

CARACTERIZACIÓN DE POLVO DE DIÓXIDO DE TITANIO PARA SU UTILIZACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE REVESTIMIENTO CON PROPIEDADES AUTOLIMPIANTES Y DESCONTAMINANTES

Goncalves Rosa¹, Idalberto Águila².

¹ Estudiante del Postgrado en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Central de Venezuela (UCV). Correo: *rosagonc3@gmail.com*

² Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Central de Venezuela (UCV). Correo: *idalbertoaguila@gmail.com*

RESUMEN

Actualmente se buscan estructuras amigables con el medio ambiente y que no ocasionen afectaciones a la salud, siendo esto un desafío actual para nuestra sociedad. Esta investigación busca aprovechar el efecto descontaminante y autolimpiante que ofrecen pequeñas partículas de Dióxido de Titanio, colocadas como adición en revestimientos tipo friso, muy utilizados en edificaciones. El Dióxido de Titanio actúa como fotocatalizador acelerando la degradación natural de contaminantes ambientales, que se transforman en sales inocuas, fácilmente lavables de las superficies. Se trabaja en el desarrollo de un revestimiento para utilizarlo con este fin en exteriores de edificaciones. Se diseña un procedimiento experimental para obtener un revestimiento que cumpla con estas premisas, utilizando polvo muy fino de Dióxido de Titanio adquirido en la ciudad de Caracas, que se ha caracterizado y posee una Superficie Específica de $0,776 \text{ m}^2/\text{g}$. Se prepararán muestras de mortero con adición de Dióxido de Titanio en proporciones entre 5% y 10% del peso del cemento y se expondrán a la luz solar, por períodos de 1 a 7 días, para determinar la capacidad de destrucción de contaminantes y auto limpieza de las superficies. Tal revestimiento busca ser económico, eficiente, amigable con el ambiente y fácilmente replicable en cualquier lugar.

Palabras clave: Descontaminación, autolimpieza, fotocátalisis, revestimiento de concreto, Dióxido de Titanio.

INTRODUCCIÓN

La imperiosa necesidad de cuidar el medio ambiente ha motivado la búsqueda de soluciones para eliminar sustancias que han sido generadas por la actividad tecnológica del ser humano. La contaminación del aire es de gran importancia ya que los contaminantes pueden causar daños en la salud de las diversas especies del planeta, el medio ambiente y las edificaciones.

Una de las soluciones más actuales presentadas para atacar este problema, es la utilización de materiales de construcción que han sido intervenidos con químicos descontaminantes, principalmente con Dióxido de Titanio que genera una destrucción fotocatalítica de los contaminantes orgánicos, e incrementa la capacidad de escurrimiento de las superficies, ayudando a la autolimpieza de los elementos que son construidos y revestidos con estos materiales.

La oxidación fotocatalítica que se genera, consiste en la degradación de los compuestos orgánicos mediante el uso de luz ultravioleta como fuente de energía y el Dióxido de Titanio que realiza la oxidación directamente en la superficie del elemento.

Los atractivos de esta solución son numerosos, se alimenta de luz solar principalmente, pero también utiliza luz artificial, destruye totalmente varias sustancias contaminantes, dejando como residuos sales inocuas que no dañan el ambiente. Es un químico económico y no es tóxico, pero una limitación importante de uso es que no se consigue en grandes cantidades en el país, para ser utilizado en procesos constructivos. Además, hay pocos datos obtenidos de obras ya construidas por lo escasas que son y casi toda la data proviene de experimentos en laboratorios.

En esta investigación se busca desarrollar un revestimiento con propiedades autolimpiantes y descontaminantes para exteriores de edificaciones, enfocándose principalmente en fachadas por ser los elementos de las edificaciones que están más expuestos a los efectos agresivos de la contaminación ambiental, además de requerir frecuentes acciones de mantenimiento tales como reparaciones de friso y pintura que resultan en una gran inversión a lo largo de la vida útil de los inmuebles. Además, las fachadas suelen tener grandes áreas superficiales en contacto con el aire, lo cual aumenta su efecto descontaminante.

Para lograr este objetivo se ha diseñado un procedimiento experimental en donde se busca corroborar la efectividad autolimpiante de manera cuantitativa y su

capacidad descontaminante cuantitativamente, al no contar con normas o procedimientos específicos para tal fin en el país.

Hasta el momento se ha gestionado y adquirido el material y se han realizado los estudios preliminares que han permitido su caracterización. Luego se establecerá la dosificación del revestimiento y se evaluarán sus propiedades físicas, insumo necesario para estudiar la viabilidad técnica, económica y ecológica del revestimiento en comparación con la tecnología tradicionalmente usada en el país.

1. Contaminación Ambiental

El medio ambiente se ve afectado cada día por las crecientes actividades que se generan principalmente por los medios de transporte y en las zonas industriales de las ciudades y las emanaciones de químicas de las mismas, viajan a la atmósfera en donde se difunden y dispersan aumentando la concentración de contaminantes desmejorando la calidad del aire, afectando a los ecosistemas, personas y edificaciones.

Diversos contaminantes tales como Dióxido de Nitrógeno, Dióxidos de Carbono, Dióxidos de azufre, hidrocarburos volátiles, aerosoles y partículas sueltas, generan las llamadas enfermedades ambientales o emergentes (Fundación para la Salud Geoambiental, 2015). Discapacidad pulmonar, bronquitis agudas, asma, cuadros alérgicos, irritación ocular y de las mucosas, alteraciones Psíquicas, son apenas algunas que ya se han relacionado directamente con ellos. Nuevos estudios los relacionan con enfermedades como el autismo, enfermedades renales y con el cáncer ya que son precursores del Material Particulado (mezcla de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas, compuestos de sulfatos, nitratos, polvos entre otros). Estos han sido declarados por la Organización Mundial de la Salud como cancerígeno Tipo I, el más agresivo.

Los compuestos de azufre y nitrógeno son los causantes de la lluvia ácida, acidificando los medios acuáticos y terrestres, afectando de forma grave a la flora y fauna del planeta. Alteran la producción agrícola, creando un grave desequilibrio volviendo a la tierra estéril. Con esto a su vez, contribuyen al incremento del calentamiento global, derritiendo glaciares, aumentando el nivel de los océanos, y extinguiendo especies.

1.1 Contaminación ambiental en la ciudad de Caracas

En el 2012 se hace un estudio ambiental en 90 capitales del mundo midiendo los niveles de Dióxido de Nitrógeno y determina que apenas un 12% de la población mundial estaría respirando aire puro o al menos en condiciones óptimas y como dato interesante se señala a Caracas como la cuarta ciudad de América Latina más contaminada, superada solo por México, Lima y Santiago de Chile (Organización Mundial de la Salud, 2012).

Caracas presentaba para ese momento (última medición oficial en el país), una concentración en promedio al año de 47 ug/m^3 de Dióxido de Nitrógeno, evidenciando un exceso de 17,5% con respecto a valor un máximo normativo de 40 ug/m^3 establecido por la OMS, indicando que hay problemas importantes por este exceso y apuntando a que se deben implementar soluciones innovadoras y eficaces para minimizar el problema ambiental.

1.2 Efectos de la contaminación ambiental en el exterior de las edificaciones

Los contaminantes ambientales antes mencionados también presentan como efecto colateral la destrucción de monumentos y estructuras. Otros elementos exteriores también se ven afectados por este problema especialmente en sus fachadas, las cuales sufren cuatro tipos de lesiones: físicas, mecánicas, químicas y biológicas.

Las lesiones químicas y biológicas son la de mayor de interés para esta investigación por su acción contaminante, aumentando los tiempos de mantenimiento significativamente, incrementando los costos y muchas veces deteriorando los revestimientos a tal grado que no hay solución constructiva más que reparaciones de gran envergadura o la demolición del inmueble.

1.3 Alternativas de solución

Distintas soluciones han sido estudiadas y aplicadas para disminuir estos problemas, las investigaciones más recientes se inclinan a utilizar algunos materiales fotocatalizadores. Los mismos son adicionados a morteros de concreto, pinturas y otros materiales constructivos por presentar características descontaminantes y autolimpiantes. El Dióxido de Titanio ha sido el más estudiado y utilizado con estos fines al ser accesible y económico, arrojando prometedores resultados en este campo hasta el momento.

1.3.1 Materiales Fotocatalíticos

Los revestimientos a base de cemento exhiben frecuentemente un deterioro acelerado como consecuencia de su continua y directa exposición a contaminantes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en el ambiente, causando relevantes cambios en la apariencia principalmente de los exteriores de las edificaciones.

Se ha observado que ciertos materiales semiconductores como el Dióxido de Titanio (TiO_2), Óxido de Zinc (ZnO), Sulfuro de Cadmio (CdS) y Óxido de Hierro (Fe_2O_3), degradan sustancias altamente contaminantes como Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Dióxidos de Azufre (SO_2) que causan efectos adversos en la salud de todos los seres vivos a corto, mediano y largo plazo, deteriorando la atmósfera, mares y suelos y que además son los principales causantes del deterioro físico y estético de las edificaciones.

Múltiples hallazgos de estos materiales están siendo publicados con bastante frecuencia en los últimos años producto de investigaciones y aplicaciones que se derivan de ellas.

Fujishima y Honda (1972), descubrieron que podían descontaminarse mantos acuíferos utilizando el Dióxido de Titanio, aun cuando la idea inicial era almacenar energía en forma de hidrógeno; encontraron que tenía amplias bondades, inocuo para la salud, estable químicamente, y no tóxico. Posteriormente Frank y Bard (1977) presentaron un trabajo similar. También mostraban que degradaba compuestos orgánicos y se generaba oxidación fotocatalítica, demostrando que este fenómeno podría ser utilizado para eliminar contaminantes de variada naturaleza.

Este material se ha empezado a utilizar en la mejora del medio ambiente y Casaar (2003), estudia en la construcción de la Iglesia "Dives in Misericordia" en Italia, las propiedades autolimpiantes, obteniendo paneles sobrantes a los que le adiciona el químico y activando las propiedades hidrofílicas ante la luz ultravioleta, manteniendo el color blanco de la misma obtuvo óptimos resultados. En su trabajo de grado "*White Cement for architectural concrete, possessing photocatalytic properties*", establece que la cantidad de TiO_2 , que se debe usar en el cemento depende del tipo de contaminante que se vaya a enfrentar, en su investigación logró especificar que para limpiar la contaminación de las fachadas de los edificios se le debe adicionar un 5% en peso del cemento.

De la Hoz (2009), estudia la interacción del TiO_2 con morteros de cemento, explicando que puede actuar en suspensión en un medio acuoso, o inmovilizado dentro de una matriz, siendo el mortero de cemento un material en donde el químico se fija muy bien, ya que en el proceso de fraguado queda unido a la pasta rígida, impidiendo su disolución, corroborando su buena interacción con este importante material, indicando que en fase Anatasa presenta un mejor desempeño.

Aguilar (2013), indica que los porcentajes en peso para el desempeño descontaminante óptimo varían en un rango de adición del 5% al 10%. Cantidades menores no ofrecieron una actividad fotocatalítica importante y porcentajes mayores no aportaron mayores beneficios.

Un caso representativo de aplicación en América Latina y el más emblemático es el Templo Mormón de Quetzaltenango en la República de Guatemala, su construcción inició en el año 2009, y su ejecución la llevó a cabo la empresa Mexicana Pretecsa, los profesionales responsables fueron los Arquitectos Gervacio Kim y Enrique Correa. Utilizaron un cemento fotocatalítico autolimpiante llamado TX Active de origen italiano como elemento base en esta obra, y ésta es la primera que lo tiene en América Latina. Utilizaron este producto ya que uno de los inconvenientes de la ubicación del templo es la cercanía con un volcán activo, y las exhalaciones del mismo emiten cenizas que lo ensuciarían constantemente; gracias a éste material, se evita la limpieza frecuente y con ello se logra reducir el costo del mantenimiento y el desgaste de los acabados (Valtierra, 2012).



Figura 1. Templo Mormón de Quetzaltenango en la República de Guatemala.

1.3.2 Dióxido de Titanio, un material Fotocatalítico.

La fotocatalisis se basa en una reacción fotoquímica que convierte a la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador, durante el proceso se generan reacciones de oxidación o reducción, promoviendo la transformación y eliminación de contaminantes presentes en el ambiente (Cortes y Moreno, 2016).

El dióxido de Titanio (TiO_2) el químico que presenta mayor blancura en la naturaleza, resulta ser hasta el momento el material fotocatalítico más estudiado y utilizado en las investigaciones sobre materiales descontaminantes, se presenta en la naturaleza de varias formas: rutilo, anatasa y brookita, siendo los dos primeros los que se producen en grandes cantidades por su fácil y económico manejo. Son utilizados como pigmentos y catalizadores y en la producción de materiales cerámicos por aportar hidrofiliidad a los materiales, que no es más que permitir que el agua forme capas en la superficie de los materiales en vez de acumularse en gotas, lo que hace que escurra con gran facilidad, transportando las partículas que se hayan posado en ella.

A raíz de los descubrimientos de Fujishima y Honda (1972), el TiO_2 , había sido usado como antibacterial en sistemas de purificación de agua y aire, se empezó a estudiar su efecto autolimpiante, removiendo hongos, moho, partículas adheridas de tubos de escape y smog ambiental, mediante las precipitaciones naturales de las zonas en las que se aplicaba. Otro efecto es el descontaminante, que tiene aún mayor relevancia, ya que se ha evidenciado en algunas pruebas que purifica ambientes saturados de algunos contaminantes hasta un 90%. Transforma los óxidos nitrosos en sales inocuas, y los compuestos orgánicos en agua mayormente y óxidos de carbono.

Águila (2017), indica que los NO_x se transforman gracias a las reacciones de oxidación reducción generadas por la fotocatalisis en sales inocuas que son fácilmente lavables por la lluvia de las superficies. Algunas transformaciones resultantes son: los NO_x se transforman en NO_3 , los SO_x en SO_4 y los COV en CO_3 . Los óxidos de nitrógeno en sales de nitrato de calcio y los contaminantes volátiles orgánicos en agua y dióxido carbono.

1.4 Diseño de un revestimiento fotocatalítico para fachadas exteriores

La investigación en curso busca como objetivo principal desarrollar un revestimiento con propiedades autolimpiantes y descontaminantes, verificando su efecto en las propiedades físicas del mortero, estableciendo una dosificación adecuada para

elementos exteriores y por último demostrar la viabilidad técnica, ecológica del mismo.

Para ello se hace un diseño experimental en donde se utiliza metodología cuantitativa, para evaluar el problema en un contexto más controlado, que cuenta con varias fases:

1.4.1 FASE 1. Evaluación de los materiales

Se evalúa bajo las Normas Nacionales COVENIN la calidad y propiedades de los principales materiales del revestimiento (arena, cemento y Dióxido de Titanio), se hacen los ensayos bajo las normas mencionadas las cuales están orientadas hacia la evaluación de materiales para concreto armado, por falta de normas para la evaluación de materiales no cerámicos para revestimientos.

1.4.1.1 Arena

Se evalúa la Distribución Granulométrica y Peso Específico del agregado fino encontrado popularmente para realizar trabajos de revestimientos en la ciudad de Caracas (Arena Maracay), utilizando las siguientes normas:

COVENIN 255:1998 “Agregados. Composición Granulométrica”.

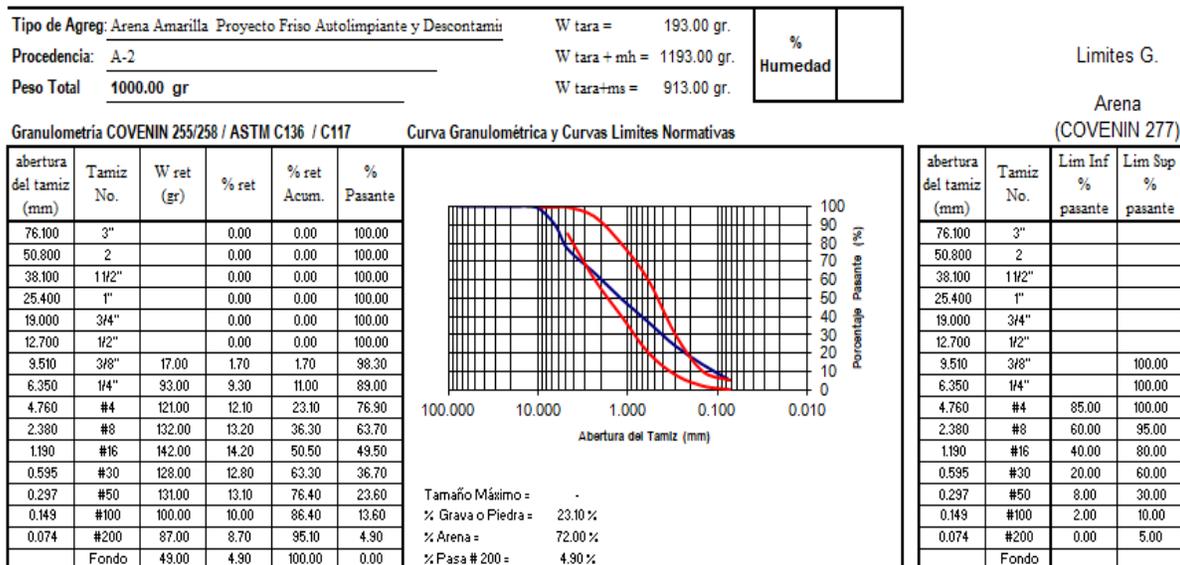
COVENIN 258-77. “Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo de 74 micras en agregados minerales”.

COVENIN 268:1998. “Agregado fino. Determinación de la densidad y absorción”

Al evaluar la muestra por las se obtuvo la curva reflejada en la Figura 2. En donde se aprecia que cumple con las principales limitantes normativas: Un porcentaje de partículas menor a 5% y que la distribución de las partículas este en su mayoría comprendidas entre los valores máximos y mínimos normativos dados por abertura de tamiz y asemejándose a los valores establecidos para los pesos específicos de la arena.

Tabla 1. Caracterización de Muestras de Agregados para Concreto. Elaboración propia (2017).

Caracterización de Muestras de Agregados Para Concreto



1.4.1.2 Cemento

Dada la escasez de variedad de algunos productos en el mercado, se utiliza Cemento Portland/Escoria Maestro Tipo CPCA, esto no afecta el experimento dado que el espesor del revestimiento será de un espesor aproximado de 1,5 mm, y no cumplirá funciones estructurales. Los resultados se muestran en la Figura 3. Se evalúa con las siguientes normas:

COVENIN 492:1994. "Cemento Portland. Determinación de la densidad Real".

COVENIN 487:1993. "Determinación de la finura por medio del aparato de Blaine"

Tabla 2. Caracterización del Cemento Tipo Maestro. Elaboración propia (2017).

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO							
Material	C-1 CEMENTO MAESTRO						
Procedencia	CARRIZAL						
Norma:	COVENIN 492:1994						
PESO ESPECÍFICO							
Temperatura de ensayo:	22,00 °C						
Muestra No.	Peso (P) g	V _o (cm ³)	V _f (cm ³)	Volumen V (cm ³)	P.E. (g/cm ³)	DENSIDAD REAL PROMEDIO (g/cm ³)	
1	60,60	0,40	20,60	20,20	3,00	2,99	
2	60,60	0,50	20,80	20,30	2,99		
SUPERFICIE ESPECÍFICA (Finura Blaine)							
Características de la muestra de ensayo							
Porosidad	P.E. (g/cm ³)	Volumen (cm ³)	Peso (g)				
0,500-0,005	2,99	1,82	2,72				
Temperatura de ensayo:	23,00 °C						
Muestra No.	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t (s)	Sp (m ² /k)	T _r (s)	S (m ² /k)
1	51	52	52	51,67	377,40	82,00	299,57
2	52	51	51	51,33			298,60
					S= <u>299,09</u> m ² /k		

La Norma COVENIN 487-93 no establece valor límite para la Finura Blaine en Cementos Portland MAESTRO; sin embargo el resultado obtenido resulta ser superior en comparación con el valor de superficie específica Blaine mínimo para cementos portland de otros tipos. Según Porrero y Grases (2004) los cementos usuales se muelen en el orden de 280 a 350 m²/k.

1.4.1.2 Dióxido de Titanio

Como ya se presentó anteriormente De la Hoz (2009), indica que el TiO₂ en la fase Anatasa conocida también como octaedrita, es la que presenta mejores resultados de óxido reducción de contaminantes ambientales, por lo que se le realizaron ensayos de Granulometría por Difracción Laser para obtener el tamaño de partícula y su peso específico para corroborar su clasificación en la serie de las fases de los Dióxidos de Titanio. El ensayo y las normas a utilizar fueron las siguientes:

Densidad. Método del Picnómetro. Método Holandés.

ISO 13320-1. Particle size analysis-laser diffraction methods.

Los resultados mostrados en la Figura 4. Indica que la densidad promedio del Dióxido de Titanio es de 3,88 g/cm³ indicativo de que efectivamente se está trabajando con la fase anatasa.

Tabla 3. Densidad de Dióxido de Titanio. Elaboración Propia (2017).

Muestra	Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	8.17	2.079	3.93
2	8.39	2.191	3.83
3	7.12	2.011	3.54
4	7.05	2.080	3.39

Desviación 0,0684 Anatasa 3,8 ~ 3,9 g/cm³
 Densidad Promedio (g/cm³) 3,88 Rutilo 4,2 ~ 4,3 g/cm³

El resultado arrojado por el ensayo de Difracción Laser (Figura 2), arroja un tamaño de partícula promedio de 5,481 μm, por lo que corroboramos que estamos trabajando con macropartículas.

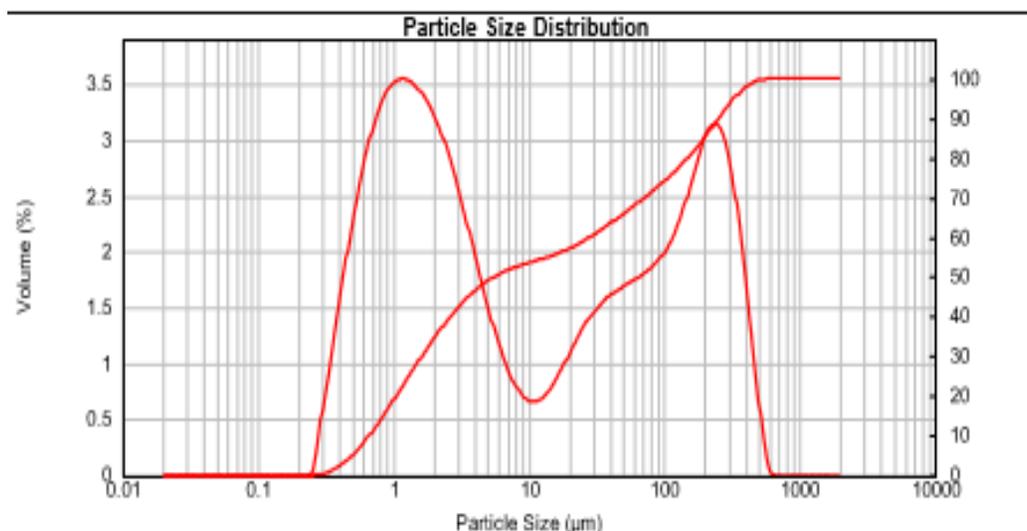


Figura 2. Gráfica de distribución granulométrica del Dióxido de Titanio. Elaboración Propia (2017).

1.4.2 FASE 2. Elaboración de Probetas

Se elaboran las probetas, utilizando las dosificaciones indicadas por Pose y Castilla (1995), se plantea la fabricación de 16 probetas de tamaño (25 x 40) cm, que se ensayaran con los porcentajes de adición mostrados en la Figura 6 y por los periodos de tiempo indicados en la misma.

Tabla 4. Matriz experimental de revestimiento para la medición de la descontaminación por Dióxido de Nitrógeno. Fuente: Elaboración Propia (2017).

Probeta	% de adición de TiO ₂	Tiempo de Exposición
0	0	24 horas
1	5	
2	7.5	
3	10	
0	0	3 días
4	5	
5	7.5	
6	10	
0	0	7 días
7	5	
8	7.5	
9	10	

1.4.3 FASE 3. Medición de Descontaminación

Las probetas se colocarán en una cámara sellada con una concentración de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Dióxido de Nitrógeno (NO₂), obtenida por la combinación controlada de cobre más Ácido Nítrico, cumpliendo con lo establecido en la Tabla de la Figura 6 y cumpliendo que las series de probetas que tengan el mismo porcentaje de adición de TiO₂ sean ensayadas en el mismo periodo de tiempo para asegurar que estén expuestas a las mismas condiciones de irradiación solar, temperatura y clima.

Se miden las concentraciones iniciales y finales mediante la utilización de filtros de celulosa y la diferencia obtenida corresponderá a las disminuciones de NO₂ obtenidas por la actividad fotocatalítica de las partículas adicionadas de TiO₂.

1.4.3 FASE 4. Medición de Autolimpieza

En esta fase se corrobora la capacidad autolimpiante, exponiendo las probetas a gases y partículas expulsados por el silenciador de un vehículo o un mecanismo que recree las mismas condiciones. Se procederá a comparar sus coloraciones con una cartilla de colores partiendo una tonalidad base igual al patrón y el obtenido luego de la exposición al contaminante, se obtendrán colores intermedios enumerándolos y luego de una exposición a lluvia o un irrigado similar se determinará cualitativamente cual es el grado de autolimpieza.

8. CONCLUSIONES

La elaboración de un revestimiento que pueda descontaminar el ambiente que lo rodea y además acortar los tiempos de mantenimiento al ser autolimpiante podría generar un impacto importante sobre el medio ambiente y la innovación de los procesos de mantenimiento de los exteriores de las edificaciones.

A nivel mundial se han generado investigaciones con el Dióxido de Titanio al ser un descontaminante fotocatalítico por excelencia, y además por poseer propiedades fungicidas, antimicóticas al ser adicionado en distintos materiales

En el IDEC, actualmente se está iniciando la investigación en esta línea esperando desarrollar un revestimiento que sea fácilmente replicable y viable económicamente.

Hasta el momento se tienen caracterizados los materiales; la arena y en especial el dióxido de titanio, así como preparados los experimentos que definirán su efecto descontaminante y las condiciones de utilización en la elaboración de revestimientos.

El estudio del Dióxido de titanio utilizado arrojó una Superficie Específica de 0,776 m²/g, una densidad de 3,88 g/cm³, lo que indica que se trata de macropartículas de la fase anastasa.

9. REFERENCIAS

Águila, I. (2017), Presente y futuro de la Tecnología del Concreto. En memorias de la Trienal de Investigación FAU 2017 (pp. TC – 05: 8-15)

Aguilar, A (2013). *Evaluación técnico ambiental del Dióxido de Titanio (TiO₂) en los morteros de cemento chileno* (Tesis de Maestría). Universidad Del Bio. Concepción.

Casaar, C (2003). White cement for arquitectural concrete, possesing photocatalytic propertis. Int. Congr on chemistry of cement. Durban.

Cortes, D y Moreno, J. (2016). *Efecto del reemplazo de cemento portland por el dióxido de titanio en las propiedades mecánicas del mortero* (Tesis de grado). Pontificia Universidad JAVERIANA. Colombia.

COVENIN 286-1998. Agregado fino. Determinación de densidad y absorción.

COVENIN 255-1998. Agregados. Composición granulométrica.

COVENIN 487-1993. Determinación de la finura por medio del aparato de Blaine.

COVENIN 494-1994. Determinación de consistencia normal.

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 la luz solar* (Tesis de Doctorado). Universidad de la Concepción. Chile.

Fujishima, A y Honda K (1972), "Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode". Estados Unidos: 238 -240

Fran B, y Bard K. (1977). "Heterogeneous photocatalytic oxidation of aromatic compounds on TiO₂". International Journal of Hydrogen Energy. United States: 15-34.

Fundación para la Salud Geoambiental. *Calidad del aire*, 2013. Extraído el 20 de abril de 2017 de <http://www.saludgeoambiental.org/contaminacion-invisible>.

ISO 13320-1. Particle size analysis-laser diffraction methods.

Pose M, Castilla E. (1995). Evaluación de comportamiento de muros de mampostería estructural de bloques de concreto ante carga horizontal. Boletín



Técnico IMME, Volumen 33, Número 1, marzo 1995. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales IMME, Universidad Central de Venezuela-UCV, 17-22.

Organización Mundial de la salud. *Calidad de aire ambiente (exterior) y salud*, 2017. Extraído el 27 de enero de 2017 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.

Valtierra, A (2012). *Con inspiración Maya*, 2012. Extraído el 24 de Abril de 2017 de <http://www.imcyc.com/revistacyt/diciembre2012/pdfs/internacional.pdf>.

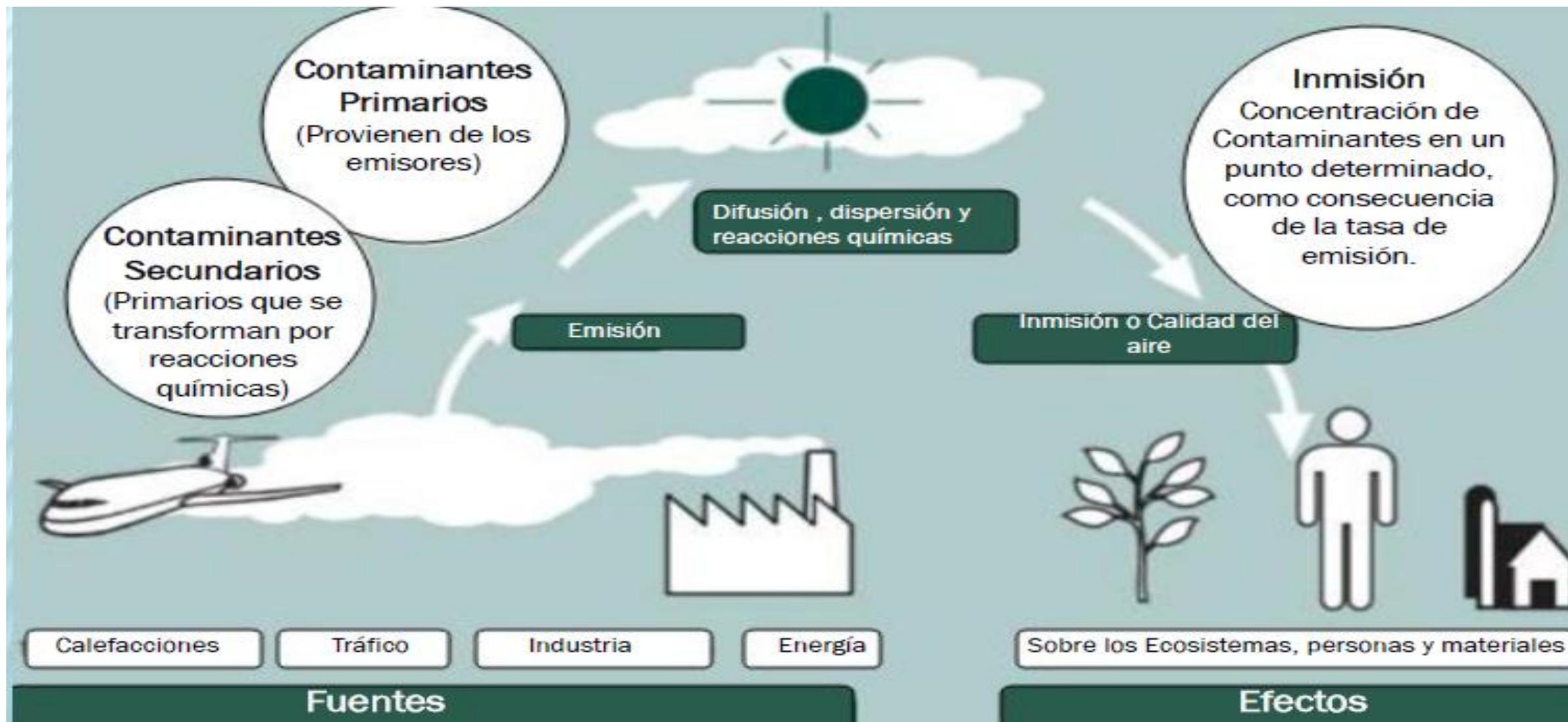
APÉNDICE (Presentación)



Caracterización de polvo de dióxido de titanio para su utilización en la elaboración de revestimiento con propiedades autolimpiantes y descontaminantes

Rosa Goncalves e Idalberto Águila

“La imperiosa necesidad de cuidar el medio ambiente ha motivado la búsqueda de soluciones para eliminar sustancias que han sido generadas por la actividad tecnológica del ser humano”



Tipos de Contaminantes. Fuente Ecoticias (Marzo 2013)

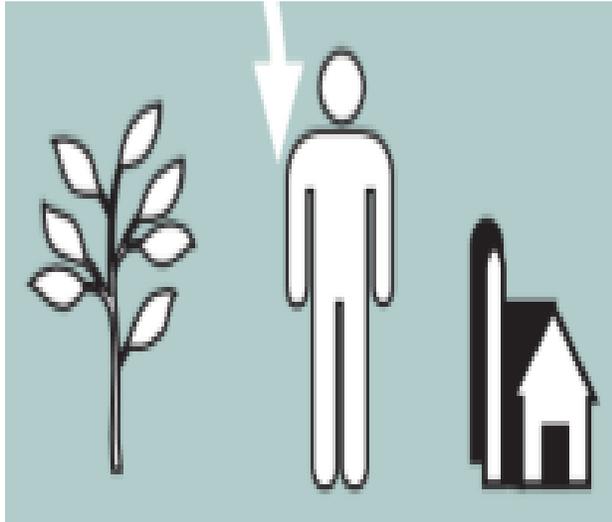
- La OMS (2012), generó un informe de evaluación realizado a 1600 ciudades, en 91 países e indica que Caracas es la cuarta ciudad más contaminada de América Latina, por compuestos de azufre y nitrógeno altamente contaminantes y dañinos para la salud.

Caracas 47 ug/m^3 Dióxido de Nitrógeno.

Excede un 17,5 % el valor máximo de 40 ug/m^3



Imágenes de Caracas. Fuente: El Nacional (2015).



- Villela (2007), nos expresa, “... La fachada de un edificio esta expuesta a algunas de las más duras condiciones de deterioro al estar en la intemperie, y sin un mantenimiento regular, se acelerará el proceso de deterioro normal”

LESIONES EN EL REVESTIMIENTO (FRISO)

Físicas } Temperatura
 } Humedad
 } Presión

Mecánicas } Grietas
 } Fisuras
 } Desprendimientos

Químicas } Eflorescencias
 } Criptoflorescencias
 } Contaminantes

Biológicas } Animales } Hongos
 } Vegetales } Mohos
 } Plantas

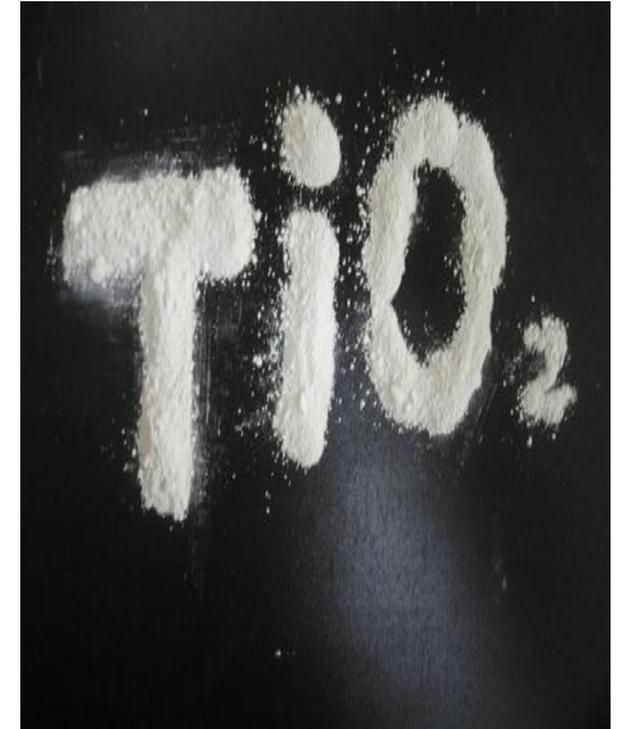
- Para aminorar el impacto ambiental, se ha estado trabajando en diversas soluciones a nivel de micro y nano partículas.
- Akira Fujishima publica un libro (denominado “TiO₂ photocatalysis”) el año 1999. Origeno investigaciones en el área de la construcción.
- El grupo Italcementi (Italia), lleva más de diez años investigando y realizando ensayos, es el pionero en esta área.



- Descontaminante.
- Poco uso de energía no natural (solo en el proceso de construcción y aplicación).
- Fungicida.
- Autolimpiante.
- Mayor durabilidad del acabado (Chemours 2,5 veces más que un revestimiento tipo friso estándar).

Iglesia del Jubileo. Roma.

- SUGRÁÑEZ (2016), “NUEVOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN CON PROPIEDADES AUTO-LIMPIANTES Y DESCONTAMINANTES”.
 - Sólido Cristalino.
 - Presenta hidrofiliidad.
 - Baja toxicidad.
 - 0-10% respecto a la cantidad de Cemento.
 - No hay interacciones químicas significativas entre el TiO_2 , el cemento y los agregados.
- LÓPEZ Y FERNÁNDEZ (2013), “NANOPARTÍCULAS Y SUS RESIDUOS. INCORPORACIÓN EN MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN”.
 - Carácter altamente hidrofílico.
 - Cantidades entre 5% y 10%, mayor acción foto catalítica.





No existen manuales en el país que indiquen dosificaciones y posibles usos en la vida cotidiana de la construcción.

Se ha demostrado en numerosas investigaciones sus propiedades autolimpiantes y descontaminantes.

Uso de TiO_2 en Venezuela

Existen pocos trabajos de investigación hacia la aplicación práctica en las construcciones.

Es poco utilizado, no se difunden sus beneficios constructivos ni económicos. (Disminución significativa del costo de mantenimiento).

Diseño de un revestimiento fotocatalítico

La investigación en curso busca como objetivo posterior desarrollar un revestimiento con propiedades *autolimpiantes* y *descontaminantes*, verificando su efecto en las propiedades físicas del mortero, estableciendo una dosificación adecuada para elementos exteriores y por último demostrar la viabilidad técnica, ecológica del mismo.



Cemento Portland
Arena Maracay
Agua



Dióxido de Titanio

Dióxido de Titanio

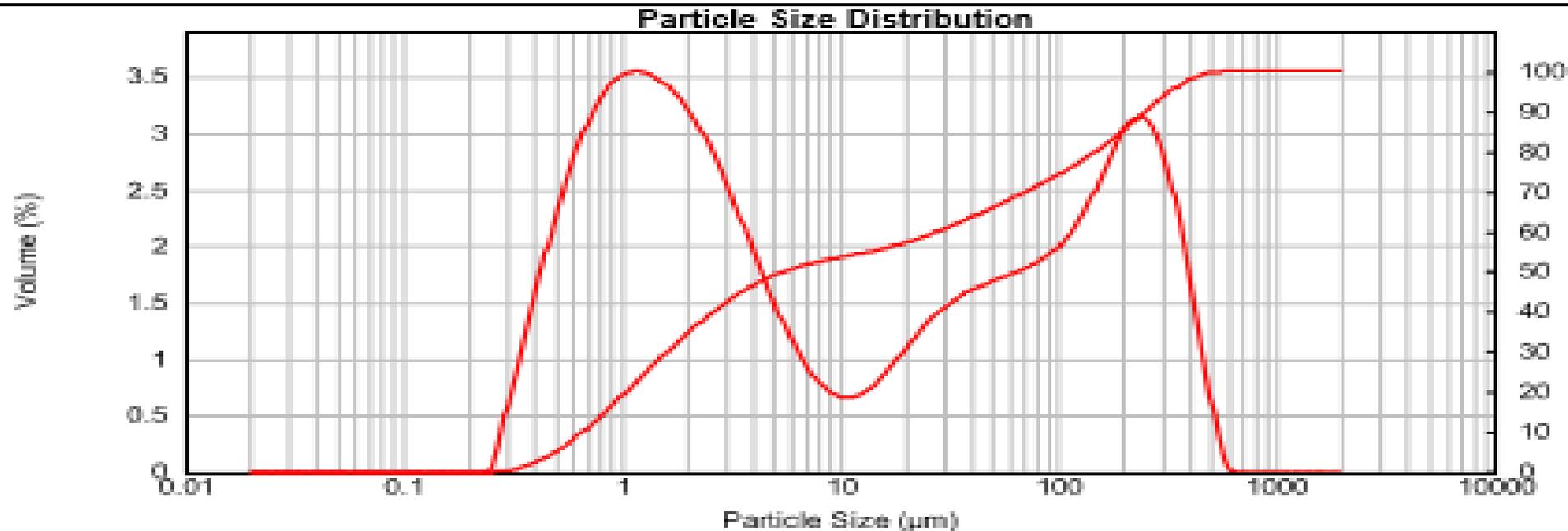
El dióxido de Titanio (TiO_2) el químico que presenta mayor blancura en la naturaleza, es hasta el momento el material fotocatalítico más estudiado y utilizado en las investigaciones sobre materiales descontaminantes, es económico.



Se presenta en la naturaleza de varias formas: **rutilo, anatasa y brookita.**

Caracterización del Dióxido de Titanio

- ISO 13320-1. Análisis de Partículas mediante el método de difracción laser.



- El resultado arrojado por el ensayo de Difracción Laser, arroja un tamaño de partícula promedio de 5,481 µm, por lo que corroboramos que estamos trabajando con micropartículas.

Caracterización del Dióxido de Titanio

- Densidad por el Método Holandés.

Se determina la densidad de los materiales micro y nano finos, mediante la desaireación de los mismos.

Muestra	Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	8.17	2.079	3.93
2	8.39	2.191	3.83
3	7.12	2.011	3.54
4	7.05	2.080	3.39

Desviación

0,0684

Anatasa

3,8 ~ 3,9 g/cm³

Densidad Promedio (g/cm³)

3,88

Rutilo

4,2 ~ 4,3 g/cm³

Los resultados mostrados en la Tabla, indican que la densidad promedio del Dióxido de Titanio es de 3,88 g/cm³ indicativo de que efectivamente se está trabajando con la **fase anatasa**.



Diseño de un revestimiento fotocatalítico

Se elaboran las probetas, plateándose la fabricación de 16 probetas de tamaño (25 x 40) cm, que se ensayaran con los porcentajes de adición y por los periodos de tiempo indicados en la siguiente tabla:

Probeta	% de adición de TiO ₂	Tiempo de Exposición
0	0	24 horas
1	5	
2	7.5	
3	10	
0	0	3 días
4	5	
5	7.5	
6	10	
0	0	7 días
7	5	
8	7.5	
9	10	

$$(25 \times 40) \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^2$$

Exposición a luz solar

Tabla experimental. Fuente Propia. (Noviembre 2017)

Medición de Descontaminación

* Cámara sellada con una concentración mayor a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), combinación de cobre más Acido Nítrico.

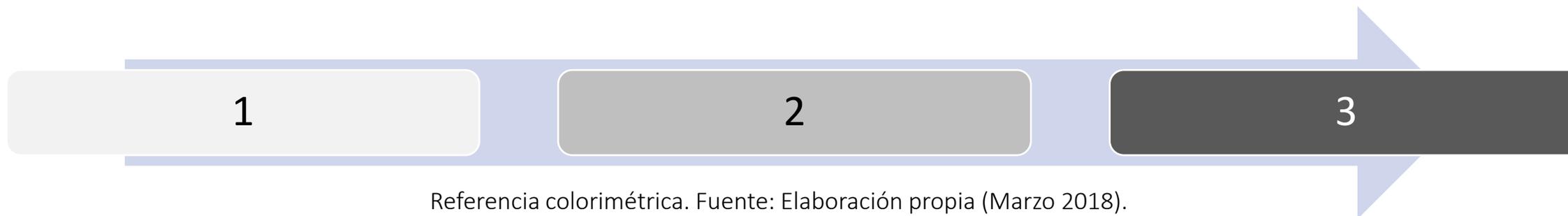


Construcción de la cámara experimental. Fuente Propia. (Junio 2018)

* Se miden las concentraciones iniciales y finales y la diferencia obtenida corresponderá a las disminuciones de NO_2 obtenidas por la actividad fotocatalítica de las partículas adicionadas de TiO_2 .

Medición de autolimpieza

- Se expone las probetas a gases y partículas expulsados por el silenciador de un vehículo o un mecanismo que recree las mismas condiciones.
- Se procederá a comparar sus coloraciones con una cartilla de colores.



- Se expondrá a lluvia o un irrigado similar para determinar cualitativamente cual es el grado de autolimpieza.

Conclusiones

- En el IDEC, actualmente se está iniciando la investigación en esta línea esperando desarrollar un revestimiento que sea fácilmente replicable y viable económicamente.
- La elaboración de un revestimiento que pueda descontaminar el ambiente que lo rodea, ser económico a largo plazo y acortar los tiempos de mantenimiento al ser autolimpiante podría generar un impacto importante sobre el medio ambiente y la innovación de los procesos de mantenimiento de los exteriores de las edificaciones.

Conclusiones

- El estudio del Dióxido de titanio utilizado arrojó una Superficie Específica de $0,776 \text{ m}^2/\text{g}$, una densidad de $3,88 \text{ g/cm}^3$, lo que indica que se trata de micropartículas de la fase anastasa.
- Hasta el momento se tiene caracterizado los materiales (arena y cemento) además del dióxido de titanio, así como preparados los experimentos que definirán su efecto descontaminante y las condiciones de utilización en la elaboración de revestimientos.



Gracias por su atención

Bibliografía

- Abella, G. (2015). “Mejora de las propiedades de materiales a base de cemento que contienen TiO_2 : propiedades autolimpiantes”. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Madrid. España:17-34.
- Molina, M. (2013). “Nanoresiduos. Incorporación en materiales de base cemento”. Tesis de Maestría. Escola de Camins. España, Barcelona:5-53.
- Organización Mundial de la salud. “Calidad de aire ambiente (exterior) y salud. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>. (Consulta 27 de Enero de 2017 7:25 pm).
- Perez, G. (2012). “Hormigon Autolimpiante”. <http://www.hormigonesvicente.com/thormigonautolimpiante.html>. Consulta 12 de Enero de 2017 08:39 pm).
- Porrero, J. (2004). “Manual del Concreto Estructural”. Primera Edición. Caracas.
- Rosa, N. (2010) “Manual de prevención de fallos. Estanqueidad en Fachadas”. Código Técnico de Edificaciones. España: 48-49.
- Sauthier, G. (2012). “Preparación y caracterización de capas delgadas y estructuras de óxido de titanio para aplicaciones fotocatalíticas activadas mediante radiación UV o visible”. Tesis de Doctorado. Universitat autonoma de Barcelona”. España, Barcelona:56-90.
- Sugrañez, R. (2016). “Nuevos materiales de construcción con propiedades auto-limpiantes y descontaminantes”. Tesis de Doctorado. Universidad de Córdoba. Córdoba, España :7-42.
- Villela, J. (2007). “Análisis de adherencia de revestimientos cerámicos de edificios”. Tesis de grado. Universidad de Chile. Santiago de Chile: 4-7.