



**MORTERO FOTOCATALITICO QUE LIMPIA LA CONTAMINACION
AMBIENTAL**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:

Miguel Angel Martin Gomez

Profesor Guía:

Alfredo Patricio Oyarzun Orellana

Noviembre 2018

Santiago, Chile

RESUMEN

Este proyecto de título está enfocado en la contaminación ambiental y en cómo desde la actividad de la construcción es posible contribuir con soluciones efectivas y de largo plazo. A través de una investigación bibliográfica y recopilación de antecedentes mostraré los avances en esta área.

En algunos países de Europa y Asia se ha estado explorando desde hace un tiempo el uso de materiales fotocatalíticos en el área de la construcción, ya que estos tienen la capacidad de descomponer y transformar estas partículas en material inofensivo para la salud.

Es así como se ha incorporado el dióxido de titanio como parte de la base de cemento, creando el mortero fotocatalítico.

En esta investigación se muestra cómo actúa el proceso de fotocatalisis y su capacidad descontaminante, por medio de la inclusión del dióxido de titanio como fotocatalizador en diferentes cantidades en las mezclas de mortero (0- 5- 7,5- 8,5 y 10% de TiO_2), y su impacto en las propiedades mecánicas del material, con el fin de eliminar los contaminantes que están expuestos en la superficie, permitiendo que un correcto uso del material bajo la acción del efecto de la luz solar contribuya en la reducción efectiva de los compuestos contaminantes que afectan al ser humano.

SOLO USO ACADÉMICO

ABSTRACT

This title project focuses on environmental pollution and how it is possible, from the construction activity, to contribute with effective and long-term solutions. Through a bibliographic investigation and a background compilation I will show the advances in this area.

In some countries in Europe and Asia, the use of photocatalytic materials in the construction area has been explored for some time, as they have the ability to decompose and transform these particles into harmless material for health.

This is how titanium dioxide has been incorporated as part of the cement base, creating the photocatalytic mortar.

This research shows how the photocatalysis process and its decontamination capacity act, by including titanium dioxide as a photocatalyst in different quantities in the mortar mixtures (0- 5-7.5- 8.5 and 10% TiO₂), and its impact The mechanical properties of the material, to eliminate the contaminants that are exposed on the surface, allowing a correct use of the material under the action of the effect of sunlight, contribute to the effective reduction of the polluting compounds that affect the human being.

SOLO USO ACADÉMICO

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
GLOSARIO	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1. FOTOCATÁLISIS Y SU CAPACIDAD DESCONTAMINANTE	2
2. ANTECEDENTES GENERALES	3
2.1 Óxidos de Nitrógeno	3
2.2 Dióxido de Titanio	5
2.3 Propiedades físicas del TiO ₂	6
3. ANÁLISIS DE DATOS RECOPIRADOS	7
3.1 Contaminación atmosférica en Chile	7
3.2 Proyección de emisiones de MP _{2,5}	7
3.3 Proyección de emisiones de Nox	9
4. APLICACIÓN DE REVESTIMIENTOS FOTO CATALÍTICOS EN PAVIMENTOS	10
4.1 Hormigón mezclado con TIO ₂	10
4.2 Empleo de sprays sobre pavimentos ya existentes	10
4.3 Recubrimiento del pavimento convencional con una lechada fotocatalítica	10
5. MORTERO FOTOCATALÍTICO	11
5.1 Mezcla y preparación del mortero de prueba con fotocatalizador	11
5.2 Antecedentes generales	12
5.3 Prueba de Consistencia	12
5.4 Pruebas de Compresión y Flexión	14
5.5 Prueba de Flexión	15
5.6 Prueba de Compresión	16
6. RESULTADOS ENSAYOS MORTERO CON DIÓXIDO DE TITANIO	16
6.1 Prueba de Consistencia	16
6.2 Pruebas de resistencia a la Compresión	17
6.3 Pruebas de resistencia a la Flexión	19
7. ANÁLISIS DE COSTOS	21
7.1 Obra nueva	21
7.1.1 Revestimiento 1m ² muro, con mortero sin dióxido de titanio	21
7.1.2 Revestimiento 1m ² muro, con mortero con dióxido de titanio	22
7.2 Rehabilitación	23
7.2.1 Revestimiento 1m ² muro, con mortero sin dióxido de titanio	23
7.2.2 Revestimiento 1m ² muro, con mortero con dióxido de titanio	24
7.3 Resumen variación de costos	25
8. FUNCIONALIDAD DEL MORTERO FOTOCATALÍTICO A FUTURO EN CHILE	25
9. RECOMENDACIONES	30
CONCLUSIONES	31
BIBLIOGRAFÍA	31

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las grandes ciudades del mundo están padeciendo de un grave problema: la contaminación.

Chile no es la excepción. Según mediciones realizadas por el Ministerio de Medio Ambiente en Chile hay ciudades que sobrepasan el límite establecido por la norma de contaminación por material particulado. El material particulado afecta gravemente a ciudades tales como Santiago, Chillán, Temuco, Padre Las Casas y Coyhaique, considerando sólo aquellas en que hay medición.

Internacionalmente y para efectos regulatorios el material particulado se clasifica según su diámetro, dado que el tamaño de las partículas determina la probabilidad de inhalarlo y que sea depositado en el tracto respiratorio:

- **MP10** significa partículas con diámetro mayor a 2,5 y hasta 10 micrones, fracción gruesa constituida por partículas inhalables que pueden llegar sólo hasta la región torácica, considerando su tamaño.
- **MP2,5** está compuesta por partículas tan pequeñas que pueden penetrar en las vías respiratorias llegando hasta pulmones y alvéolos

En el año 2005 la OMS (Organización Mundial de la Salud) elaboró una guía respecto al riesgo del MP2,5 y propone valores límites para la fracción fina del material particulado.

El decreto 12 de Ministerio de Medio Ambiente que data del 18 de enero de 2011 establece la norma primaria de calidad ambiental para emisiones de material particulado fino MP2,5, cuyo objetivo es proteger la salud de las personas.

Respecto a los impactos y riesgos en la salud, se han identificado entre otros los siguientes efectos del MP2,5:

- mortalidad y admisiones hospitalarias en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica y con enfermedad cardiovascular
- incremento del asma
- aumento de riesgo de infartos al miocardio
- inflamación pulmonar
- cáncer respiratorio

El MP2.5 en Chile causa más de 4.000 muertes prematuras al año, más del doble de muertes por accidentes de tránsito.

Con el fin de encontrar una solución a este problema que afecta la salud mundial, en Europa se ha desarrollado un material que permite la absorción de las partículas

contaminantes. Este material se basa en un proceso llamado Fotocatálisis, cuyo uso en el rubro de la pavimentación y de la construcción se desarrollará a continuación.

GLOSARIO

TiO₂: Dióxido de Titanio

NO_x: Óxido de Nitrógeno

COV: Compuestos orgánicos volátiles

CO: Monóxido de Carbono

SO_x: Óxido de azufre

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos del revestimiento de mortero con TiO₂ en sus distintos usos para efectos descontaminantes y su capacidad de descontaminación del aire

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Propiedades generales y efectos de la Fotocatálisis para disminuir el NO_x presente en el aire
2. Revestimiento Fotocatalítico y posible aplicación en Santiago
3. Evaluación de las propiedades físicas fotocatalíticas del cemento adicionado con nanopartículas de Dióxido de Titanio en diferentes cantidades:
 - a. Resistencia a la compresión
 - b. Resistencia a la flexión
4. Determinar la funcionalidad del mortero fotocatalítico a futuro en Chile

1. FOTOCATÁLISIS Y SU CAPACIDAD DESCONTAMINANTE

La Fotocatálisis es lo que podemos entender como Fotosíntesis Urbana.

La Fotocatálisis es una reacción de oxidación que se produce cuando coinciden tres factores: dióxido de titanio (que actúa como catalizador), oxígeno y luz, ya sea ultravioleta o luz visible

En España se ha desarrollado un material que aplicado en pavimentos y en fachadas convierte óxidos de nitrógeno en nitratos inofensivos para la salud. Esto permitiría en alguna medida mitigar el déficit de áreas verdes que existe en muchas áreas del Gran Santiago.

Este material es capaz de realizar un proceso similar a la fotosíntesis que hacen las plantas, en el cual absorben de la atmosfera gases tóxicos y los convierten en gases inofensivos. Actúa con luz solar, absorbe y genera una reacción química que convierte el óxido de nitrógeno en nitrato, reduciendo la contaminación.

En exteriores, los nitritos y nitratos se retiran con la lluvia o con los servicios municipales de Aseo y Ornato, mediante lavados ocasionales. En ambos casos, terminan llegando a los sumideros, donde se procesan como cualquier otra partícula. No hay mayor dificultad ni encarece los precios.

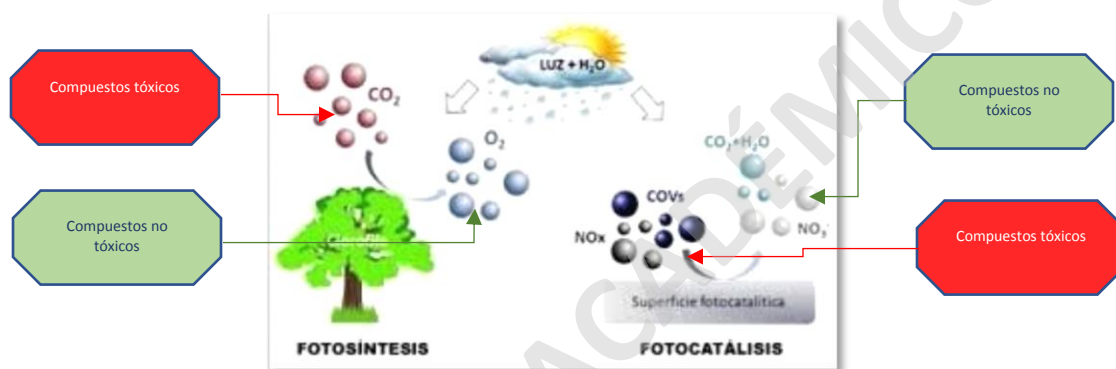


Figura 1

Si bien esta tecnología se encuentra en constante investigación desde hace ya unos años, especialmente en Europa, su uso a escala real es aún escaso.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Óxidos de Nitrógeno (NO_x):

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son una mezcla gaseosa compuesta principalmente por dióxido de nitrógeno (NO₂) y por óxido nítrico (NO), siendo el dióxido de nitrógeno el principal contaminante de los NO_x.

Estos son generados a partir de la combustión a altas temperaturas, principalmente de vehículos motorizados y plantas eléctricas. Se trata de un gas tóxico, el cual es precursor de las partículas de nitrato que finalmente llevan a un elevado nivel de MP_{2,5}. Son en definitiva un contaminante ambiental con varias consecuencias negativas tanto para el medio ambiente como para las personas.

En resumen, los NO_x pueden generarse a partir de:

- fuentes naturales como incendios forestales y quemas agrícolas
- fuentes antropogénicas (producidas a partir de la actividad humana), que se pueden clasificar en
 - fijas (termoeléctricas, industrias, calefacción residencial a leña)
 - móviles (automóviles, buses y camiones, tanto a Diesel como a gasolina).

La presencia de NOx en el aire tiene diversos impactos negativos en el medioambiente y en las personas, los que se enuncian a continuación:

- Precursor del ozono troposférico y del material particulado MP10 y MP2.5, especies perjudiciales para la salud de las personas. La presencia de ozono en la tropósfera puede dañar tanto el sistema respiratorio como el aparato visual
- Producción de ácido nítrico (HNO_3) de forma no controlada, responsable del fenómeno de lluvia ácida que degrada la calidad de suelos y aguas.
- Producción de óxido nitroso (N_2O), elemento participante en el fenómeno de efecto invernadero que ocasiona calentamiento global.
- Además, su exposición continua en las personas puede ocasionar irritación pulmonar, disminuir la resistencia ante infecciones respiratorias y aumentar la incidencia de cáncer.

Riesgos del ozono troposférico:

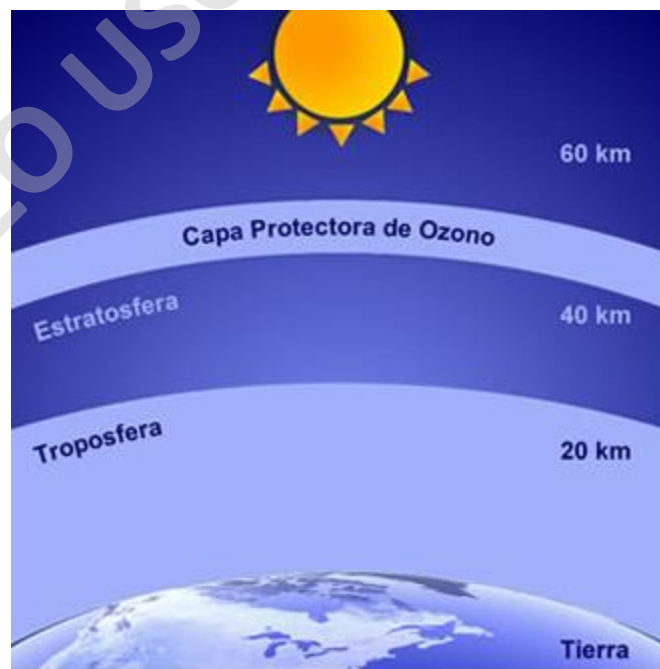


Figura 2

Se denomina troposférico por el nivel de la atmosfera en el que se encuentra. A diferencia de la capa de ozono (a nivel estratosférico), el ozono troposférico se encuentra a nivel del suelo (hasta unos 10km de altura), donde tiene lugar la vida en el planeta.

El ozono estratosférico actúa en forma beneficiosa ya que nos protege de los rayos solares, absorbiendo los rayos UV, en cambio el ozono troposférico es generado a causa de la acción del hombre, derivado principalmente de las emisiones del tráfico vehicular (óxido de nitrógeno NOx y compuestos orgánicos volátiles COV).

El ozono troposférico puede impactar negativamente en la salud de las personas. Se distinguen: problemas respiratorios como una mayor incidencia y un agravamiento del asma la reducción de la función pulmonar y una inflamación de las vías respiratorias, que genere síntomas respiratorios y una alteración del rendimiento.

Los niveles elevados de ozono troposférico también pueden causar un incremento de la mortalidad diaria.

La única manera efectiva de disminuir los niveles de ozono superficial es evitando o reduciendo la emisión de sus precursores, los cuales provienen mayoritariamente del tráfico y de las industrias.

2.2 Dióxido de Titanio:

El Titanio es un mineral que presenta varias ventajas:

- se encuentra en la superficie terrestre de manera muy abundante.
- se caracteriza por su resistencia a la corrosión
- se caracteriza por su ligereza

Es muy común que el titanio reaccione con el oxígeno para formar óxidos de titanio o dióxido de titanio (TiO₂).

Todo lo anterior lo hace muy utilizado en diversas aplicaciones técnicas.

Se ha demostrado que el dióxido de titanio es un descontaminante muy eficaz para grandes ciudades, donde puede tener beneficios en la calidad del aire a corto plazo.

Diferentes estudios han demostrado que la utilización del Dióxido de Titanio (TiO₂) consigue reducir en parte los contaminantes contenidos en el aire y que exceden los límites establecidos por la OMS para una buena calidad del aire.

El Dióxido de Titanio (TiO₂) existe principalmente en 3 formas cristalinas: Brookita, Rutilo y Anatasa, siendo esta última la de mayor actividad fotocatalítica.

Existen diversas técnicas para eliminar los NO_x del aire, entre las cuales destaca la fotocatalisis con dióxido de titanio en su forma cristalina anatasa, en la cual la luz UV-A (<388 [nm]) activa el TiO₂

Se ha demostrado que la actividad fotocatalítica del dióxido de titanio tiene la capacidad de degradar muchos productos químicos tales como el NO_x, CO y el SO_x, así como compuestos orgánicos volátiles tales como el Benceno y el Tolueno

La oxidación fotocatalítica usando TiO₂ presenta ventajas en comparación con otros procesos de eliminación de contaminantes atmosféricos entre las cuales destacan:

- La reacción es relativamente rápida a presión atmosférica (1 atm) y temperatura ambiente (20 [°C]).
- Puede usar la energía solar como fuente de activación.
- No necesita de químicos adicionales.
- Usa un material de bajo costo relativo.
- Presenta gran estabilidad química y física.

2.3 Propiedades físicas del TiO₂:

- buena dispersión en una gran variedad de matrices
- su estabilidad química evita corrosión por ácidos
- su no toxicidad
- su resistencia al agua
- su dureza
- resistencia a la abrasión
- alto brillo y gran capacidad de reflejar la luz blanca.

El TiO₂ es el pigmento con el más alto Índice Refractivo es decir, es uno de los compuestos con mayor capacidad de reflejar la luz visible, dando como resultado una apariencia de una mayor blancura que cualquier otro pigmento. Dentro de sus propiedades ópticas está la alta opacidad, brillo, lustre, tonalidad (blanca), matiz e iluminación.

3. ANÁLISIS DE DATOS RECOPIRADOS

3.1 Contaminación atmosférica en Chile

Emissiones de NOx en Chile, por region y tipo de fuente, año 2013:



Figura 3

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

3.2 Proyección de emisiones de MP2,5

Acá se presenta la proyección al 2030 de las emisiones de MP2,5 del parque agregado. A pesar de que el parque vehicular crece de manera sostenida, las emisiones de MP2,5 al 2030 se reducen en un 77% respecto al 2008 (equivalente a 3.031 ton MP), esto producto de la entrada de las normas Euro 5 los años 2013 al 2015, lo que impacta principalmente las emisiones de MP2,5 para vehículos diésel.

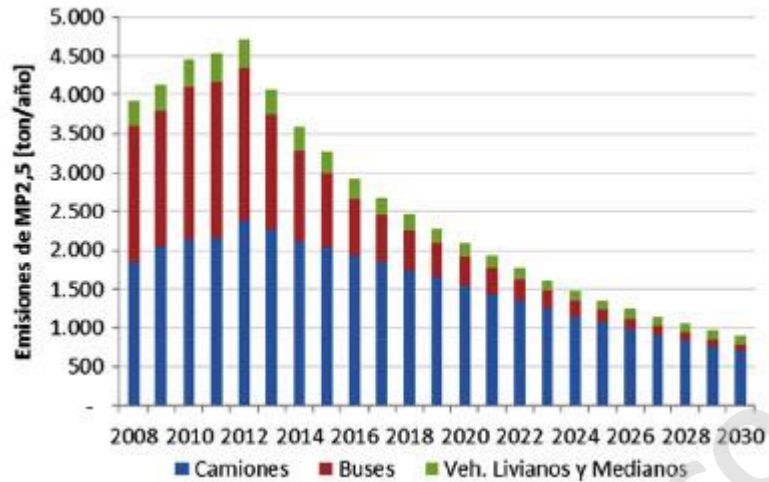


Figura 4

Se observa además que los camiones son causantes del 79% de las emisiones de MP2,5 en el 2030, equivalente a 709 toneladas de MP2,5. Los vehículos livianos y medianos aportarían 13% del total al 2030 (116 toneladas de MP2,5), mientras que los buses serían el 8% restante (75 toneladas de MP2,5). El mayor impacto en las emisiones de MP2,5 en el largo plazo se produce porque, en general, los camiones se renuevan más lento que las otras dos categorías, lo que hace que hacia el 2030 exista aun una presencia relevante de camiones antiguos, 22% de la flota de camiones total en el 2030 con estándar de emisión Euro 4 o inferior.

La Figura 5 resume los resultados de emisiones de MP2,5 para los cortes temporales 2010, 2015, 2025 y 2030.

		MP2,5 (ton/año)			
Categoría	Sub-categoría	2010	2015	2025	2030
Liviano y Mediano	Gasolina	66	67	68	81
	Diésel	293	218	58	34
Camiones	Livianos	118	107	55	36
	Medianos	131	119	75	52
	Pesados	1.876	1.805	937	621
Buses	Urbano	1.734	849	153	71
	Interurbano	33	18	4	2
	Licitado	204	89	2	2
Total		4.456	3.273	1.351	899

Figura 5

3.3 Proyección de emisiones de NOx

La Figura 5 presenta las emisiones de NOx proyectadas al 2030 para el parque vehicular total. Similar al caso anterior, la entrada de normas Euro 5 y Euro 6 hacen que, en general, se observe una reducción en el total de emisiones a pesar de que el parque vehicular se incrementa. Luego, las emisiones de NOx disminuyen sostenidamente hacia el 2030, siendo 45% menor que las emisiones totales del 2008 y equivalente a 50.466 tonNOx. La reducción es menor que para el caso de emisiones de partículas, principalmente por el retraso en la norma Euro 6 (que se supuso que entraría en el 2020), estándar de emisión que impacta considerablemente las emisiones de NOx en vehículos diésel. Por otra parte, también se observa que al 2030 los camiones emitirían el 75% de las emisiones de NOx (equivalente a 46.441 tonNOx), mientras que los buses 14% de las emisiones totales de NOx (equivalente a 8.716 tonNOx). Los vehículos livianos y medianos representarían 11% del total de emisiones de NOx en el 2030 (equivalente a 6.989 tonNOx).

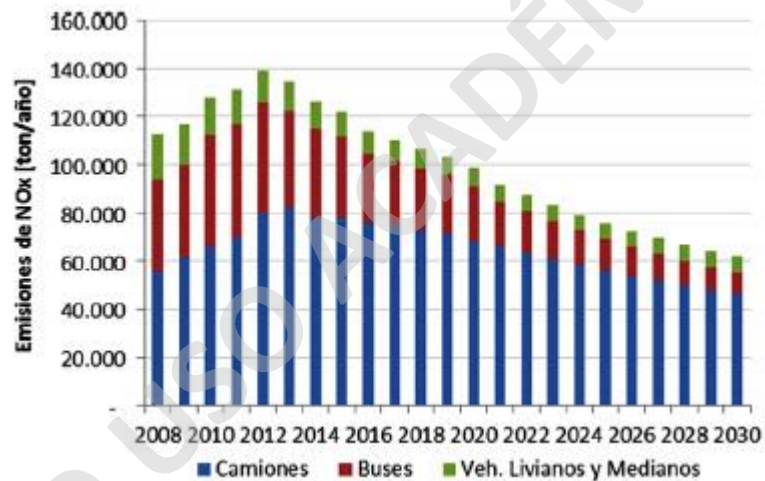


Figura 6

La Figura 7 resume los resultados de emisiones de NOx para los cortes temporales 2010, 2015, 2025 y 2030:

NOx (ton/año)					
Categoría	Subcategoría	2010	2015	2025	2030
Livianos	Gasolina	12.856	6.765	3.702	4.581
	Diésel	2.960	3.569	2.667	2.408
Camiones	Livianos	3.201	3.463	2.829	2.765
	Medianos	4.264	4.748	5.202	6.142
	Pesados	58.564	69.941	48.008	37.535
Buses	Urbano	38.275	27.589	12.993	8.506
	Interurbano	842	656	307	208
	Licitado	7.004	5.148	2	2
Total		127.965	121.878	75.709	62.146

Figura 7

El dióxido de titanio presenta una gran versatilidad pues, según la fase cristalina en la que se encuentre (anatasa, rutilo o brookita) exhibe distintas propiedades físicas que conllevan a diferentes aplicaciones. Materiales de anatasa se usan ampliamente para eliminar productos de la contaminación (polución), mientras que nanomateriales de rutilo presentan aplicaciones importantes en el campo de las celdas solares y los sensores de gas, entre otros.

4. APLICACIÓN DE REVESTIMIENTOS FOTO CATALÍTICOS EN PAVIMENTOS:

Pavimentos Fotocatalíticos:

La carpeta superior es la de rodamiento. Esta capa es la expuesta a los rayos UV. Piezas de hormigón (adoquín) con aditivos con propiedades fotocatalíticas o el uso de sprays fotocatalíticos, descontaminan el aire reduciendo la cantidad de contaminantes del aire en zonas donde se liberan emisiones a través de los tubos de escape de los vehículos y que son autolimpiantes.

4.1 Hormigón con TIO₂: Pruebas de laboratorio han demostrado que el hormigón mezclado con TIO₂ tiene menor resistencia mecánica (tracción, compresión) en alrededor de un 33% respecto del concreto convencional, razón por la cual no será considerado en el presente trabajo.

4.2 Empleo de sprays sobre pavimentos ya existentes: Los pavimentos son pulverizados con una capa fotocatalítica. La ventaja es que no se requiere modificación alguna de la superficie para someterla al tratamiento. Si bien esta opción es atractiva por la facilidad de aplicación que impacta directamente en los costos, en términos de durabilidad no es la mejor, debido al desgaste de esta capa superficial generado por el tráfico de los vehículos

4.3 Recubrimiento del pavimento convencional con una lechada fotocatalítica: Se trata de una capa de rodadura constituida por una mezcla asfáltica drenante, cuyos huecos se rellenan mediante percolación a partir de una lechada fabricada con

cemento y resina, y cuyo objetivo es obtener una superficie de rodadura impermeable, que reduzca las concentraciones de gases contaminantes emitidas por el tráfico, de manera que se mejore la calidad del aire en el entorno de su aplicación.

5. MORTERO FOTOCATALÍTICO:

En la industria de la construcción tenemos muchos ejemplos en que se puede identificar que el mortero con porcentaje de TiO_2 adicionado, tiene las características de auto limpieza en ambientes de humedad y radiación solar, generando la rápida eliminación de los agentes contaminantes presentes en la superficie

A continuación se verá la producción y diseño de mortero con dióxido de titanio la cual cumpla como revestimiento fotocatalítico para terminación de interiores y fachadas, con capacidad autolimpiante y descontaminante para enfoscados y enlucidos.

Por lo tanto esta tecnología basada en la incorporación de dióxido de titanio mezclado en el mortero permitirá alcanzar una disminución de los contaminantes y así ayudar en minimizar efectos en la salud humana.

Para considerar su implementación es necesario primero revisar el impacto de la adición de TiO_2 en las propiedades mecánicas del mortero.

Se encuentran variados ensayos de mortero fotocatalítico cuyos procedimientos y resultados se revisan a continuación:

5.1 Mezcla y preparación del mortero de prueba con fotocatalizador:

Paso 1: se vierte el agua, cemento y fotocatalizador en un recipiente. Este se introduce en la máquina mezcladora. 30 seg a velocidad media de 140 ± 5 rpm

Paso 2: se vierte a la mezcla el árido. Se mantiene la velocidad mientras se agrega el árido.

Paso 3: una vez incorporados todos los componentes se aumenta la velocidad de mezclado a 285 ± 10 rpm. Esto se realiza por 30 seg

Paso 4: tiempo de 30 seg de parada y limpieza de la paleta mezcladora

Paso 5: tiempo de reposo de 60 seg

Paso 6: tiempo de mezcla de 60 seg a velocidad rápida de 285 ± 10 rpm

Luego se analizaron las muestras en fase fresco y luego enmoldado, los que se introducen en una cámara húmeda a una humedad $> 95\%$ y temperatura de 23°C durante 28 días

Fórmula utilizada:

$$\text{Variación porcentual: } \Delta = \frac{r1-r0}{r0} * 100$$

donde r1 es la resistencia obtenida al incorporar TiO₂ a la muestra y r0 es la resistencia obtenida por la muestra sin agregar TiO₂

En estas investigaciones se realizaron ensayos de consistencia, de resistencia a la compresión y de resistencia a la flexión, con mortero con Dióxido de Titanio entre 5% y 10% , y mortero sin Dióxido de Titanio

5.2 Antecedentes generales:

Los antecedentes de este informe son en base a las siguientes normas chilenas:

- Nch2257/1.Of96
- Nch148.Of68
- Nch158.Of67
- Nch161.EOf69

5.3 Prueba de Consistencia:

- Método de extendido en mesa de sacudida según NCH 2257/1

Equipo: Mesa de sacudidas con molde tronco-cónico



Figura 8

Molde de 50 mm de altura, 100 mm de diámetro inferior y 70 mm de diámetro superior, colocado sobre una plataforma circular, que por medio de una leva asegura una caída libre de la plataforma de 13 mm.

Procedimiento:

- Colocar el molde centrado sobre la plataforma.
- Llenar con mortero en 2 capas y compactar cada una de ellas con 20 golpes de pisón.
- Enrasar con regla sin compactar el mortero y limpiar el excedente de mortero.
- Levantar el molde y accionar el sistema de modo de dejar caer la plataforma 25 veces en un tiempo de 15 segundos.
- Medir y registrar 4 diámetros equidistantes con exactitud de 1 mm.

Resultado:

Promedio aritmético de los cuatro resultados obtenidos

CONSISTENCIA SEGÚN MESA DE SACUDIDA	
Tipo	Extendido, mm.
Seca	< 130
Plástica	131- 180
Blanda	181-220
Fluida	221-250
Líquida	> 250

Figura 9

Fuente: UC

5.4 Pruebas de compresión y flexión:

La medición de la resistencia mecánica a compresión y flexión comienza elaborando las probetas de Rilem.

Extracción de muestras y confección de probetas:

Equipo: Probetas Rilem



Figura 10
Probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm.

Paso 1: se fija el molde en la mesa de compactación

Paso 2: se agrega 320 grs de mortero en el molde para luego activar la mesa de compactación, dando 60 caídas en 60 segundos

Paso 3: se agregan otros 320 grs de mortero y se repite el proceso nuevamente.

Paso 4: se retiran los moldes de la mesa y se cubren con un material no absorbente para evitar la evaporación del agua. Luego los moldes se trasladan a una cámara húmeda y se desmoldan a las 24 horas.

Paso 5: Una vez listas las probetas se realiza el ensayo de la flexión.

5.5 Prueba de flexión:

Equipo: máquina de flexión



Figura 11

Se apoya una de las caras laterales de la probeta sobre rodillos de apoyo. Se aplica una carga mediante un rodillo superior hasta que la probeta falle.

Equipo: probeta cúbica de 15cm



Figura 12

Probetas de metal u otro material resistente, no absorbentes y químicamente inerte con los componentes del mortero y de arista igual a 150 mm.

5.6 Prueba de compresión:

Equipo: Prensa universal



Figura 13

La compresión se midió sobre cubos de 150mm.

Cuando la consistencia es plástica o fluida, se llenan de morteros los moldes en 3 capas y se compactan levantando 5 cm el molde alternativamente por sus lados opuestos, dejándolo caer sobre una base plana y rígida.

Cuando la consistencia es seca, se llena el cubo en una sola capa y se compacta en la mesa vibradora.

Los cubos fueron curados un día en molde y se desmoldaron e ingresaron a la cámara húmeda hasta el día del ensayo.

Los ensayos de compresión para mortero con dióxido de titanio se realizaron a los 7, 14 y 28 días de curado de la muestra.

6. RESULTADOS ENSAYOS MORTERO CON DIÓXIDO DE TITANIO:

6.1 Prueba de consistencia

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio (cm)} - \text{Diámetro base inferior (cm)}}{\text{Diámetro base inferior (cm)}} * 100$$

Muestra (%)	Diámetro Promedio (cm)	Diámetro base inferior (cm)	Porcentaje de Fluidez (%)
M0	25	10	150
M5	25	10	150
M7.5	14,5	10	45
M8.5	14,1	10	41
M10	5,7	10	-43

Figura 14

Donde:

M0: muestra sin TiO₂

M5: muestra con 5% TiO₂, etc

De los resultados de los ensayos se puede determinar que el mortero pierde fluidez a partir de la muestra de 7,5% de dióxido de titanio.

Los morteros con porcentaje de fluidez entre 80% y 100% son secos o duros, entre 100% y 120% tienen consistencia plástica y por último entre 120% y 150% son morteros húmedos o fluidos.

Por lo tanto, las muestras con 7,5%, 8,5% y 10% obtuvieron una consistencia muy seca, por debajo del 80% siendo la menos trabajable la muestra al 10% de dióxido de titanio (referirse a Figura 14). La M0 comenzó su proceso de fraguado muy rápido, lo que afectó negativamente la trabajabilidad y uniformidad.

La M10 es incluida dentro de las pruebas pero se descarta por la pérdida de fluidez

6.2 Pruebas de resistencia a la compresión

Ensayo de compresión a los 7 días					
Muestra	M0	M5	M7,5	M8,5	M10
Resistencia (Mpa)	18	20,02	19,82	17,21	24,14
Desviación (%)		11,2%	10,1%	-4,4%	34,1%

Figura 15

M0 Donde “Desviación” corresponde a la variación porcentual respecto de la muestra

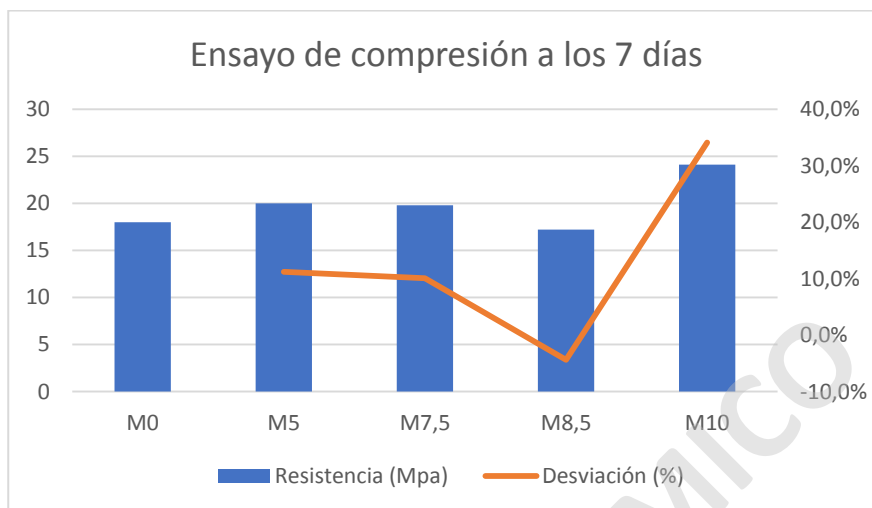


Figura 16

Ensayo de compresión a los 14 días					
Muestra	M0	M5	M7,5	M8,5	M10
Resistencia (Mpa)	22,5	21,64	22,18	19,39	29,48
Desviación (%)		-3,8%	-1,4%	-13,8%	31,0%

Figura 17

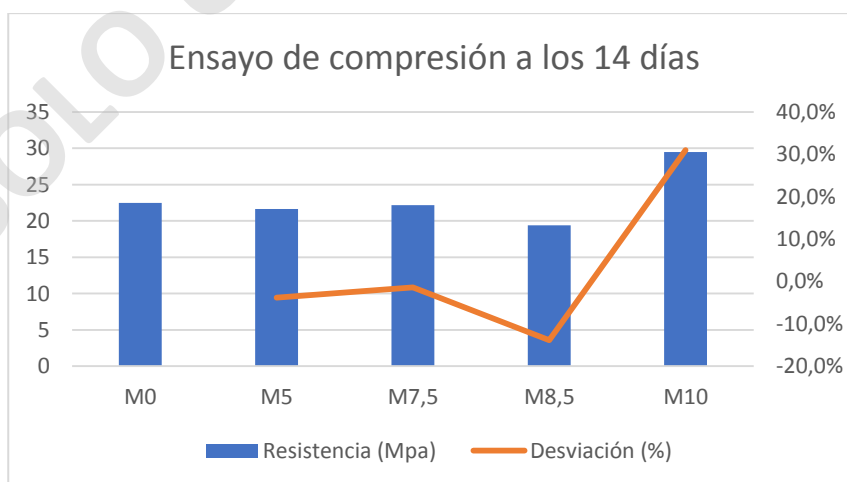


Figura 18

Ensayo de compresión a los 28 días					
Muestra	M0	M5	M7,5	M8,5	M10
Resistencia (Mpa)	24,2	25,58	23,47	22,53	34,96
Desviación (%)		5,7%	-3,0%	-6,9%	44,5%

Figura 19

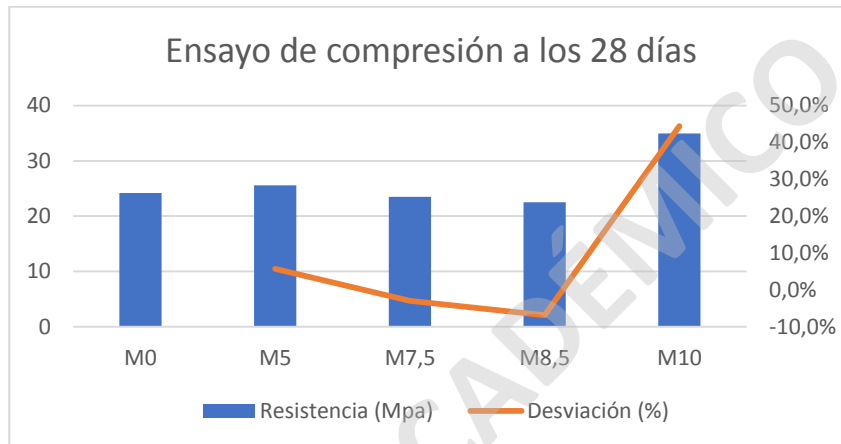


Figura 20

De los resultados de estos ensayos de resistencia a la compresión se puede concluir :

Que respecto al mortero sin Dióxido de Titanio en este ensayo a los 28 días tenemos en comparación que la Resistencia del Mortero que contiene 8.5 % de dióxido de titanio disminuye su resistencia a la compresión en casi un 7% en tanto el Mortero que contiene un 7.5% prácticamente no varía respecto del mortero sin dióxido de titanio

Además M5 arroja un incremento de la resistencia a la compresión cercano al 6%

6.3 Pruebas de resistencia a la flexión

Ensayo de flexión a los 28 días				
Muestra	M0	M5	M7,5	M8,5
Resistencia (Mpa)	4,33	4,31	4,07	4,07
Desviación (%)		-0,5%	-6,0%	-6,0%

Figura 21

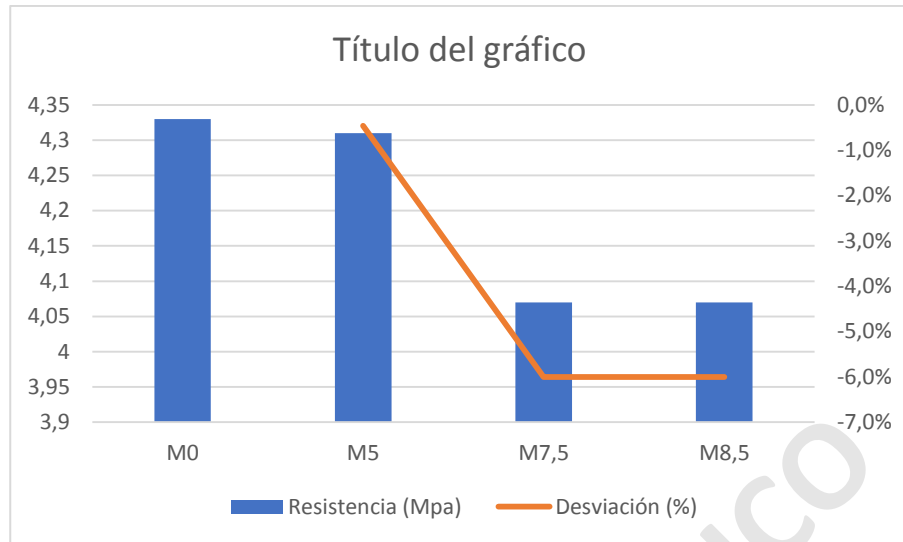


Figura 22

De los resultados de estos ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días se concluye:

Las muestras al 7,5% y 8,5% disminuyen su resistencia a la flexión en un 6% en tanto la muestra al 0,5% de TiO₂ prácticamente no muestra variación respecto de la muestra sin Dióxido de Titanio.

7. ANÁLISIS DE COSTOS:

Las proporciones precisas dependen de cada uno de los elementos a mezclar y del uso que se le vaya a dar. Para la evaluación de costos me remití a la publicación de CYPE Ingenieros, quienes publican análisis de precio unitario en la web.

El mortero a comparar con el mortero regular es el M5% con un 5% de Dióxido de Titanio, ya que es el que ha obtenido los mejores resultados en los distintos ensayos

7.1 Obra nueva

7.1.1 Revestimiento 1m2 muro, con mortero sin dióxido de titanio

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe
RQO010 m ² Mortero monocapa.					
Revestimiento de paramentos exteriores con mortero monocapa para la imprimación y decoración de fachadas, resistencia a compresión de 3 a 7,5 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , acabado con árido proyectado, color blanco, espesor 15 mm , aplicado manualmente, armado y reforzado con malla antiálcalis en los cambios de material y en los frentes de la losa .					
1 Materiales					
mt28mon010aa	kg	Mortero monocapa para la imprimación y decoración de fachadas, resistencia a compresión de 3 a 7,5 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , acabado con árido proyectado, color blanco, compuesto de cementos, aditivos, resinas sintéticas y cargas minerales.	17,000	245,98	4181,66
mt28mon020	kg	Árido de mármol, procedente de machaqueo, para proyectar sobre mortero monocapa, granulometría comprendida entre 5 y 9 mm.	15,000	80,80	1212,00
mt28mon040a	m ²	Malla de fibra de vidrio, antiálcalis, de 10x10 mm de luz de malla, de 750 a 900 micras de espesor y de 200 a 250 g/m ² de masa superficial, con 25 kp/cm ² de resistencia a tracción, para armar morteros.	0,210	1495,19	313,99
mt28mon030	m	Junquillo de PVC.	0,750	217,54	163,16
mt28mon050	m	Perfil de PVC rígido para formación de aristas en revestimientos de mortero monocapa.	1,250	229,97	287,46
mt27wav020a	m	Cinta adhesiva de pintor.	1,000	65,56	65,56
Subtotal materiales:					6223,83
2 Mano de obra					
mo039	h	Maestro 1º revocador.	0,421	4856,40	2044,54
mo111	h	Jornal especializado revocador.	0,233	3574,08	832,76
Subtotal mano de obra:					2877,30
3 Herramientas					
	%	Herramientas	4,000	9101,13	364,05
Coste de mantenimiento decenal: \$ 1.325,13 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		9465,18

Figura 23

Fuente: CYPE Ingenieros, S.A.

7.1.2 Revestimiento 1m2 muro, con mortero con dióxido de titanio

RQO030 m ² Mortero monocapa fotocatalítico.					
Revestimiento de paramentos exteriores con mortero monocapa para la imprimación y decoración de fachadas, resistencia a compresión de 3 a 7,5 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , acabado con árido proyectado, color blanco, a base de cemento TX, fotocatalítico, descontaminante y autolimpiable, i.active "FYM ITALCEMENTI GROUP", espesor 15 mm, aplicado manualmente, armado y reforzado con malla antiálcalis en los cambios de material y en los frentes de la losa.					
Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt28mit060aa	kg	Mortero monocapa para la imprimación y decoración de fachadas, resistencia a compresión de 3 a 7,5 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , acabado con árido proyectado, color blanco, compuesto de cemento TX, fotocatalítico, descontaminante y autolimpiable, i.active "FYM ITALCEMENTI GROUP", aditivos, resinas sintéticas y cargas minerales.	17,000	404,00	6868,00
mt28mon040a	m ²	Malla de fibra de vidrio, antiálcalis, de 10x10 mm de luz de malla, de 750 a 900 micras de espesor y de 200 a 250 g/m ² de masa superficial, con 25 kp/cm ² de resistencia a tracción, para armar morteros.	0,210	1495,19	313,99
mt28mon030	m	Junquillo de PVC.	0,750	217,54	163,16
mt28mon050	m	Perfil de PVC rígido para formación de aristas en revestimientos de mortero monocapa.	1,250	229,97	287,46
mt28mon020	kg	Árido de mármol, procedente de machaqueo, para proyectar sobre mortero monocapa, granulometría comprendida entre 5 y 9 mm.	15,000	80,80	1212,00
Subtotal materiales:					8844,61
2 Mano de obra					
mo039	h	Maestro 1 ^a revocador.	0,421	4856,40	2044,54
mo111	h	Jornal especializado revocador.	0,233	3574,08	832,76
Subtotal mano de obra:					2877,30
3 Herramientas					
	%	Herramientas	4,000	11721,91	468,88
Coste de mantenimiento decenal: \$ 1.706,71 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		12190,79

Figura 24

Fuente: CYPE Ingenieros, S.A.

Variación:

Aumento de costo directo sólo mortero	64%
Aumento de costo directo total	29%

7.2 Rehabilitación

7.2.1 Revestimiento 1m2 muro, con mortero sin dióxido de titanio

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe
RQ001 m² Mortero monocapa.					
Revestimiento de paramentos exteriores con mortero monocapa para la imprimación y decoración de fachadas, resistencia a compresión de 3 a 7,5 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , acabado con árido proyectado, color blanco, espesor 15 mm, aplicado manualmente, armado y reforzado con malla antiálcalis en los cambios de material y en los frentes de la losa.					
1 Materiales					
mt28mon010aa	kg	Mortero monocapa para la imprimación y decoración de fachadas, resistencia a compresión de 3 a 7,5 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , acabado con árido proyectado, color blanco, compuesto de cementos, aditivos, resinas sintéticas y cargas minerales.	17,000	245,98	4181,66
mt28mon020	kg	Árido de mármol, procedente de machaqueo, para proyectar sobre mortero monocapa, granulometría comprendida entre 5 y 9 mm.	15,000	80,80	1212,00
mt28mon040a	m ²	Malla de fibra de vidrio, antiálcalis, de 10x10 mm de luz de malla, de 750 a 900 micras de espesor y de 200 a 250 g/m ² de masa superficial, con 25 kp/cm ² de resistencia a tracción, para armar morteros.	0,210	1495,19	313,99
mt28mon030	m	Junquillo de PVC.	0,750	217,54	163,16
mt28mon050	m	Perfil de PVC rígido para formación de aristas en revestimientos de mortero monocapa.	1,250	229,97	287,46
mt27wav020a	m	Cinta adhesiva de pintor.	1,000	65,56	65,56
Subtotal materiales:					6223,83
2 Mano de obra					
mo039	h	Maestro 1 ^a revocador.	0,493	4856,40	2394,21
mo111	h	Jornal especializado revocador.	0,272	3574,08	972,15
Subtotal mano de obra:					3366,36
3 Herramientas					
	%	Herramientas	4,000	9590,19	383,61
Coste de mantenimiento decenal: \$ 1.396,33 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		9973,80

Figura 25

Fuente: CYPE Ingenieros, S.A.

7.2.2 Revestimiento 1m2 muro, con mortero con dióxido de titanio

RQO03 m ² Mortero monocapa fotocatalítico.					
Revestimiento de paramentos exteriores con mortero monocapa para la imprimación y decoración de fachadas, resistencia a compresión de 3 a 7,5 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , acabado con árido proyectado, color blanco, a base de cemento TX, fotocatalítico, descontaminante y autolimpiable, i.active "FYM IT ALCEMENTI GROUP", espesor 15 mm, aplicado manualmente, armado y reforzado con malla antiálcalis en los cambios de material y en los frentes de la losa.					
Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe
1		Material			
mt28mit060aa	kg	Mortero monocapa para la imprimación y decoración de fachadas, resistencia a compresión de 3 a 7,5 N/mm ² , absorción de agua por capilaridad menor de 0,2 kg/m ² min ^{1/2} , acabado con árido proyectado, color blanco, compuesto de cemento TX, fotocatalítico, descontaminante y autolimpiable, i.active "FYM IT ALCEMENTI GROUP", aditivos, resinas sintéticas y cargas minerales.	17,000	404,00	6868,00
mt28mon040a	m ²	Malla de fibra de vidrio, antiálcalis, de 10x10 mm de luz de malla, de 750 a 900 micras de espesor y de 200 a 250 g/m ² de masa superficial, con 25 kp/cm ² de resistencia a tracción, para armar morteros.	0,210	1495,19	313,99
mt28mon030	m	Junquillo de PVC.	0,750	217,54	163,16
mt28mon050	m	Perfil de PVC rígido para formación de aristas en revestimientos de mortero monocapa.	1,250	229,97	287,46
mt28mon020	kg	Árido de mármol, procedente de machaqueo, para proyectar sobre mortero monocapa, granulometría comprendida entre 5 y 9 mm.	15,000	80,80	1212,00
Subtotal materiales:					8844,61
2		Mano de obra			
mo039	h	Maestro 1 ^a revocador.	0,493	4856,40	2394,21
mo111	h	Jornal especializado revocador.	0,272	3574,08	972,15
Subtotal mano de obra:					3366,36
3		Herramientas			
	%	Herramientas	4,000	12210,97	488,44
Coste de mantenimiento decenal: \$ 1.777,92 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		12699,41

Figura 26
Fuente: CYPE Ingenieros, S.A.

Aumento de costo directo sólo mortero	64%
Aumento de costo directo total	27%

Fuente: CYPE Ingenieros, S.A.

http://www.chile.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Revestimientos/Sistemas_monocapa_industriales/Morteros_monocapa/Mortero_monocapa.html

7.3 Resumen variación de costos:

De los APU para Obra Nueva y Rehabilitación se puede apreciar lo siguiente:

Hay un aumento de un 64% en el costo del mortero en ambos casos, lo cual resulta una variación muy alta.

No obstante, si se compara el total de costo directo por el revestimiento de 1 m² de muro, el aumento es de un 29% para el caso del mortero con Dióxido de Titanio al 5% en Obra Nueva y 27% en Rehabilitación.

Este aumento no se debe visualizar por sí sólo, sino en el contexto de los beneficios y ahorros que genera en términos de la salud de la población.

8. FUNCIONALIDAD DEL MORTERO FOTOCATALÍTICO A FUTURO EN CHILE

- Descripción de la Zona Saturada REGION METROPOLITANA:

La norma chilena de calidad del aire para el dióxido de nitrógeno admite como concentración una máxima anual 53 [ppb] (100 [µg/m³N]) y como concentración admisible por una hora 213 [ppb] (400 [µg/m³N]). Sin embargo la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda no sobrepasar niveles de 40 [µg/m³N] como concentración media anual y de 200 [µg/m³N] como concentración media horaria.

Niveles que determinan las situaciones de emergencia ambientales para Mp 2,5:

Niveles	Concentración 24 hrs MP2,5 (ug/m3)
Alerta	80-109
Preemergencia	110-169
Emergencia	170 o superior

Figura 27

Los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) son unos de los agentes contaminantes del aire que se encuentran en mayor abundancia y están relacionados con la formación de smog, además de tener un papel titular en la formación de contaminantes secundarios perjudiciales para el ser humano, tales como ozono (O₃) y ácido nítrico (HNO₃). Los compuestos que se suelen considerar dentro de la denominación de NO_x son el monóxido de nitrógeno (NO) y el

dióxido de nitrógeno (NO₂). Son contaminantes primarios que inciden mucho en los problemas de contaminación.

Hacer de la construcción un proceso más amigable con el medio ambiente es un desafío actual para nuestra sociedad. La incorporación de tecnologías de auto limpieza y purificación del aire en nuestro país no son muchas.

En el Ministerio de Medio Ambiente se aplican reglamentos para la dictación de planes de prevención y de descontaminación en la región metropolitana. Yo propondría en dichos reglamentos una correcta inclusión de esta nueva ciencia de la fotocatalisis en el sector de la construcción, implementándolo en los materiales que se utilizan además de sus aplicaciones en función de los factores que garanticen un buen aprovechamiento del efecto fotocatalítico

Esto significaría que los materiales de construcción presentes en fachadas y cubiertas, en la aceras y calzadas de las calles, serviría para descontaminar el aire de sustancias que son dañinas para el ser humano como son el NO_x, SO_x y COVs mediante la reacción de la fotocatalisis impulsado por la radiación solar.

Para poder sacar el máximo rendimiento de un revestimiento fotocatalítico a futuro se debe tener en cuenta una serie de factores que en su mayoría se aplica en la Comuna de Santiago como son una “buena” radiación solar (rayos UV), temperatura muy favorables y periodos de precipitaciones suficientes para limpieza de superficies para la evacuación de partículas contaminantes

Las horas de radiación que reciba la superficie tratada incidirán si o si en el nivel de Óxido de Nitrógeno (NO_x) que se eliminará, siendo la radiación solar el factor más significativo para el proceso de fotocatalisis y eliminación de los contaminantes.

Como ejemplo se tiene:

Considerando en España en el caso de un revestimiento de fachada con la siguientes característica:

Superficie total: 7005,94 m²

Se obtiene un NO_x eliminado: 735414,47 mg/m²h

Llevando a las Características Meteorológicas en la Región metropolitana que tiene aproximadamente en épocas de Verano e Invierno estos datos:

Verano : 15 horas diarias de Sol y temperaturas en el orden de 32 °C aprox

Invierno: 9 horas diarias de Sol y temperaturas en el orden de 10 °C apro

Por lo tanto el NOx eliminado:

Por hora :738.191,58 mg/m²h

Invierno(8-9 hrs) :5.905.532,31 mg/m²h

Verano (15 hrs) :11.072.873,09 mg/m²h

De acuerdo a los datos obtenidos en países de Europa específicamente en España dan excelentes resultados de eliminación de este contaminante en situaciones idóneas según condiciones climáticas. Si se aplican en Chile las condiciones descritas tendríamos aproximadamente esos valores de eliminación de NOx. Hay que considerar que hay variaciones dependiendo del sector en que se aplica el revestimiento pero generalmente estos índices nos ayudarían a descontaminar Santiago o gran parte de sus comunas.

En materiales de construcción podemos identificar a futuro diferentes aplicaciones tales como pinturas, spray, además de acabados en aceras y calzada.

Aplicaciones:

- Revestimientos
- Recubrimientos: ladrillos, bloques, paneles prefabricados, etc.
- Muros
- Equipamiento urbano
- Estructuras arquitectónicas.
- Cerámicas fotocatalíticas
- Adoquines en plazas y veredas
- Textil fotocatalítico
- Tratamiento de fachadas, cubiertas y de superficies interiores con pinturas fotocatalíticas
- Tratamiento fotocatalítico sobre calzada
- Aplicación de capa de mortero y lechada fotocatalítica
- Uno de los ejemplos más importantes: Fachada frontal y trasera de la Iglesia Dives in Misericordia en Roma, hecha con hormigón fotocatalítico. La estructura de la iglesia compuesta por tres velas blancas enfatiza la capacidad del cemento fotocatalítico de mantenerse limpio y de eliminar los contaminantes. Esta propiedad ayuda a mantener la estética original y alarga la vida útil de la construcción



Figura 28
Iglesia Dives in Misericordia- Roma



Figura 29
Toldo manufacturado en textil fotocatalítico (Europa)



Figura 30



Figura 31

Recubrimiento fotocatalítico sobre calzada



Figura 32

Veredas con adoquines fotocatalíticos

9. RECOMENDACIONES

Se puede concluir que al aumentar la cantidad en porcentaje de TiO₂, entre un 7,5% a un 10% de TiO₂ se muestra un mortero más seco volviéndose menos trabajable. Por esto se recomienda el uso de plastificantes para mejorar la mezcla del mortero.

Adicionalmente se concluye que el mortero fotocatalítico con 5 % de TiO₂ no ve afectadas sus propiedades mecánicas. Se recomienda en futuros proyectos llevar una periódica evaluación del efecto fotocatalítico del material y así potenciar su uso en capacidad auto limpiante y con mayor importancia purificar el aire, especialmente a nivel gubernamental dado su rol social.

La aplicación de la fotocatalisis a los materiales de construcción es diversa , desde pinturas para espacios interiores hasta materiales de revestimiento exterior en fachadas. En condiciones de uso y mantenimiento en obra, como se trata de la aplicación de un fotocatalizador en el material, se recomienda tener en especial consideración que el mortero aplicado esté en presencia de la radiación solar (luz ultravioleta) que active el proceso. Gracias a estos factores claves , se estima que la aplicación de la fotocatalisis a los materiales de construcción puede contribuir en la eliminación de hasta 89% de los NO_x del entorno en donde se instale en caso por ejemplo de un edificio 100% fotocatalítico

Considerando los beneficios que este elemento significan para la salud del ser humano, sería recomendable incluir este sistema dentro de la norma chilena

En el caso de las fachadas , estas apenas necesitarían lavados adicionales , en tanto en veredas y calzadas necesitarían un sistema de mantenimiento de revestimientos fotocatalíticos, considerando el alto tráfico de personas y bicicletas en veredas y vehículos en las calzadas por efectos de aceites y desgaste causado por los neumáticos en las superficies tratadas.

CONCLUSIONES:

De acuerdo a los distintos ensayos la mezcla con mejores resultados es aquella que considera un 5% de dióxido de titanio. Su resistencia a la flexión no se vio afectada y aumentó la resistencia a la compresión.

En cuanto a las otras mezclas, a medida que se aumentaba el porcentaje de TIO₂ a las muestras, estas tienden a perder plasticidad ya que su proceso de fraguado acelera.

El mortero está basado en la actividad fotocatalítica de uno de sus componentes, que por su eficacia es el dióxido de titanio, y debe estar ubicado en la superficie del elemento construido.

Se requiere luz solar y oxígeno, elementos en abundancia. En países europeos se ha visto que la reducción de los gases NO_x producidos por los materiales de construcción fotocatalíticos oscila entre un 10% y un 65% (dependiendo de la radiación). Si tenemos en cuenta que esto es constante durante el día significa un ahorro importante en salud pública y privada, efecto que se debe apreciar en el largo plazo, ya que es entonces cuando se manifiestan los efectos de la contaminación en la salud de las personas.

Se puede concluir que el mortero de cemento con dióxido de titanio adicionado tiene características de autolimpieza eliminando la contaminación presente en su superficie. En el marco del fotocatalizador utilizado el dióxido de titanio es el más interesante ya que posee una composición química estable y no es tóxico. Además por su abundancia tiene un costo menor a los óxidos metálicos existentes.

Algunas ciudades de Chile vienen sufriendo crisis de contaminación del aire, lo que hace necesario buscar soluciones. Desde la perspectiva social el Estado se ocupa de la rehabilitación de viviendas sociales. Si usamos mortero fotocatalítico para revestir las fachadas, adoquines fotocatalíticos en veredas y plazas estaremos contribuyendo a descontaminar ese medio ambiente, lo que es especialmente relevante si consideramos que las áreas verdes en estos sectores son más bien escasas. Adicionalmente, si bien en lo inmediato su aplicación significa un aumento en el costo del material, en el mediano plazo significa ahorros en su mantención, mejor calidad de vida y en consecuencia ahorro en la salud de las personas.

En definitiva si bien hay un aumento en el presupuesto de las obras este no debe ser visto como un gasto, sino como una inversión a largo plazo.

Bibliografía

- <http://www.solucionesespeciales.net>
- Memòria_LisbonaLucia%20Espiga.pdf
- http://www.chile.generadordeprecios.info/obra_nueva/Revestimientos/Sistemas_monocapa_industriales/Morteros_monocapa/Mortero_monocapa_fotocatalitico.html----Mortero Fotocatalitico En Chile
- Tesis/Usode%20morteros%20cataliticos%20Colombia.pdf
- Efecto_reemplazo_cemento_portland[35348].pdf
- www.chemweb.com/articles, Marion Lackhoff, Applied Catalysis B: Environmental
- vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/7627/Efecto_reemplazo_cemento_portland.pdf?sequence=1
- http://www.chile.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Revestimientos/Sistemas_monocapa_industriales/Morteros_monocapa/Mortero_monocapa.html
- <http://www.construereyesingenieria.com/2017/06/como-calculas-materiales-para-un-muro.html>