieza de acero adecuada en proporción tanto en tamaño como en peso del cemento fabricado. Al no saber a qué altura rompería cada cemento, hicimos varios intentos empezando desde una altura baja, la cual fuimos aumentando al observar los resultados. La altura máxima del experimento fue 1,75m.

Al realizar el ensayo de impacto, obtuvimos los siguientes resultados:

ALTURA (m)	CEMENTO SIN PET	CEMENTO CON PET
0.5	No rompe	No rompe
0.75	Sí rompe	No rompe
1.0		No rompe
1.5		No rompe
1.75		No rompe

El cemento sin adición rompió a una altura de 0,75m, mientras que el cemento con PET, aunque se agrietaba (no se considera roto hasta que no se desprende todo el material) no se rompió.

Este resultado nos sorprendió, puesto que no esperábamos que el nuevo cemento fuese capaz de soportar más del doble de altura sin romperse. Esto se debe a que, debido a las tiras de PET de su interior, se mantenía unido a pesar de las fracturas apreciadas en el material.



Fig. 4. Realización de los ensayos de impacto

### 4. Conclusiones

Nuestra hipótesis era que, al añadirle PET al cemento, éste no mejoraba en nada sus propiedades, pero al ensayarlo nos dimos cuenta de que no era así.

Las conclusiones que obtenemos es que el nuevo cemento creado obtiene mayor resistencia al impacto. Cuando el cemento sin PET era golpeado por segunda vez su final fue la rotura. Sin embargo, cuando golpeábamos el cemento con PET con el mismo peso y desde diferentes alturas se podía ver que se producían grietas en el material, pero no llegaba a la rotura completa.

Una de las razones por las que optamos por el PET, a parte de las propiedades que podía aportar al cemento fue para reducir su impacto medioambiental. De este modo podemos darle una segunda vida ya que sus propiedades, a excepción de la viscosidad, siguen siendo favorables.

### 5. Agradecimientos

Tras nuestra falta de recursos queríamos agradecer al taller Comesa, la empresa que nos ayudó a realizar nuestro ensayo de impacto. Gracias a ellos que nos prestaron sus instalaciones como sus instrumentos de trabajo.

### 6. Bibliografía

- [1] Definición y propiedades del cemento: (<https://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>)
- [2] Usos del cemento Portland ([http://www.valderrivas.es/recursos/doc/Productos/Cemento/Productos/EL\\_Alto/1728674572\\_1042012135813.pdf](http://www.valderrivas.es/recursos/doc/Productos/Cemento/Productos/EL_Alto/1728674572_1042012135813.pdf))
- [3] Definición y clases de cemento: ([http://www.elorrio.eus/ES/Ayuntamiento/Perfil-Contratante/2014%20Proyecto%20de%20urbanizacion%20del%20vial%20y%20puente6/P1201\\_PPTP\\_202\\_V03.pdf](http://www.elorrio.eus/ES/Ayuntamiento/Perfil-Contratante/2014%20Proyecto%20de%20urbanizacion%20del%20vial%20y%20puente6/P1201_PPTP_202_V03.pdf))
- [4] Definición de PET: (<http://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/aago/a5f.htm>)
- [5] Aplicaciones y usos no recomendables del cemento: (<http://www.launion.es/productos/tipos-de-producto-2/cemento-portland-caliza-cem-ii-b-1-32-5-n/>)
- [6] Definición y propiedades del PET: ([https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato\\_de\\_polietileno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno))