

# EFFECTO DEL REEMPLAZO DEL CEMENTO PORTLAND POR DIÓXIDO DE TITANIO EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL MORTERO

David Jimenez Cortes<sup>1</sup> Juan José Moreno Burbano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Estudiantes de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana Cali*

## Resumen

El sector de la construcción, al igual que otras industrias, es responsable de diferentes problemas ambientales tales como la generación de CO<sub>2</sub>, deterioro de ecosistemas derivado de la extracción de grandes cantidades de recursos minerales, calentamiento global, efecto de isla de calor, entre otros. Por lo tanto, hacer de la construcción un proceso más amigable con el medio ambiente es un desafío actual para nuestra sociedad. En el campo de los materiales de construcción, la incorporación del fotocatalizador TiO<sub>2</sub> resulta interesante para el desarrollo de propiedades controladas por la luz solar para generar propiedades de purificación del aire y auto-limpieza. Aunque esta tecnología ya se ha investigado desde hace algunos años, el uso a escala real aún es muy escaso. Dentro de las diferentes causas para lo anterior, se encuentran los resultados contradictorios en relación al efecto en las propiedades mecánicas derivadas del uso del TiO<sub>2</sub>. Por lo tanto, por medio de una evaluación sistemática de la resistencia a compresión y flexión de muestras de mortero que contienen 0, 5, 7.5, 8.5 y 10% TiO<sub>2</sub> (en base al peso del cemento) se investiga el efecto del remplazo parcial de cemento por nanoparticulas de TiO<sub>2</sub>. Adicionalmente, el diseño de una barrera de ruido usando el mortero fotocatalítico investigado se incluye.

## 1. Introducción

A nivel mundial el medio ambiente se encuentra en riesgo, debido a los drásticos daños sufridos por la industrialización y la explosión demográfica actual. Por tal razón, con ayuda de novedosas investigaciones se proponen establecer tecnologías para contrarrestar estos daños (*Muñoz, 2010*).

La industria de la construcción genera un alto impacto sobre la naturaleza, esto por la extracción de grandes cantidades de minerales para uso como agregados y la fabricación del cemento Portland. Además, por la liberación de CO<sub>2</sub> durante la producción de cemento y la generación de residuos como resultado de las actividades de demolición (*Otalvaro, 2013*).

Una importante tecnología estudiada en los últimos años en los materiales de construcción ha sido la inclusión de semiconductores como el TiO<sub>2</sub> en las mezclas de concreto o mortero, con el fin de eliminar contaminantes en las superficies expuestas al medio ambiente. Esta tecnología basada en la incorporación del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), mezclado en la matriz o adicionado en la superficie del concreto o mortero permite la purificación del aire y “auto-limpieza” de la superficie durante la irradiación solar (*Maggos, 2013*).

A pesar de que la adición del dióxido de titanio en el mortero muestra una muy buena respuesta en el área de la eliminación de contaminantes a nivel de laboratorio, aún existen resultados contradictorios sobre su

efecto en las propiedades mecánicas de estos materiales (Maury, 2015). Por lo tanto, en esta investigación se buscó evaluar sistemáticamente el efecto de reemplazo del cemento Portland por  $\text{TiO}_2$  en las propiedades mecánicas de los morteros.

Para evaluar las propiedades mecánicas de los morteros se realizaron ensayos de laboratorio con cubos para evaluar la resistencia a la compresión y con viguetas para evaluar la resistencia a la flexión con 5 diferentes mezclas, una muestra patrón la cual no contiene  $\text{TiO}_2$ , y las demás muestras con 5%, 7.5%, 8.5% y 10% de dióxido de titanio, a estas muestras también se le realizaron ensayos de absorción y densidad, por último se compararon los costos directos de las muestras con dióxido de titanio y los morteros tradicionales.

En conclusión se puede decir que la muestra que mejores resultados obtuvo fue la de 5% de dióxido de titanio, ya que sus resistencias no fueron afectadas en el caso de la flexión y aumentó su resistencia a la compresión, también se evidencio que entre más dióxido de titanio fue añadido al mortero como en el caso de la muestra de 10%, esta fue menos consistente ya que empezó su proceso de fraguado muy rápido lo cual genero dificultades a la hora de colocar la mezcla dentro de los moldes, y resultó una muestra poco uniforme.

### **1.1 Objetivo general**

- Evaluar el efecto en las propiedades del mortero con reemplazo del cemento Portland por  $\text{TiO}_2$ .

### **1.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar los componentes de las mezclas de mortero.
- Determinar la resistencia a la compresión de morteros con diferentes porcentajes del  $\text{TiO}_2$ .

- Determinar la resistencia a la flexión de morteros con diferentes porcentajes del  $\text{TiO}_2$ .
- Conocer las propiedades físicas de los morteros (densidad y absorción)
- Comparar el costo entre el mortero tradicional y el mortero con reemplazo del cemento Portland por  $\text{TiO}_2$ .
- Diseñar una estructura que contenga mortero con dióxido de titanio, la cual cumpla con los parámetros establecidos por la norma técnica sismo resistente colombiana (NSR-10).

## **2. Revisión bibliográfica**

En la investigación del efecto del reemplazo del cemento Portland por  $\text{TiO}_2$  en las propiedades mecánicas se han encontrado resultados divergentes. Unos autores han encontrado resultados en donde se incrementa la resistencia con la adición de  $\text{TiO}_2$ , otros autores no han encontrado efecto alguno y otros reducciones importantes con el contenido de  $\text{TiO}_2$  adicionado. De igual forma se han encontrado reducciones en la plasticidad de las mezclas con la adición de  $\text{TiO}_2$ . A continuación se describen en detalles tales resultados previos.

### **2.1 Marion Lackhoff (2003)**

Este autor realizó ensayos de resistencia a la compresión con una muestra de mortero de referencia, y otros morteros con diferentes compuestos incluido el dióxido de titanio en un 10% en reemplazo por cemento portland, Lackoff llegó a la conclusión de que el mortero con 10% de dióxido de titanio obtuvo un aumento del 20% en comparación a la muestra de mortero sin  $\text{TiO}_2$ .

### **2.2 Ana María Aguilar (2013)**

Esta autora realizó ensayos de resistencia a la compresión y ensayo de fluidez en morteros

con cemento siderúrgico y puzolánico con reemplazo de TiO<sub>2</sub> en porcentajes de 5%, 10% y 15%. Estos morteros obtuvieron una disminución en su fluidez de hasta el 52% y una disminución de su resistencia a la compresión de hasta un 4% cuando se le reemplazo cemento por 10% de dióxido de titanio.

### 2.3 Meng T. (2012)

Este autor realizó ensayos de resistencia a la compresión y ensayo de fluidez en morteros con cemento portland, con reemplazo de TiO<sub>2</sub> en porcentajes de 5% y 10%. Estos morteros obtuvieron una disminución de hasta un 40% en su fluidez, por otra parte, obtuvieron un aumento en la resistencia inicial de hasta un 47% y una disminución en la edad de 28 días del 9% respecto al mortero sin dióxido de titanio.

### 2.4 Carolina Cárdenas (2012)

Esta autora realizó ensayos de resistencia a la compresión en morteros con reemplazo de TiO<sub>2</sub> en porcentaje de 3%. Este mortero obtuvo un aumento del 5.7% en la resistencia a la compresión respecto al mortero sin dióxido de titanio.

## 3. Metodología

**Diseño de la mezcla:** Se siguió el procedimiento descrito en el libro “Tecnología del concreto y del mortero” del autor Diego Sánchez de Guzmán.

**Caracterización de la arena:** Se realizaron ensayos de granulometría, módulo de finura y densidad aparente seca, siguiendo las normas ASTM-C144, ASTM C-136 y ASTM C128 respectivamente.

**Caracterización del cemento:** Se realizaron ensayos para hallar el peso específico y la fluidez del cemento, siguiendo las normas ASTM-C188 y ASTM-C1437 respectivamente.

**Ensayo de consistencia:** Se realizó el ensayo de fluidez del mortero siguiendo la norma ASTM-C230.

**Ensayo de resistencia a la compresión:** Se realizó este ensayo siguiendo la norma ASTM-C109, se utilizaron Moldes de 5x5x5 cm y se fallaron en la prensa universal instalada en el laboratorio de agregados de la Universidad Javeriana de la ciudad de Cali.

**Ensayo de resistencia a la flexión:** Se realizó este ensayo siguiendo la norma ASTM-C348, se utilizaron moldes Rille de 4x4x16 cm y se fallaron en la prensa universal Marshall instalada en el laboratorio de agregados de la Universidad Javeriana de la ciudad de Cali.

**Densidad y Absorción:** Se realizó este ensayo siguiendo la norma ASTM-C127.

En la siguiente tabla se muestran la cantidad de cubos y viguetas que se usaron para la realización de los ensayos mencionados anteriormente.

**Tabla 1.** Numero de viguetas y cubos ensayados

Muestra	% TiO <sub>2</sub>	Ensayo de compresión			Ensayo de flexión
		Día 7	Día 14	Día 28	Día 28
M0	0	3	3	3	3
M5	5	3	3	3	3
M7,5	7,5	3	3	3	3
M8,5	8,5	3	3	3	3
M10	10	3	3	3	-
<b>Total</b>		<b>45 cubos</b>			<b>12 viguetas</b>

## 4. Resultados y análisis

### 4.1 Ensayo de consistencia

En la tabla 2 se observan los resultados arrojados por dicho ensayo.

*Tabla 2. Resultados ensayo de consistencia*

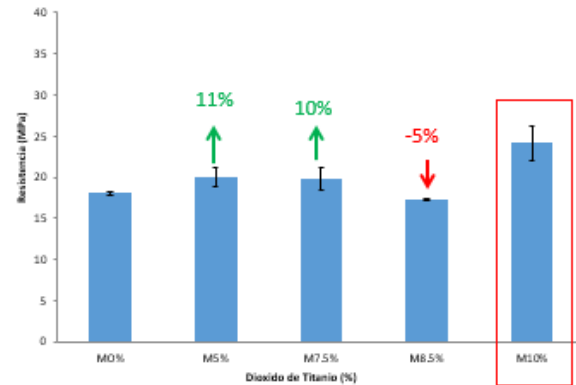
Muestra (%)	Diámetro Promedio (cm)	Porcentaje de fluidez (%)
M0	25	150
M5	25	150
M7.5	14.5	44.6
M8.5	14.1	41.1
M10	5.7	-42.9

Como se observa en esta tabla, el porcentaje de fluidez del mortero disminuye considerablemente cuando se reemplaza el cemento portland por dióxido de titanio con porcentajes de 7.5% y 8.5%.

En la tabla 2 se señala el resultado arrojado por la muestra de 10% de dióxido de titanio, esta muestra debido a su consistencia seca no permitió la preparación de las muestras de manera adecuada, por lo tanto, no se incluirá en el análisis de los resultados, estos se mostrarán para tener una base en posteriores investigaciones.

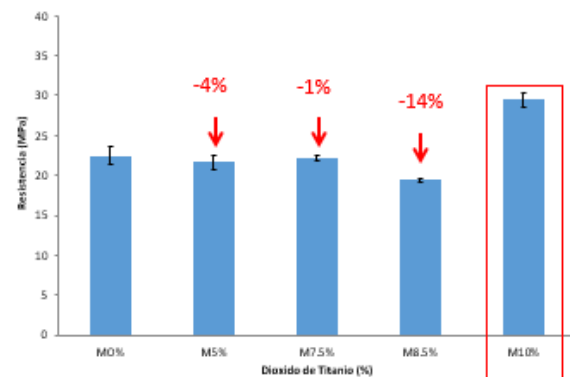
### 4.2 Ensayo de resistencia a la compresión

En la Figura 1 se presentan los resultados de la compresión a los 7 días.



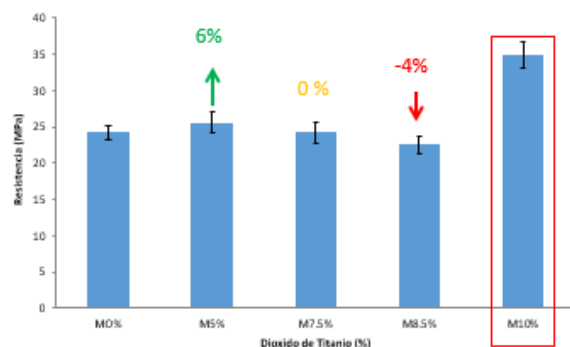
*Figura 1. Ensayo de compresión a los 7 días*

En la Figura 2 se presentan los resultados de la compresión a los 14 días.



*Figura 2. Ensayo de compresión a los 14 días*

En la Figura 3 se presentan los resultados de la compresión a los 28 días.



*Figura 3. Ensayo de compresión a los 28 días*

### 4.3 Ensayo de resistencia a la flexión

En la Figura 4 se observan los resultados de resistencia a la flexión a los 28 días.

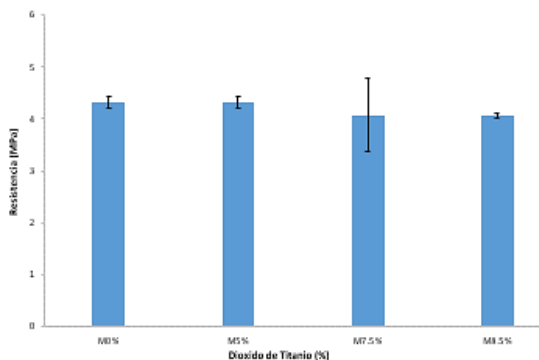


Figura 4. Ensayo de flexión a los 28 días

### 4.4 Ensayo de Densidad y Absorción

A continuación en la Tabla 3 se presentan los resultados de densidad y absorción

Tabla 2. Resultados ensayo de densidad y absorción

Muestra	Gravedad E. Bulk (g/cm <sup>3</sup> )	Bulk Saturada (g/cm <sup>3</sup> )	G. E. Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	% Absorción
M0%	1,87	2,12	2,49	13,36
M5%	1,85	2,11	2,51	14,16
M7.5%	1,81	2,07	2,46	14,50
M8.5%	1,75	2,03	2,42	15,76
M10%	1,86	2,08	2,39	12,64

Teniendo en cuenta la Tabla 3 presentada anteriormente, se puede observar un aumento en el porcentaje de absorción, es decir, un aumento en la porosidad de las muestras.

Por otro lado, se puede apreciar una densidad estable para las muestras de 0% y 5% de

TiO<sub>2</sub>; a diferencia de las muestras de 7.5% y 8.5% donde su densidad fue baja en comparación con la muestra de 0% de TiO<sub>2</sub>. Esto concuerda con los resultados obtenidos en los ensayos de la resistencia a la compresión y la flexión donde se evidencia una disminución en la muestra de 8.5%.

### 5. Análisis de Costos

A continuación en la Figura 5 se presenta una comparación económica entre el mortero tradicional y mortero con 5% de TiO<sub>2</sub>.

Adicionalmente, teniendo en cuenta el autor De La Hoz (2009) donde este menciona que la actividad fotocatalítica no se ve afectada si se usa solo TiO<sub>2</sub> en los primeros 4 mm.

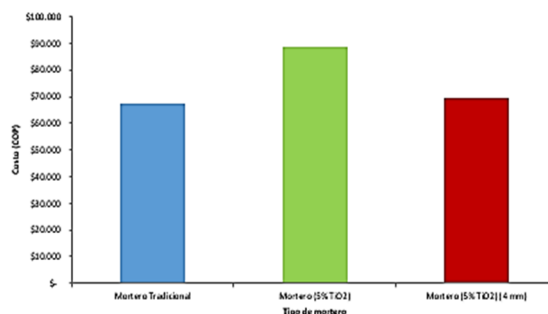


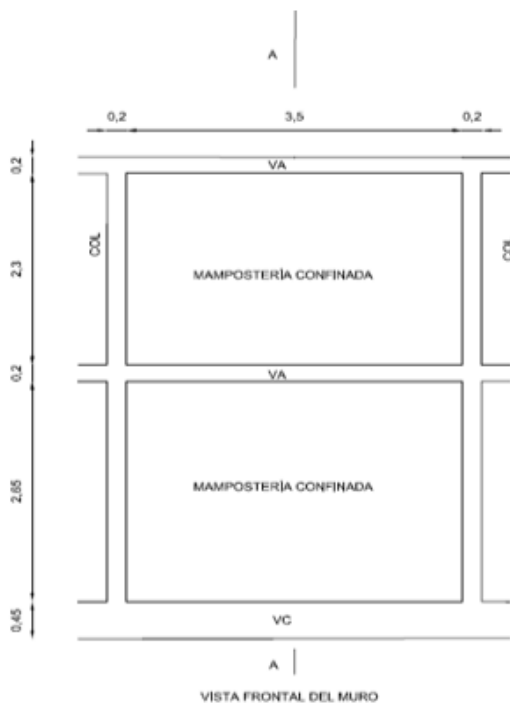
Figura 5. Relación de costos entre mortero tradicional, mortero adicionado con 5% de TiO<sub>2</sub> y mortero adicionado con 5% de TiO<sub>2</sub> con un espesor de 4mm.

Como se puede observar en la Figura 5, el TiO<sub>2</sub> con una capa de 4 mm (barra roja) obtuvo un incremento del 3% en comparación con el mortero tradicional (barra azul). Mientras que, si solo se usa el 5% de TiO<sub>2</sub> en toda la capa del mortero, este tiene un incremento del 32%.

Cabe resaltar que el dióxido de titanio tiene un valor comercial de 3 dólares por kg, por lo que en un futuro el uso de éste material sea mucho más económico.

## 6. Diseño muro o Barrera de Sonido

El único objetivo de este diseño de una barrera de sonido es mostrar una de las aplicaciones en la cual se puede incluir el TiO<sub>2</sub> en el mezclado o superficie del concreto o mortero.



**Figura 6.** Vista frontal del muro diseñado

Este muro se fundamenta en una obstrucción sólida construida entre la carretera y las viviendas aledañas, con el fin de reducir el ruido que proporcionan los vehículos que pasan por la carretera. Las barreras de sonidos se pueden construir a partir de tierra, concreto, mampostería, metal y otros materiales. Cabe resaltar y citando al autor De

La Hoz (2009), se tuvo en cuenta lo mencionado en el numeral anterior acerca de ser implementado el TiO<sub>2</sub> en los primeros 4mm de la estructura, donde su actividad fotocatalítica no se ve afectada.

Para la realización del diseño se utilizaron las especificaciones mínimas requeridas por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente (NSR-10)

## 7. Conclusiones

- El mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> reemplazado en el cemento obtuvo un incremento en la resistencia a la compresión de hasta 6%, mientras que la resistencia a la flexión no tuvo diferencias significativas, por otra parte, los morteros con 7.5% y 8.5% mostraron una disminución de su resistencia a la compresión y a la flexión, esto debido al aumento de la porosidad evidenciado en el ensayo de densidad y absorción.
- A medida que se aumentaba el porcentaje de TiO<sub>2</sub> a las muestras, estas tienden a perder plasticidad ya que su proceso de fraguado se acelera. Por lo tanto, aunque la resistencia se incrementó significativamente en la muestra del 10%, la consistencia (en estado fresco) no permitió la preparación de dichas muestras de manera adecuada. Por lo tanto, las muestras con 5% TiO<sub>2</sub> son las recomendadas para materiales fotocatalíticos. Esto concuerda con la literatura donde se encontró que el mortero con el material fotocatalítico

da como resultado el mayor incremento de la resistencia mecánica en comparación con el mortero no modificado (Lackhoff, 2003).

- El costo de la aplicación de mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> con reemplazo del cemento portland es solo 3% más costoso que el mortero tradicional.

## 8. Recomendaciones

- Dada la pérdida de manejabilidad con mayores porcentajes de TiO<sub>2</sub>, se recomienda el uso de plastificantes para mejorar la mezcla. Esto concuerda con los resultados de Meng T. (2012), donde 5% y 10% de aditivo se incluyó en las muestras.
- Considerando que las muestras de mortero con reemplazo de cemento portland 5% TiO<sub>2</sub> no ven afectada sus propiedades mecánicas, se recomienda en futuros proyectos la evaluación fotocatalítica de este material para evaluar su potencial de aplicación como material auto-limpiante y con capacidad de purificar el aire a nivel urbano.
- El uso de este tipo de mortero reduce casi en un 100% el mantenimiento anual que necesita una estructura común, lo cual lo hace muy atractivo a la hora de su uso (Aguilar, 2013).
- Este proyecto de grado fue realizado con el fin de abrir una nueva puerta a la investigación en el tema del reemplazo del cemento Portland en nuestro país, considerando que los

resultados obtenidos están a nivel de laboratorio, se hace necesario considerar la posibilidad de realizar dichas pruebas e investigaciones en proyectos a una escala muchos más grande, en donde se puedan observar resultados de mayor impacto.

## Referencias Bibliograficas

Ana María Marcela Aguilar (2013). *Evaluación técnico ambiental del TiO<sub>2</sub> en los morteros de cementos chilenos, Tesis de Maestría, Universidad del Bio-Bio. Santiago de Chile, Chile.*

Meng, Yu Y, Qian, Zhan, Qian K (2012). *Effect of nano- TiO<sub>2</sub> on the mechanical properties of cement mortar. Constr Build Mater.*

Lackhoff, Prieto, Nestle, Dehn, Niessner (2003). *Photocatalytic activity of semiconductor-modified cement-influence of semiconductor type and cement ageing. Appl Catal B-Environ.*

Cárdenas Ramírez, Carolina (2012). *Evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de dióxido de titanio, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Medellín, Colombia.*

Cassar, Carimne, Tognon, Guerrini, Amadelli (2003). *White cement for architectural concrete, possessing photocatalytic properties. Int. Congr. on the Chemistry of Cement.*

De La Hoz M. (2009). *Desinfección de aguas de uso agrícola, mediante la utilización de un fotocatalizador inmovilizado en mortero de cemento y activado por luz solar, (Doctor en Ingeniería Agrícola), Chillán, Chile, Universidad de Concepción, Depto. Recursos Hídricos, 101 h.*