

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“INFLUENCIA DE NANOMATERIAL (ÓXIDO DE ZINC) EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO CONVENCIONAL”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Forma: Artículo científico

Autores:

Guadalupe Fernanda Delgado Calderon

Edson Rucana Guadalupe

Asesor:

MBA Ing. Neicer Campos vasquez

<https://orcid.org/0000-0003-1508-6575>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	EDMUNDO VERAU MIRANDA	10557797
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	JOSE LUIS NEYRA TORRES	21454204
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	ERICK HUMBERTO RABANAL CHAVEZ	46905022
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Turnitin Informe de Originalidad

Visualizador de documentos

Procesado el: 01-jul-2023 14:22 -05
 Identificador: 2125206636
 Número de palabras: 5109
 Entregado: 1

AC_Delgado Guadalupe_Rucana Edson Por Edson Y Guadalupe Edson Rucana
 Guadalupe Y Guadalupe Fernanda Delg

Índice de similitud	Similitud según fuente
14%	Internet Sources: 13% Publicaciones: 3% Trabajos del estudiante: 3%

excluir citas	Excluir bibliografía	excluir las coincidencias menores	modo:	ver informe en vista quickview (vista clásica)	▼	imprimir	actualizar	descargar
1% match (Internet desde 08-abr-2023)	https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31045/Art%3c3%adculo%20cient%2%adfico.pdf?isAllowed=n&sequence=2							
1% match (Internet desde 05-ene-2022)	https://notablesdelaciencia.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/125778/CONICET_Digital_Nro.28b60058-74da-4250-bcbb-b241887edda2_A.pdf?isAllowed=v&sequence=2							
1% match (Muraleedharan Pillai Smitha, Dhanaraj Suji, Mercy Shanthi, Adeyemi Adesina. "Application of bacterial biomass in biocementation process to enhance the mechanical and durability properties of concrete", Cleaner Materials, 2022)	Muraleedharan Pillai Smitha, Dhanaraj Suji, Mercy Shanthi, Adeyemi Adesina. "Application of bacterial biomass in biocementation process to enhance the mechanical and durability properties of concrete", Cleaner Materials, 2022							
1% match (Internet desde 15-ene-2023)	https://dspace.untruu.edu.pe/bitstream/handle/UNTRUU/14758/SOTO%20PRADO,%20Marco%20Antonio;%20VILLEGAS%20PONCE,%20Kevin%20Devvis.pdf?isAllowed=v&sequence=1							
<1% match ()	Rebaza Paredes, Karla Dayana, Ruiz Anapan, Steohany Milagros. "Influencia de la implementación de la metodología BIM aplicada en el presupuesto tradicional a nivel arquitectónico y estructural del Colegio de Nutricionistas del Perú - Jesús María - Lima - 2020", Universidad Privada del Norte SAC, 2022							
<1% match ()	Miranda Aragon, Francesca Jennifer. "Aplicación de micropavimento para la conservación vial en el tramo La Quinua - Challhuamayo, región Ayacucho, 2020", Universidad Privada del Norte SAC, 2021							
<1% match ()	Carrion Carbajal, Zabdaby Enrique. "Reforzamiento de muros de mampostería con mallas poliméricas y electrosoldada para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales en el distrito de Ate - Lima, 2022", Universidad Privada del Norte SAC, 2021							
<1% match ()	Aguilar Cieriano, Jhan Carlos. "Influencia del agregado reciclado en la resistencia a la compresión y el porcentaje de absorción de adoquines peatonales Lima 2020", Universidad Privada del Norte SAC, 2021							
<1% match ()	Tutava Tineo, Akin Lene, Vilchez Castillo, Mario Jesus. "Gestión de seguridad y salud en el trabajo en tiempos de COVID-19 en el sector construcción en Perú, 2021", Universidad Privada del Norte SAC, 2022							
<1% match ()	Chacon Quispetto, Wendy Esthefany. "Implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo basado en la Ley N°29783 para reducir los riesgos de accidentes laborales en una obra de muros pantallas de la empresa JCHE, 2021", Universidad Privada del Norte SAC, 2022							
<1% match (Internet desde 10-oct-2022)								

DEDICATORIA

Esta investigación lo dedicamos a nuestras familias quienes nos apoyaron en el largo camino de nuestra carrera profesional y nos enseñaron que todo esfuerzo tiene una gran recompensa.

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres por sus constantes enseñanzas y apoyo en los momentos más difíciles de nuestra vida así mismo a nuestros profesores por su apoyo en todas las dudas que tuvimos en nuestra investigación.

Tabla de Contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	15
CAPÍTULO III: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	19
 • Prueba de Rodamina B	19
 • Prueba de Fenolftaleína	21
 • Prueba de exposición a gases contaminantes	23
 • Prueba de resistencia a la compresión	26
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS	30



RESUMEN

Esta investigación busca dar a conocer un nanomaterial que pueda otorgar la propiedad auto-limpiante al concreto convencional, debido a que los contaminantes que se encuentran en el aire son también los causantes de algunas patologías del concreto que afectan su durabilidad, como lo son la carbonatación, el ataque químico por ácidos y la lluvia ácida. El objetivo principal de esta investigación fue contrarrestar el deterioro de las construcciones de concreto utilizando el óxido de zinc como material auto-limpiante para el concreto convencional. Para lo cual, se realizaron pruebas experimentales, como la prueba de rodamina B, exposición a gases contaminantes y la prueba de fenolftaleína, realizadas en muestras de mortero, y la prueba de resistencia a la compresión, realizada en probetas de concreto. Finalmente, los resultados nos permitieron concluir que el óxido de zinc trabaja como un material fotocatalítico y le da una propiedad de autolimpieza al concreto lo que le permite mantener su superficie libre de los contaminantes que normalmente quedan impregnados a él y lo dañan, además de poder observar que este agregado disminuye en cierto porcentaje la resistencia del concreto, por lo que se recomienda sea utilizado como un mortero más que como concreto en elementos estructurales.

PALABRAS CLAVES: Construcciones de concreto, fotocatalítico, óxido de zinc, auto-limpiante, deterioro.



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Por muchos años se ha podido observar cómo se ha ido incrementando la contaminación ambiental en todo el mundo, afectando a los suelos, al agua, y el aire. De acuerdo al artículo de Vignolo (2020), los principales contaminantes presentes en el aire son: el monóxido de carbono (CO) cuyo 86% es producido por las emisiones del transporte, óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, NO_X) con un 62% por emisiones del transporte y un 30% por combustión para generación de energías, dióxido de azufre (SO₂) con un 93% debido a la quema de combustibles fósiles y material particulado (PM) [1], el cual puede incluir partículas que son especialmente dañinas para el concreto. Con respecto al conocido gas de efecto invernadero CO₂ [2], que es producido principalmente por la combustión de combustibles fósiles y la propia respiración de la especie animal, en sí, es vital para el planeta cumpliendo así con el llamado ciclo del carbono [3], sin embargo, ya desde hace muchos años este ha perdido su equilibrio en la naturaleza debido a que se ha descompensado al haber más emisión de CO₂ de la que el planeta puede absorber, convirtiéndose en una de las principales causas del calentamiento global y que también influye en el deterioro del concreto en procesos como la carbonatación [4].

Los efectos que tienen estos contaminantes en la durabilidad del concreto se pueden apreciar en las diferentes patologías causadas por estos. Un claro ejemplo de ellos es la carbonatación [5], que es causada directamente por los gases que se encuentran en el aire, el ataque químico por ácidos, que se genera al combinarse los gases contaminantes y la humedad que pueda existir en el ambiente, que hace que estos se adhieran a la superficie del concreto y empiecen a deteriorar la superficie del mismo.



Lo que se puede ver en muchas partes del mundo, y una de las más conocidas, es la llamada lluvia ácida [6], cuyo efecto podemos observar en muchas edificaciones, y dependiendo del tipo de agente que se pueda encontrar en el aire contaminado, ya sean sulfatos, áridos, etc., estos podrían generar otros tipos de ataques químicos al concreto [7]. Estas patologías se hacen cada vez más notorias con el paso del tiempo, y esto es debido a que la contaminación del aire en el mundo sigue en aumento.

Según MeteoSim (2019), las capitales y sus respectivos países que poseen mayor contaminación según su concentración de PM 2.5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual es un contaminante muy peligroso. Esto, debido a su potencial incorporación a los organismos vía inhalación ya que estos se encuentran suspendidos en el aire; es por ello que, son responsables de una gran cantidad de problemas de salud. Según el artículo mencionado, podremos encontrar en la Figura 1 que Delhi – India ocupa el primer lugar con respecto a la capital más contaminada, además podemos encontrar a Lima – Perú un poco más arriba de lo que correspondería a la mitad de todos esos países.

De acuerdo a GreenPeace (2019), se tiene en total una lista de los 12 países que poseen más emisiones de Dióxido de azufre medido en kilotonnes por año, teniendo en primer lugar a la India como principal emisor, siendo en 2019 cuando se reportó que fue responsable del 21% de las emisiones del SO_2 a nivel mundial. Con respecto a la emisión del NO_2 en el periodo de 1980 al 2016, medido en millones de toneladas por año, se tiene que existe una mayor emisión en África y el este de Asia, así como también hubo un descenso en Europa y

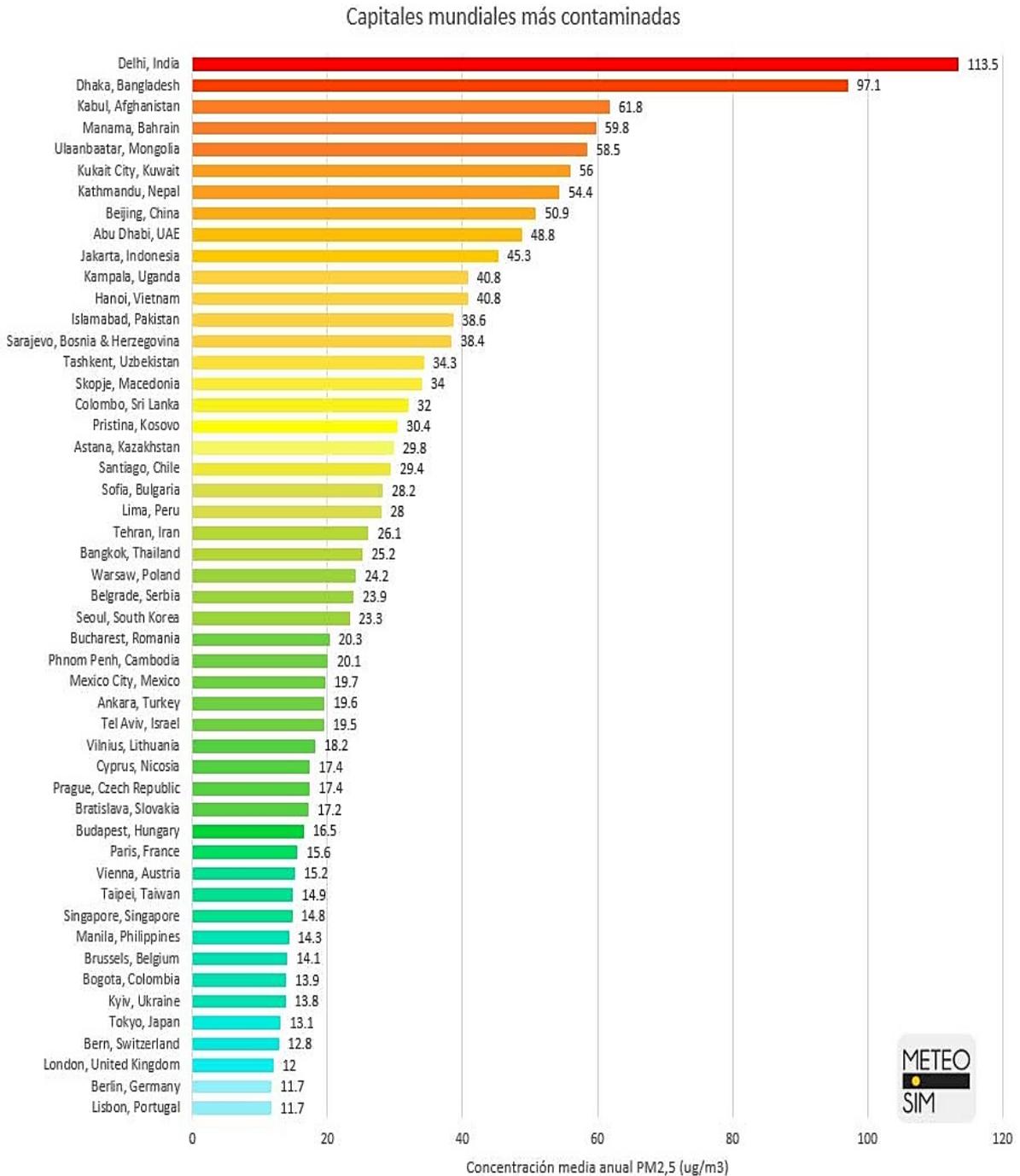


Rusia, por lo que de hacerse un nuevo estudio para evaluar este tema nos daría una mejor perspectiva de la realidad actual [8].

Por último, tenemos los principales países emisores de CO₂, medido en millones de toneladas anuales, los cuales siguen incrementando su nivel de contaminación a lo largo de los años, esto debido a la industrialización que existe en ellos y que ha ido creciendo, siendo así los países con mayores potencias económicas los que contaminan más. En primer lugar,



tenemos a China, seguido de Estados Unidos, países donde el sector industrial forma gran parte de la economía nacional [9].



En el Perú, aunque no es un país tan contaminado a comparación de otros, es notoria la cantidad de contaminantes en el aire, además de también poder apreciarse en las edificaciones como se puede observar en la Figura 2, pudiendo estos contaminantes dañarlas debido a las diferentes patologías explicadas anteriormente, por lo cual les deben hacer un constante mantenimiento y resanado. En un estudio ESDA (Estudio de Desempeño Ambiental) realizado por el Ministerio del Ambiente que fue publicado en el año 2015, siendo el más reciente que se tiene de los datos en el Perú sobre la contaminación en el aire, nos muestra como a lo largo de los años 2002 hasta el 2012, se han incrementado algunas de las emisiones de gases contaminantes, así como también algunas se han mantenido, donde se aprecian las cantidades emitidas por el Perú en miles de toneladas. [10]



Figura 2 Edificios de Lima impregnados con la contaminación. Fuente: Elaboración propia

En relación al mencionado ataque ambiental que sufren las estructuras urbanas, diferentes autores han venido investigando alternativas para contrarrestar el mencionado



ataque. Tal es el caso de Qu et al. (2021), quienes desarrollaron un método para la creación de mortero hidrofóbico utilizando bacterias cultivadas en cultivos líquidos, siendo la *B. subtilis* 3610 y *E. coli* (BL21 (DE3)) de ATCC las bacterias utilizadas para el estudio, utilizando a su vez dos tipos de medio de cultivo (Luria/Miller LB-Medium y LB Plus de Sigma Aldrich) para la investigación de la influencia de este en el rendimiento hidrofóbico de las bacterias. Se prepararon muestras del mortero hidrofóbico considerando el líquido de cultivo donde se encontraban las bacterias como parte del volumen total de agua que debía adicionarse a la mezcla, obteniendo así que todas las muestras adicionadas con bacterias presentaban un mayor ángulo de contacto con el agua siendo casi idéntico en el uso de ambas bacterias, por lo que se pudo concluir que puede prepararse concreto hidrofóbico con bacterias que no presentan hidrofobicidad innata.

Por otro lado, Molina-Prieto (2016) desarrolló un estudio en el cual evaluó la aplicación de la nanotecnología para la conservación del patrimonio arquitectónico y urbano. Dicho estudio se basó en una campaña experimental, donde se ensayaron dos nanopartículas metálicas (óxido de hierro y óxido de Zinc) como aditivos a la mezcla de concreto. De este modo, el autor concluyó que las nanopartículas metálicas generan un filtro que bloquea la luz ultravioleta, reduciendo las afecciones.

Angelomé y Angelomé (2019) trabajaron con la incorporación de nanomateriales, así como el monitoreo y realización de nuevos tratamientos en la industria de la construcción. Para ello compararon los diversos nanomateriales que tenían diferentes usos, las fichas técnicas nos enseñaban la aplicación ya sea en hormigón, cerámicas cemento, celdas solares, pinturas, recubrimientos, entre otros, y así poder determinar el mejor beneficio de su



aplicación. De igual manera Haurie Ibarra (2018), estudió las aplicaciones de nanotecnología en los materiales de la construcción, para lo cual realizó aplicaciones de nanotecnología en elementos con base de cemento por medio de modificación de nano partículas, revisó los diversos aditivos nano que existen, y también hizo aplicaciones de nanotecnología en recubrimientos ya sea hidrofílicos e hidrofóbicos, foto catalíticos resistentes a la Radiación UV, anticorrosión, anti-grafiti, entre otros. Siendo así que ambos autores pudieron concluir que al incorporar nanopartículas de óxido de Zinc a un compuesto esto mejora su resistencia a la luz UV, asegurando una capa selladora superficial que ayuda a preservar la máxima humedad durante el proceso de fraguado, así como ser un material fotocatalítico.

En base a la realidad problemática expresada anteriormente, se detallaron las diferentes patologías que afectan la durabilidad del concreto y que son consecuentes de la alta contaminación del aire que existe hoy en día. Por lo cual, la importancia del presente estudio radica en dar a conocer un nanomaterial auto-limpiante, que al adicionarse al concreto convencional, pueda ayudar a contrarrestar los efectos de los gases y partículas contaminantes que deterioran el concreto, así como también reducir la presencia de estos, contribuyendo así en el cuidado del medio ambiente al purificar el aire en cierto nivel. Es por ello que, el presente trabajo de investigación busca llegar al siguiente objetivo principal: “Contrarrestar el deterioro de las construcciones de concreto utilizando el óxido de zinc como material auto-limpiante para el concreto convencional”, por lo cual se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo determinar la influencia del óxido de Zinc en la durabilidad del concreto convencional?

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

En el desarrollo del presente trabajo se fabricaron 2 tipos de especímenes para su respectivo análisis, los cuales se detallan en el siguiente apartado:

Probetas de concreto patrón

Se elaboraron probetas de concreto convencional de resistencia $f'c=210$ kg/cm², dimensiones: diámetro 4’’ y altura 8’’ como lo indica la norma ASTM C192. Así como muestras de mortero con dimensiones 10cm * 10cm * 4cm.

Probetas de concreto con agregado de óxido de Zinc

Se elaborarán probetas de concreto con un porcentaje de: 4%, 7% y 9.5% de agregado de óxido de Zinc a una mezcla de concreto convencional, con dimensiones: diámetro 4’’ y altura 8’’. Así como muestras de mortero con los mismos porcentajes, y con dimensiones 10cm * 10cm * 4cm.

Los porcentajes se escogieron basándose en trabajos previos con óxido de zinc, aplicado a morteros y pavimentos rígidos, los cuales sirvieron de referencia para saber a partir de qué porcentaje empezaba a ser funcional como material fotocatalítico el óxido de zinc, así como también se hicieron pruebas previas a las muestras definitivas con porcentajes más elevados para poder tener el otro límite de referencia, teniendo ya estos datos se decidió tomar un intervalo de entre 2% a 11% de agregado de óxido de zinc, ya que por debajo del límite inferior el concreto no mostraba mucha capacidad autolimpiante,



y por encima del límite superior se empezaba a perder una considerable resistencia, así como también que el tiempo de fraguado del concreto se extendía mucho más.

Una vez definidos los límites, se revisaron más trabajos anteriores para que se evite la redundancia con respecto a la elección de porcentajes y así poder asegurar que se está haciendo un aporte a estos estudios previos, siendo así 4%, 7% y 9.5% los porcentajes elegidos para realizar las muestras.

A continuación, se detalla el procedimiento seguido para cada una de las pruebas realizadas:

Previamente a la elaboración de los especímenes de estudio se elaboró una guía de documentación donde se recolectaron datos de diversos artículos científicos, trabajos de tesis y normas, que servirían como guía de las pruebas a realizar en los especímenes, así como poder darnos una mejor perspectiva de los avances que se han realizado, para así poder asegurar que se esté realizando un aporte con respecto al tema de investigación.

Se elaboraron encofrados de madera para las muestras de mortero, siendo estos diferentes para cada porcentaje de agregado para así poder asegurar que no haya ninguna posible combinación de los diferentes tipos de muestras, las cuales fueron 12 en total con los respectivos porcentajes de 0%, 4%, 7% y 9.5% de agregado de óxido de Zinc, una vez acabados los encofrados, se procedió con la elaboración de las muestras de mortero dejándolas secar 48 horas para su posterior desencofrado e inmediato curado, el cual fue



realizado durante 7 días. Una vez curado, el mortero se dejó secar durante 72 horas para así empezar con las pruebas de Rodamina B, fenolftaleína y exposición a gases contaminantes.

La prueba de Rodamina B se realizó adicionando 0.3 gr en 120 gr de agua para así rociarla sobre la superficie de las muestras, esto con el propósito de comprobar la capacidad fotocatalítica del óxido de Zinc según lo establecido por la norma UNI 11259-2008. La prueba con fenolftaleína se realizó para así corroborar si el agregado ayuda a que se reduzca la probabilidad de carbonatación en las estructuras de concreto, rociando 8 ml de fenolftaleína en cada muestra luego de dejarlas expuestas a la intemperie por 1 mes; este ensayo no posee normas que rijan el método ni alguna norma que pueda usarse como referencia directamente ligada a los ensayos en concreto, pero sí existen muchas pruebas realizadas que demuestran su eficacia. Y por último para la prueba de exposición a gases contaminantes, se expuso las muestras a la quema de diferentes materiales como plásticos, caucho, y gasolina, durante 20 minutos; para dicha prueba se tuvieron de referencia la norma UNE 127197-1:2013 que nos ayuda a evaluar el rendimiento en la purificación de aire en productos prefabricados de hormigón, siendo referida a la eliminación de los óxidos de nitrógeno, y también la norma AFNOR NF EN 16846-1 que nos ayuda con el análisis para determinar la eficacia de la eliminación compuestos orgánicos volátiles/olores en el aire.

Los resultados de estas muestras se documentaron en una guía de observación que se realizó a las 0hr, 4hr, 8hr, 24hr, 28hr, 32hr y 48hr, con exposición constante a la luz solar para así activar el proceso fotocatalítico, y en caso de la prueba con gases



contaminantes, al finalizar el proceso se roció agua para simular la lluvia y así ver los resultados de la limpieza debido al proceso de fotocátalisis.

Con respecto a las probetas de concreto se realizó la elaboración en el laboratorio de concreto de la “Universidad Privada del Norte - sede Breña”, dejando secar las probetas durante 48 horas y sometiéndolas al curado inmediatamente durante 28 días para alcancen así su resistencia máxima, luego de ser curadas se procedió a realizar la prueba de resistencia a la compresión a cada una de las probetas con los diferentes porcentajes de agregado siguiendo la norma ASTM C39 utilizando 3 especímenes para cada porcentaje y documentando los resultados en nuestra guía de observación.

Por último para el análisis de los resultados obtenidos se utilizaron gráficos de barras, dispersión y tablas comparativas, para así poder apreciar cómo es el rendimiento fotocatalítico del óxido de Zinc en las muestras de mortero, apreciando así cómo ayuda a contrarrestar el deterioro de las construcciones de concreto debido a los agentes contaminantes que se encuentran en el ambiente, a qué nivel lo hace y cómo ayudaría esto a disminuir la contaminación del aire en las ciudades, así como también la manera en que éste influye en la resistencia a la compresión del concreto, para así poder determinar si su uso resulta más conveniente como un mortero que se utilice en los recubrimientos de las estructuras, o como opción de reemplazo al concreto convencional en las edificaciones.

CAPÍTULO III: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Prueba de Rodamina B

Una vez aplicada la Rodamina B disuelta sobre la superficie de las muestras de mortero, en un área circular de 22 +/- 2 cm² como nos indica la norma, se procedió a registrar el parámetro “a” que es como una coordenada en el sistema CIE L*a*b* [11] que hace referencia al color de la muestra. Se registró el parámetro “a” a las 0h, 4h y 26h de exposición a la luz solar, tomando en cada muestra 5 puntos de referencia para sacar una media aritmética, lo que nos dio los parámetros finales que se presentan en la Tabla 1 y se usaran en las ecuaciones 1 y 2.

Ecuación 1 Valor R₄

$$R_4 = \frac{a(0h) - a(4h)}{a(0h)} * 100 \quad (1)$$

Ecuación 2 Valor R₂₆

$$R_{26} = \frac{a(0h) - a(26h)}{a(0h)} * 100 \quad (2)$$

Tabla 1 Valores del parámetro “a”

Muestras \ Tiempo	0h	4h	26h
M-0	41.6	34.2	21.7
M-4	52.4	28.2	12.6
M-7	61.6	36	13.8
M-9.5	57.2	32.8	17.6

Fuente: Elaboración propia

Estos valores son la coordenada “a” de cada muestra, la que hace referencia al color rojo al que se aproxima ya que son valores positivos, y para poder entenderlos mejor se puede apreciar las Figuras 3, 4, 5 y 6 en donde observamos esta variación del color en el tiempo.



Figura 3 Prueba de rodamina B - muestra 0 (M-0), 0h, 4h y 26hr. Fuente: Elaboración propia



Figura 4 Prueba de rodamina B - muestra 4 (M-4), 0h, 4h y 26hr. Fuente: Elaboración propia

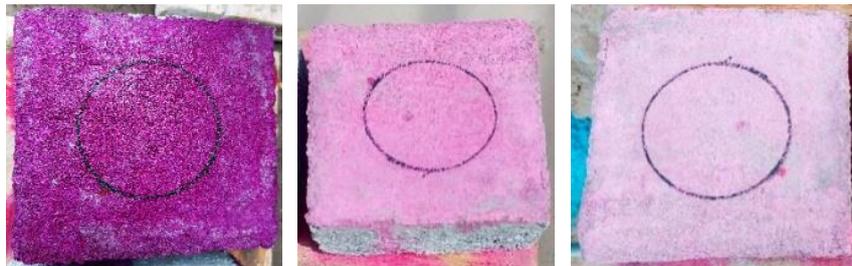


Figura 5 Prueba de rodamina B - muestra 7 (M-7), 0h, 4h y 26hr. Fuente: Elaboración propia

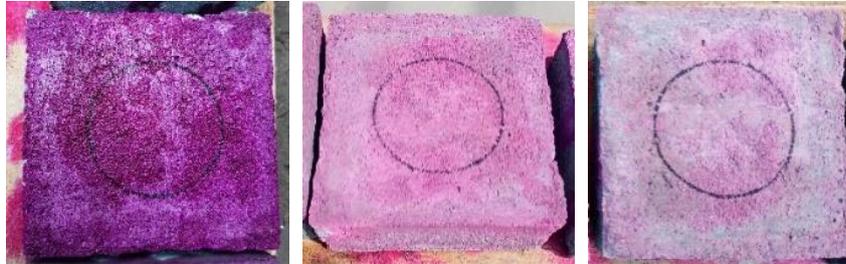


Figura 6 Prueba de rodamina B - muestra 9.5 (M-9.5), 0h, 4h y 26hr. Fuente: Elaboración propia

Ya teniendo los parámetros se procede a usar las fórmulas para hallar los valores R4 y R26 que nos indicaran la actividad fotocatalítica que existe en las muestras, teniendo que cumplirse que R4 debe ser mayor al 20% y R26 mayor al 50% para determinar así si las muestras son fotocatalíticas o si no lo son. En la tabla 2 podremos apreciar la comparación de los valores R4 y R6 de todas las muestras y así determinar qué porcentaje posee una actividad fotocatalítica más adecuada.

Tabla 2 Valores R4 y R26 de las muestras de mortero

Parámetros \ Muestras	M-0	M-4	M-7	M-9.5
R4	17.788%	46.183%	41.558%	42.657%
R26	47.837%	75.954%	77.597%	69.231%

Fuente: Elaboración propia

Observando estos resultados, podemos afirmar que el óxido de Zinc sí aporta propiedades fotocatalíticas al concreto, ya que cumple con las condiciones antes mencionadas a diferencia del concreto patrón que se encuentra por debajo de los valores dados.

Prueba de Fenolftaleína



Cuando ya se dejaron las muestras a exposición de la intemperie durante 1 mes, se procede a cortar la muestra por la mitad y se le rocía la fenolftaleína, al entrar en contacto con el mortero este se empezará a teñir de un color fucsia lo que indica que posee un PH alcalino mayor a 9, por otro lado, las partes que no se tiñan serán las que posean un PH más ácido por lo que significa que en esa zona de la muestra ha ocurrido carbonatación. Podemos observar en la figura 7 cuáles fueron las reacciones que hubo en cada muestra, y en la Tabla 3 cuál fue la profundidad que alcanzó la carbonatación en cada una de estas.



Tabla 3 Profundidad de la carbonatación en las muestras en mm

	M-0	M-4	M-7	M-9.5
Profundidad(mm)	1.4	2.2	4.6	5.8

Fuente: Elaboración propia

Podemos apreciar que mientras más agregado de óxido de zinc posee la muestra va aumentando su profundidad de carbonatación, siendo esta mucho más significativa cuando el agregado supera el 4% de la muestra, por lo que se podría hacer una comparación de la velocidad de la carbonatación entre estas 2 muestras para determinar si de verdad implica una diferencia de profundidad significativa, lo que con un estudio más profundo podría



determinarse con las ecuaciones existentes de manera más exacta o mediante pruebas de exposición más prolongadas.

✚ Prueba de exposición a gases contaminantes

Se colocaron las muestras lo más cercanas posibles al sitio donde se realizó la quema de combustibles, caucho y plásticos, después de haber transcurrido 20 minutos de la exposición se registró la evidencia y se procedió a colocar las muestras a la luz del sol para que empiece el proceso fotocatalítico que oxidará los contaminantes para volverlos inofensivos para el medio ambiente, registrando así, como reaccionaban las muestras a las 0h, 4h, 8h, 24hr, 28h, 32hr y 48hr de exposición a la luz solar, como se puede apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4 Avance de las muestras según tiempo de exposición a la luz solar

	M-0	M-4	M-7	M-9.5
0h				
4h				
8h				



Fuente: Elaboración propia



Como se puede apreciar, mientras mayor es el porcentaje de óxido de zinc en la muestra, esta logra tener una mayor propiedad de autolimpieza, apreciándose mejor estos resultados a partir de las 24 horas de exposición a la luz solar. Finalmente se procedió a rociar agua a las muestras para simular el efecto de la lluvia y así concluir el proceso fotocatalítico para poder apreciar los resultados finales de la autolimpieza como se muestra en la Figura 8 y en la Tabla 5.



Figura 8 Simulación de la lluvia sobre las muestras sometidas a la exposición de gases contaminantes.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Resultados finales de la capacidad de autolimpieza de las muestras

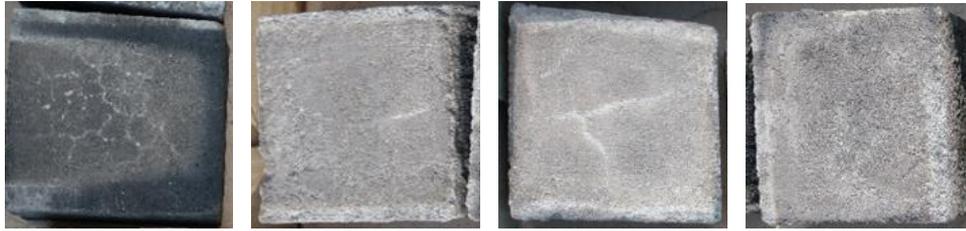
M-0

M-4

M-7

M-9.5

Capacidad de autolimpieza



Fuente: Elaboración propia

✚ Prueba de resistencia a la compresión

Se procedió a ensayar 3 especímenes de cada muestra de concreto a la edad de 28 días, para poder sacar así un promedio de la resistencia en kg/cm² cuyos valores se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6 Resultados de los ensayos a compresión de las muestras de concreto

Probeta \ Muestra	M-0	M-4	M-7	M-9.5
1	209.504	111.601	40.621	27.713
2	209.851	112.035	40.508	28.427
3	208.302	111.839	41.374	27.614
Resistencia promedio(kg/cm ²)	209.219	111.825	40.834	27.918

Fuente: Elaboración propia

Se observa que hay una disminución de la resistencia a la compresión conforme se va aumentando el porcentaje de óxido de zinc, por lo que no sería recomendable para elementos estructurales ya que estos requieren que se mantenga la resistencia del concreto que se requiere, pero para apreciar mejor cuánta es esta diferencia con respecto a la



resistencia a la compresión del concreto para el cual fueron diseñadas las muestras tenemos la Tabla 7.

Tabla 7 Porcentaje que representan los resultados de la resistencia esperada

Resistencia esperada (210 kg/cm ²)	M-0	M-4	M-7	M-9.5
100%	99.63%	53.25%	19.44%	13.29%

Fuente: Elaboración propia

Las muestras de 7% y 9.5% de agregado de óxido de zinc muestran más del 80% de pérdida de resistencia a la compresión, mientras que la muestra de 4% de agregado muestra una disminución del 46.75% de la resistencia esperada, por lo que a pesar de ser menor ya no sería apta para ser utilizada en los elementos estructurales debido a que debilitaría mucho la estructura.



CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

La investigación logró demostrar que efectivamente al agregar óxido de zinc a una mezcla de concreto, este logra actuar otorgando una propiedad de autolimpieza debido a la fotocatalisis que este produce, y mediante las pruebas realizadas se pudo determinar en qué aspectos y a qué nivel en general se lograría contrarrestar el deterioro de las construcciones de concreto según cada una de las propiedades que fueron evaluadas.

En la prueba de Rodamina B se confirmó que el óxido de zinc actúa como un material fotocatalítico en el concreto, siendo mayor su efectividad al aumentarse el porcentaje de óxido de zinc, pero al mismo tiempo sin haber una diferencia muy significativa entre los porcentajes evaluados de las muestras con óxido de zinc, siendo la diferencia entre sus porcentajes de efectividad menor al 5%.

En la prueba de Fenolftaleína se obtuvo que con los porcentajes de agregado de óxido de zinc mayores al 4% el concreto empezaba a presentar una mayor profundidad de carbonatación, acrecentándose considerablemente mientras mayor porcentaje tenía de agregado, pero tratándose de la comparación entre la muestra de concreto patrón y la muestra con el 4% de óxido de zinc, no existe una diferencia significativa por lo que con ese porcentaje sí sería posible que se reduzca la posibilidad de una mayor carbonatación y se reduzca también el deterioro de las edificaciones por el ataque químico de los ácidos, ya que estas dos patologías en conjunto lo que hacen en el concreto patrón es que, como la contaminación se queda impregnada en la superficie del concreto, esta hace que se vaya deteriorando y al mismo tiempo acelera el proceso de carbonatación debido a que estos contaminantes van siendo absorbidos por el concreto volviéndolo más ácido, mientras



que con el agregado de óxido de zinc, esta contaminación que normalmente se impregna a la superficie, sería descompuesta y se volverían partículas no contaminantes que con la humedad o la lluvia se desprenderían con mayor facilidad de la superficie, evitando así que se siga deteriorando el concreto capa por capa. Para confirmar este comportamiento en el concreto se sugiere realizar un estudio más profundo acerca de esta propiedad enfocada al problema de la carbonatación.

En la prueba de gases contaminantes se observó que el óxido de zinc logra descomponer los contaminantes impregnados y así facilitar su limpieza de la superficie del concreto, siendo está efectiva con todos los porcentajes de óxido de zinc en la mezcla, siendo más notoria mientras mayor es el porcentaje del agregado.

En la prueba de resistencia a la compresión se concluyó que al existir una disminución de la resistencia a la compresión normal del concreto mientras se va agregando mayor porcentaje de óxido de zinc llegando al 46.75% de disminución en la muestra de 4% de agregado, no sería recomendable que sea usado en grandes porcentajes para la construcción de elementos estructurales, ya que esto podría debilitar la estructura, lo que siempre se trata de evitar al momento de construir una edificación, en ese sentido, resultaría mejor ser utilizado como un mortero

Por último, podemos decir que el concreto con agregado de óxido de zinc es un efectivo concreto fotocatalítico que da la propiedad de autolimpieza al concreto convencional y que así este puede ayudar a contrarrestar en diferentes maneras el deterioro de las construcciones de concreto.

REFERENCIAS

- [1] Soler y Palau, «Qué son las partículas PM 2.5,» 13 julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/particulas-pm25/>.
- [2] J. P. Porto y A. Gardey, «Dióxido de carbono,» 2017. [En línea]. Available: <https://definicion.de/dioxido-de-carbono/>.
- [3] E. A. Vicente y F. Coelho, «Ciclo del carbono,» 9 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/ciclo-del-carbono/>.
- [4] Soler y Palau, «El dióxido de carbono,» 19 mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/dioxido-de-carbono/>.
- [5] R. Montani, «La carbonatación, enemigo olvidado del concreto,» Construcción y Tecnología, 2000.
- [6] L. Barrera Gonzáles, «Qué es la lluvia ácida y cómo se produce,» 28 julio 2016. [En línea]. Available: <http://ecologianomada.com/lluvia-acida/>.
- [7] C. Broto, Patologías de la Construcción, Enciclopedia Broto, 2005.
- [8] h. Tian, P. Canadell, E. Davidson, g. peters, M. Prather, P. Krummel, r. jackson, r. thompson y W. Winiwarter, «las emisiones de óxido nitroso 300 veces más poderosas que el CO₂ están poniendo en peligro el futuro de la Tierra,» 7 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://theconversation.com/new-research-nitrous-oxide-emissions-300-times-more-powerful-than-co-are-jeopardising-earths-future-147208>.
- [9] EOM, «Principales emisores de CO₂,» 2 noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/los-paises-que-mas-co2-generan-del-mundo/>.
- [10] Ministerio del Ambiente, «ESDA,» 2015. [En línea]. Available: https://www.minam.gob.pe/esda/wp-content/uploads/2016/09/estudio_de-desempeno_ambiental_esda_2016.pdf.
- [11] «Konica Minolta,» 2006. [En línea]. Available: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>.
- [12] A. P. Vignolo, «Principales contaminantes del aire,» 21 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/ambiente/calidad-del-aire/principales-contaminantes-del-aire>.
- [13] «Degradación del concreto,» [En línea]. Available: <https://slidetodoc.com/degradacion-del-hormigon-hormign-sistema-heterogneo-constituido-por/>.
- [14] «JGF Ingeniería y construcción S.A.,» 15 diciembre 2019. [En línea]. Available: https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fbalkeningenieriacivil.blogspot.com%2F%3Ffbclid%3DIwAR0QsPcKBSQnw3gRUy5LX0zhMmDns1CbQIynVp-rweHyUb8VBbBvu_AI20&h=AT2HLczSVkrlj-PtGbBW3B9P-HqiYCW9FUawmk9JgVWdL5wSrcJ-dosBZ27m7V63Nh_hnc7CN3tWkODH0laB1iJtxKjs5Pg51.
- [15] MeteoSim, «Ciudades más contaminadas del mundo,» 27 noviembre 2019. [En línea].



- Available: <https://meteosim.com/cuales-las-ciudades-mas-contaminadas-del-mundo/>.
- [16] GreenPeace, «Emisiones del SO₂,» 2019. [En línea]. Available: <https://prensaanimal.com/mexico-quinto-emisor-mundial-de-dioxido-de-azufre/>.
- [17] L. F. Molina-Prieto, «Nanotecnología: herramienta inteligente para la conservación del patrimonio arquitectónico y urbano,» Fundación Universidad de América, p. 16, 2016.
- [18] P. C. Angelomé y J. C. Angelomé, Nanotecnología en la industria de la construcción, Buenos aires: Cámara Argentina de la Construcción, 2019.
- [19] L. Haurie Ibarra, «Aplicaciones de la nanotecnología en los materiales de la construcción,» Projecte Final de Màster Oficial, p. 103, 2018.
- [20] Z. Qu, S. Guo, Y. Zheng, E. C. Giakoumatos, Q. Yu, y I. K. Voets, «A simple method to create hydrophobic mortar using bacteria grown in liquid cultures», *Constr. Build. Mater.*, vol. 297, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123744.