

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“ADICIÓN DE LOS FOTOCALIZADORES DIÓXIDO  
DE TITANIO Y ÓXIDO DE ZINC EN LAS  
PROPIEDADES DEL CONCRETO PARA  
ADOQUINES TIPO II, LIMA - 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Clemente Eduardo Concepcion Espinoza

**Asesor:**

Dr. Omart Demetri Tello Malpartida

<https://orcid.org/0000-0002-5043-6510>

Lima - Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>José Alexander Ordoñez Guevara</b>	<b>40501603</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

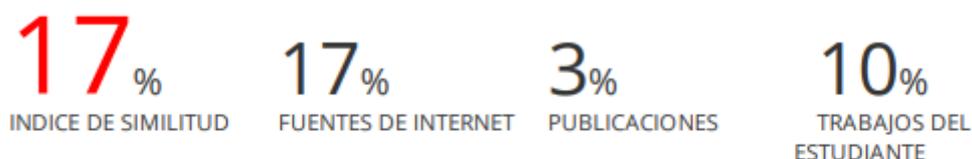
Jurado 2	<b>Jorge Canta Honores</b>	<b>10743048</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Alejandro Vildoso Flores</b>	<b>10712728</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis similitud 3 - Concepcion Espinoza

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>5%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.unsa.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>www.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de estos años, que me ha permitido mejorar constantemente y alcanzar mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi padre, por haberme guiado y conducido hacia esta carrera. Por su apoyo y esfuerzo constante para que pueda centrarme en mis estudios.

A mi madre, por sus haberme compartido sus consejos y experiencias que permitieron mejorar como estudiante y como persona.

A mi familia, por haberme apoyado y motivado durante los momentos más difíciles

## Tabla de contenido

<b>JURADO EVALUADOR.....</b>	<b>2</b>
<b>INFORME DE SIMILITUD.....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>ÍNDICE DE IMÁGENES .....</b>	<b>13</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>14</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	17
1.2. ANTECEDENTES: .....	20
1.3. MARCO TEÓRICO .....	28
1.3.1. Adoquines de concreto.....	28
1.3.2. El concreto.....	30
1.3.3. Contaminación ambiental.....	33
1.3.4. Descontaminación.....	35
1.3.5. Fotocatálisis .....	35
1.1.1. Fotocatálisis en la construcción.....	36
1.3.6. Fotocatalizador .....	38
1.3.7. Resistencia a la compresión de adoquines de concreto .....	41
1.3.8. Absorción de adoquines .....	42
1.3.9. Resistencia a la flexotracción .....	43
1.3.10. Actividad fotocatalítica de adoquines de concreto .....	43
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	45
1.4.1. Problema general .....	45
1.4.2. Problemas específicos .....	45

1.5.	OBJETIVOS.....	45
1.5.1.	<i>Objetivo General</i> .....	45
1.5.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	45
1.6.	HIPÓTESIS .....	46
1.6.1.	<i>Hipótesis general</i> .....	46
1.6.2.	<i>Hipótesis específicas</i> .....	46
1.7.	JUSTIFICACIÓN.....	47
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....</b>		<b>48</b>
2.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	48
2.1.1.	<i>Por enfoque</i> .....	48
2.1.2.	<i>Por propósito</i> .....	48
2.1.3.	<i>Nivel de investigación</i> .....	49
2.1.4.	<i>Diseño de la investigación</i> .....	49
2.1.5.	<i>Población</i> .....	50
2.1.6.	<i>Muestra</i> .....	50
2.2.	MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS .....	52
2.2.1.	<i>Técnicas de recolección</i> .....	52
2.2.2.	<i>Instrumentos de recolección de datos</i> .....	52
2.2.3.	<i>Validez y confiabilidad del instrumento</i> .....	53
2.2.4.	<i>Técnicas de análisis de datos</i> .....	54
2.2.5.	<i>Aspectos éticos de la investigación</i> .....	56
2.3.	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	57
2.3.1.	<i>Etapa 1: Recolección de materiales</i> .....	57
2.3.2.	<i>Etapa 2: Caracterización de los agregados</i> .....	62
2.3.3.	<i>Etapa 3: Diseño de mezcla</i> .....	75
2.3.4.	<i>Etapa 4: Curado de los especímenes</i> .....	84
2.3.5.	<i>Etapa 5: Ensayos para determinar los indicadores</i> .....	84
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>		<b>104</b>
3.1.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS .....	104
3.1.1.	<i>Indicador N°1: Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 399.604)</i> .....	104
3.1.2.	<i>Indicador N°2: Ensayo de absorción (NTP 399.604)</i> .....	106
3.1.3.	<i>Indicador N°3: Ensayo de resistencia a la flexotracción (NTC 2017)</i> .....	107
3.1.4.	<i>Indicador N°4: Ensayo de actividad fotocatalítica (UNI 11259)</i> .....	108
3.2.	ANÁLISIS DE DATOS .....	109

3.2.1.	<i>Resistencia a la compresión</i> .....	109
3.2.2.	<i>Absorción</i> .....	115
3.2.3.	<i>Resistencia a la Flexotracción</i> .....	117
3.2.4.	<i>Actividad fotocatalítica</i> .....	119
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....		<b>122</b>
4.1.	DISCUSIONES .....	122
4.1.1.	<i>Objetivo específico N°1</i> .....	122
4.1.2.	<i>Objetivo específico N°2</i> .....	122
4.1.3.	<i>Objetivo específico N°3</i> .....	123
4.1.4.	<i>Objetivo específico N°4</i> .....	124
4.2.	CONCLUSIONES .....	124
<b>REFERENCIAS</b> .....		<b>128</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>131</b>

## Índice de tablas

<b>TABLA 2:</b> .....	37
<b>TABLA 3</b> .....	42
<b>TABLA 4</b> .....	42
<b>TABLA 5</b> .....	43
<b>TABLA 6</b> .....	44
<b>TABLA 7</b> .....	51
<b>TABLA 8</b> .....	51
<b>TABLA 9</b> .....	58
<b>TABLA 10</b> .....	60
<b>TABLA 11</b> .....	61
<b>TABLA 12</b> .....	62
<b>TABLA 13:</b> .....	63
<b>TABLA 14:</b> .....	63
<b>TABLA 15:</b> .....	64
<b>TABLA 16:</b> .....	65
<b>TABLA 17:</b> .....	67
<b>TABLA 18:</b> .....	69
<b>TABLA 19:</b> .....	70
<b>TABLA 20:</b> .....	70
<b>TABLA 21:</b> .....	71
<b>TABLA 22:</b> .....	72
<b>TABLA 23:</b> .....	72
<b>TABLA 24:</b> .....	73
<b>TABLA 25:</b> .....	75
<b>TABLA 26:</b> .....	76
<b>TABLA 27</b> .....	77
<b>TABLA 28</b> .....	78
<b>TABLA 29:</b> .....	79
<b>TABLA 30:</b> .....	80
<b>TABLA 31:</b> .....	81

<b>TABLA 32</b> .....	82
<b>TABLA 33:</b> .....	83
<b>TABLA 34</b> .....	83
<b>TABLA 35</b> .....	86
<b>TABLA 36</b> .....	87
<b>TABLA 37</b> .....	88
<b>TABLA 38</b> .....	91
<b>TABLA 39</b> .....	91
<b>TABLA 40</b> .....	91
<b>TABLA 41</b> .....	92
<b>TABLA 42</b> .....	92
<b>TABLA 43</b> .....	94
<b>TABLA 44</b> .....	94
<b>TABLA 45</b> .....	95
<b>TABLA 46</b> .....	95
<b>TABLA 47</b> .....	95
<b>TABLA 48</b> .....	100
<b>TABLA 49</b> .....	101
<b>TABLA 50</b> .....	101
<b>TABLA 51</b> .....	101
<b>TABLA 52</b> .....	102
<b>TABLA 53</b> .....	102
<b>TABLA 54</b> .....	102
<b>TABLA 55</b> .....	103
<b>TABLA 56</b> .....	103
<b>TABLA 57</b> .....	103
<b>TABLA 58</b> .....	104
<b>TABLA 59:</b> .....	106
<b>TABLA 60</b> .....	107
<b>TABLA 61</b> .....	108
<b>TABLA 62</b> .....	110
<b>TABLA 63</b> .....	111
<b>TABLA 64</b> .....	112
<b>TABLA 65</b> .....	112
<b>TABLA 66</b> .....	113

<b>TABLA 67</b> .....	114
<b>TABLA 68</b> .....	115
<b>TABLA 69</b> .....	115
<b>TABLA 70</b> .....	116
<b>TABLA 71</b> .....	116
<b>TABLA 72</b> .....	117
<b>TABLA 73</b> .....	117
<b>TABLA 74</b> .....	118
<b>TABLA 75</b> .....	118
<b>TABLA 76</b> .....	119
<b>TABLA 77</b> .....	119
<b>TABLA 78</b> .....	120
<b>TABLA 79</b> .....	120
<b>TABLA 80</b> .....	121

## Índice de figuras

<b>FIGURA 1:</b> .....	73
<b>FIGURA 2:</b> .....	74
<b>FIGURA 3</b> .....	87
<b>FIGURA 4</b> .....	88
<b>FIGURA 5</b> .....	89
<b>FIGURA 6</b> .....	92
<b>FIGURA 7</b> .....	104
<b>FIGURA 8</b> .....	106
<b>FIGURA 9</b> .....	107
<b>FIGURA 10</b> .....	109

## Índice de imágenes

<b>IMAGEN 1: ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE CONTAMINACIÓN.</b> .....	33
<b>IMAGEN 2: INCIDENCIA DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.</b> .....	34
<b>IMAGEN 3: PRINCIPALES FUNCIONES DESARROLLADAS POR MATERIALES FOTOCATALÍTICOS</b> .....	37
<b>IMAGEN 4: FENÓMENOS INDUCIDOS POR LA ACCIÓN DE LUZ SOLAR EN MATERIALES FOTOCATALÍTICOS</b> .....	38
<b>IMAGEN 5: DIFERENTES MODIFICACIONES CRISTALINAS DEL DIÓXIDO DE TITANIO</b> .....	39
<b>IMAGEN 6 ESTRUCTURA CRISTALINA DEL ÓXIDO DE ZINC</b> .....	41
<b>IMAGEN 7: CEMENTO SOL TIPO I</b> .....	57
<b>IMAGEN 8: AGREGADO GRUESO UTILIZADO</b> .....	58
<b>IMAGEN 9: AGREGADO FINO UTILIZADO</b> .....	59
<b>IMAGEN 10: ÓXIDO DE ZINC (IZQ.) Y DIÓXIDO DE TITANIO (DER.)</b> .....	60
<b>IMAGEN 11: RODAMINA B</b> .....	61
<b>IMAGEN 12: CURADO DE ADOQUINES (IZQ.) Y CUBOS DE CONCRETO (DER)</b> .....	84
<b>IMAGEN 13 ADOQUÍN LUEGO DE ALCANZAR SU RESISTENCIA MÁXIMA</b> .....	85
<b>IMAGEN 14 SECADO EN EL HORNO DE LOS ADOQUINES</b> .....	90
<b>IMAGEN 15 ENSAYO DE FLEXOTRACCIÓN</b> .....	93
<b>IMAGEN 16: MUESTRAS ENSAYADAS</b> .....	96
<b>IMAGEN 17: SOLUCIÓN DE RODAMINA B CON AGUA DESTILADA</b> .....	97
<b>IMAGEN 18: MUESTRAS MARCADAS</b> .....	97
<b>IMAGEN 19 CÁMARA DE VIDRIO</b> .....	98
<b>IMAGEN 20 FLUORESCENTE UV-A PHILIPS ACTINIC 15W T8</b> .....	98
<b>IMAGEN 21 COLORÍMETRO PCE XXM-20</b> .....	99

## Índice de anexos

ANEXO N° 1 FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	131
ANEXO N° 2 FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE ABSORCIÓN .....	132
ANEXO N° 3 FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN.....	133
ANEXO N° 4 FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA .....	134
ANEXO N° 5 FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS 1 .....	135
ANEXO N° 6 FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS 2 .....	136
ANEXO N° 7 FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS 3 .....	137
ANEXO N° 8 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE PRENSA HIDRÁULICA UTEST UTC-4722.FPR .....	138
ANEXO N° 9 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE HORNO PERUTEST PT-H76 .....	139
ANEXO N° 10 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE BALANZA ELECTRÓNICA OHAUS EX24001 .....	140
ANEXO N° 11 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE COLORÍMETRO ESPECTROFOTÓMETRO PCE XXM-20 ..	141
ANEXO N° 12 FICHA TÉCNICA DE CEMENTO SOL TIPO I .....	142
ANEXO N° 13 FICHA TÉCNICA DE RODAMINA B .....	143
ANEXO N° 14 FICHA TÉCNICA DEL ÓXIDO DE ZINC .....	144
ANEXO N° 15 FICHA TÉCNICA DEL DIÓXIDO DE TITANIO .....	145
ANEXO N° 16 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO .....	146
ANEXO N° 17 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO .....	147
ANEXO N° 18 PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO .....	148
ANEXO N° 19 PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO .....	149
ANEXO N° 20 GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO .....	150
ANEXO N° 21 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO .....	151
ANEXO N° 22 PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO .....	152
ANEXO N° 23 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MUESTRA MP .....	153
ANEXO N° 24 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MUESTRA MT1 .....	154
ANEXO N° 25 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MUESTRA MT2 .....	155
ANEXO N° 26 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MUESTRA MZ1 .....	156
ANEXO N° 27 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MUESTRA MZ2 .....	157
ANEXO N° 28 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN PARA LA MUESTRA MP .....	158
ANEXO N° 29 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN PARA LA MUESTRA MT1 .....	159
ANEXO N° 30 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN PARA LA MUESTRA MT2 .....	160
ANEXO N° 31 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN PARA LA MUESTRA MZ1 .....	161
ANEXO N° 32 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN PARA LA MUESTRA MZ2 .....	162
ANEXO N° 33 ENSAYO DE ABSORCIÓN PARA LA MUESTRA MP .....	163
ANEXO N° 34 ENSAYO DE ABSORCIÓN PARA LA MUESTRA MT1 .....	164
ANEXO N° 35 ENSAYO DE ABSORCIÓN PARA LA MUESTRA MT2 .....	165
ANEXO N° 36 ENSAYO DE ABSORCIÓN PARA LA MUESTRA MZ1 .....	166

<b>ANEXO N° 37 ENSAYO DE ABSORCIÓN PARA LA MUESTRA MZ2</b> .....	167
<b>ANEXO N° 38 MATRIZ DE CONSISTENCIA</b> .....	168

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar en qué medida la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en las propiedades del concreto para la elaboración de adoquines tipo II. El tipo de investigación fue, por su enfoque, cuantitativo, presentando un nivel explicativo y un diseño cuasiexperimental. Teniendo además un propósito aplicado. La población de estudio abarcó adoquines tipo II de concreto para mezclas con diferentes proporciones de adiciones de  $TiO_2$  y  $ZnO$  (0%, 1.5% y 2.5%). Se escogió una muestra en base a lo indicado en las normas para cada indicador a evaluar. Los resultados para la resistencia a la compresión se determinaron que la muestra MT2 fue el que obtuvo el mejor desempeño, reduciéndose en 4%. Para la absorción, se determinó que la muestra MT1 fue el que obtuvo el mejor desempeño, reduciéndose en 64%. Para resistencia a la flexotracción, se determinó que la muestra MT2 fue el que obtuvo la menor reducción, siendo de 6%. Para la actividad fotocatalítica se determinó que la muestra MT2 fue el que obtuvo el mejor resultado, con un aumento del 71.04%. Finalmente se concluye que de las adiciones estudiadas, el  $TiO_2$  es la que influye positivamente en las propiedades del concreto, mejorando significativamente las propiedades de absorción y actividad fotocatalítica y además, presenta una ligera disminución en las propiedades de resistencia. En todos los casos las muestras con adición de  $TiO_2$  superan los valores mínimos establecidos en las normas para el uso de adoquines tipo II.

**PALABRAS CLAVES:** fotocatalizadores,  $TiO_2$ ,  $ZnO$ , propiedades del concreto, adoquines tipo II

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Como señala la Organización Mundial de la Salud (2005), una condición básica para el bienestar y la salud es el aire limpio. No obstante, la contaminación ambiental, que viene aumentando año tras año, supone una seria amenaza para la salud en el mundo. Las poblaciones de las grandes ciudades industrializadas, con problemas de superpoblación y con una enorme presencia de automóviles, se ven expuestas constantemente a una severa cantidad de contaminantes ambientales por medio de la vía aérea (Rodríguez-Fernández, Prat-Aymerich y Domínguez,2018).

La contaminación del aire se produce cuando cantidades nocivas y excesivas de sustancias son introducidas en la atmósfera terrestre. Esta contaminación es generada básicamente por la combustión de residuos y productos como el gas natural, carbón y petróleo. Gran parte de estas, son generadas por las actividades humanas, aun cuando se hayan mejorado notoriamente la calidad de algunas emisiones. (Seoánez, 2006). Son varios contaminantes que se presentan en el ambiente e incluyen desde monóxido de carbono hasta hidrocarburos y materiales particulados. (MINAM,2016). Las fuentes de donde provienen estos contaminantes se pueden agrupar en dos grandes grupos: las ciudades, con fuentes como el tráfico, calefacción, refrigeración y edificios, y la industria, donde las emisiones provienen principalmente de la producción de energía y la fabricación de productos (Seoánez, 2006). Según el Ministerio del Ambiente (2016), la mayor fuente contaminante en el Perú es el parque automotor, habiéndose evidenciado que el aumento del número de vehículos es directamente proporcional a un incremento en los niveles de contaminación ambiental. Siendo el caso de la

metrópoli de Lima-Callao la más resaltante, ocasionado por su defectuoso sistema de transporte, la antigüedad de los vehículos, el exceso de oferta de taxis y buses y rutas de transporte superpuestas. Esto se pudo observar durante la pandemia de COVID-19. Debido al confinamiento, muchas calles se vieron totalmente vacías, casi sin ningún vehículo transitando por las autopistas. Esta disminución drástica de vehículos permitió que, después de varios años, se alcancen los niveles que recomienda la OMS para que el aire se considere saludable. Durante el mes de marzo del 2020, se alcanzaron valores de PM<sub>2,5</sub> de entre 4 µg/m<sup>3</sup> y 6 µg/m<sup>3</sup>, debajo del rango máximo establecido de 10 µg/m<sup>3</sup> (MINAM, 2020). Además, la cantidad de NO<sub>2</sub>, CO y PM<sub>2.5</sub> en el año 2020 comparados con los niveles del 2019 fueron menores en un 61% en la ciudad de Lima (Habibi, Awal, Fares y Ghahremannejad, 2020).

Los elevados niveles de contaminación afectan negativamente el ambiente. Los sulfatos forman aerosoles que absorben la radiación solar y calientan la superficie terrestre. Los óxidos NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> se convierten en ácidos y se precipitan en forma de lluvia ácida o como deposición seca, provocando la acidificación de lagos y ríos, afectando notoriamente la fauna acuática. Además, afectan bosques y cultivos, pudiendo afectar el ecosistema terrestre debido a los cambios que produce en el suelo. (Inche, 2004). Otro efecto dañino es la corrosión que provoca en los metales y materiales de construcción, deteriora las fachadas y obras de arte a la intemperie, debido a la deposición seca o a la lluvia ácida. Estos daños, tanto estéticos como físicos, son muy notorios en edificios y monumentos cercanas a vías con alto tráfico vehicular, que requieren de un coste para poder dar mantenimiento y limpieza a estas estructuras y obras de arte (Ministerio del ambiente, 2016). Con respecto al tema de salud, los contaminantes ambientales no solo aumentan el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorios, sino también a desarrollar cáncer pulmonar. Además, provoca en las personas una mayor

susceptibilidad a sufrir crisis asmáticas y ciertas infecciones. También pueden producir irritación de mucosas y vías respiratorias, llegando a causar la alteración de la función pulmonar (Seoáñez, 2006). Estos efectos han sido estudiados y comprobados por diferentes estudios, demostrando que el elevado nivel de contaminación y el desarrollo de enfermedades respiratorias o cardiovasculares se encuentran relacionadas. En un estudio, Chanel et al (2016), demostraron que entre el 15% y el 30% de los casos asmáticos nuevos en niños, se deberían, muy probablemente, al hecho de que viven junto a autopistas con tráfico alto de vehículos. En otro, se muestran evidencias que podrían explicar que el asma durante las etapas de infancia y la adolescencia podría haberse desarrollado por la exposición constante a la contaminación ambiental desde la niñez (Ghering et al, 2015).

Con respecto al riesgo de desarrollar cáncer pulmonar, investigaciones que se realizaron tanto in vitro como in vivo mostraron que, células pulmonares al haberse expuesto a material particulado PM2.5 segregan ciertas moléculas como las exosomas, que se ven involucradas en la propagación de células tumorales (Xu et al, 2019). De hecho, la contaminación ambiental es un agente cancerígeno para las personas, así lo estableció la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) en el año 2013 (Clofent et al, 2020). Esto representa una amenaza grave a la salud global, ya que, en el año 2019, la contaminación del ambiente representó el cuarto factor de riesgo más recurrente de muerte temprana, con unos 6.67 millones de muertes (Health Effects Institute, 2020). Estos altos niveles son tan peligrosos que, de acuerdo a datos de la OMS (2018), el 90% de las personas respiran aire altamente contaminado. Además, considera cerca de 7 millones de personas fallecen anualmente por exponerse a partículas finas. De esta cifra, 3.7 millones se atribuyen a la contaminación exterior y 4.3 millones a la contaminación interior, dentro de estos números, hubo alrededor de 600 000

muerres infantiles. Todo esto supone una carga para la economía mundial que se estima en 2.9 billones de dólares al año (IQAir, 2020).

En el último Informe Mundial de Calidad del Aire 2022, Perú ocupó el primer lugar en la región como país con mayor concentración de PM 2.5, promediando 25.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En cuanto a Lima, esta cuenta con los distritos más contaminados de la región, San Juan de Lurigancho y Ate Vitarte cuentan con concentraciones de material particulado (PM2.5) de 41.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . (IQAir, 2022). Alrededor de 2300 muertes prematuras al año son atribuidas a estos contaminantes, junto con 3000 muertes anuales asociadas a la contaminación interior (Gonzales et al, 2014).

Por los argumentos anteriormente descritos, es necesario evaluar como influye la incorporación de los fotocatalizadores óxido de zinc y dióxido de titanio en los adoquines de concreto tipo II.

## 1.2. Antecedentes:

Una investigación reciente llevada a cabo por Pathak y Vesmawala (2022), tuvo como objetivo determinar cómo influye el nano-TiO<sub>2</sub> en propiedades del concreto con TiO<sub>2</sub>, para ello se estudió propiedades como la resistencia a la compresión y a flexotracción; además, se observó la microestructura de los especímenes con un microscopio SEM. Los diferentes especímenes fueron ensayados de la siguiente manera: la resistencia a la compresión se realizó a los 28 días y también a 3, 7 y 14 días. Para el ensayo de resistencia a la flexotracción se ensayaron a los 3, 7, 28 y 90 días Para este estudio se realizaron muestras con adiciones de nano-TiO<sub>2</sub> en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4% y 5% para compararlos con la mezcla patrón.

Refiriéndose a la resistencia a compresión, se notó que a edades tempranas (3 días) aumentaron ligeramente para las muestras con la incorporación de 4% de nano-TiO<sub>2</sub> (de 18.45 MPa a 19 MPa), para luego caer con la adición de 5% (17 MPa). A los 7 días las resistencias de todas las muestras apenas se diferencian, disminuyendo apenas con respecto a la muestra de control. A los 14 días se notaron los cambios, los valores aumentaron en 3%, 6%, 7%, 11% y 10% respectivamente, con respecto a la mezcla de control (38.25 MPa). Por otro lado, a los 28 días las mezclas con adiciones también obtuvieron valores mayores respecto a la mezcla sin adicionar, excepto con la adición de 5% nano-TiO<sub>2</sub>, que se redujo en 1%.

Staub de Melo y Triches (2018) realizaron un estudio, el cual trazó por objetivo estudiar como influye el nano-TiO<sub>2</sub>, en 3 de sus fases (anatasa I, anatasa II y rutilo) en las propiedades mecánicas y las características de su microestructura. Se realizaron mezclas con 3%, 6% y 10% de adición de nano-TiO<sub>2</sub> para cada fase distinta. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: las muestras fueron ensayadas a los 3, 7 y 28 días. Los especímenes con adiciones de nano-TiO<sub>2</sub> anatasa I obtuvieron valores menores a la muestra de referencia (0% nano-TiO<sub>2</sub>) a los 3 días, siendo hasta 10% menor. A los 7 días, las muestras adicionadas logran superar a la muestra de referencia, la adición con mayor resistencia fue la adición de 3%, posteriormente comienza a decaer con las adiciones de 6% y 10%, siendo esta última casi del mismo valor que la referencia. A los 28 días solo la adición con 3% de nano-TiO<sub>2</sub> está por encima de la resistencia de referencia. Con respecto a la fase anatasa II, a los 3 días todas las muestras adicionadas superan el valor de referencia, siendo la adición con 6% la que obtienen mayor resistencia. A los 7 días, igualmente las adiciones incrementan la resistencia de las muestras, siendo la incorporación de 10% la que obtiene mejores resultados. Al llegar a los 28 días, las resistencias aumentan considerablemente, la adición de 10% logra aumentar la resistencia en

16%. Por otra parte, las probetas con rutilo no logran obtener mejores resistencias en edades tempranas (3 días), siendo la más baja la incorporación de 3%. Al llegar a los 7 días, los especímenes con 6% y 10% logran superar a la referencia. A los 28 días todas las adiciones obtienen mayores valores que la mezcla de referencia. Estas aumentaron conforme aumentaba el porcentaje de las adiciones, las adiciones con 6% y 10% obtuvieron valores mucho mayores a la incorporación de 3%.

Goyal, Verma y Singh (2022) llevaron a cabo un estudio que tuvo la finalidad de observar el efecto de incorporar varios porcentajes de  $\text{TiO}_2$  (1%, 1.5% y 2%) y  $\text{ZnO}$  (1%, 1.5% y 2%) en el comportamiento de la hidratación del cemento, evaluación del desempeño del cemento, cinética de la hidratación a altas temperaturas y el desarrollo de la microestructura en el mortero de cemento. Para el estudio se evaluó el tiempo de fraguado, la calorimetría, difracción de rayos X, resistencia a la compresión, método térmico y microscopía electrónica de barrido. Se determinaron los tiempos iniciales y finales de fraguado de las muestras utilizando la aguja Vicat, las muestras ensayadas fueron: muestra patrón (OPC) y las adicionadas con 2% de  $\text{TiO}_2$  (OPC-NT-2.0) y 2% de  $\text{ZnO}$  (OPC-NZ-2.0). Los resultados indicaron que añadiendo  $\text{TiO}_2$  a la mezcla se retarda el fraguado, acelerando la hidratación del cemento. Al contrario, la presencia del óxido de zinc aumentó significativamente el tiempo de fraguado de la muestra. La muestra OPC obtuvo tiempos iniciales y finales de fraguado de 165 y 240 minutos respectivamente. La muestra con 2% de  $\text{TiO}_2$  obtuvo tiempos de 110 y 165 minutos, reduciendo el tiempo de fraguado en 33.33% y 31.25%. Mientras que, la muestras con 2% de  $\text{ZnO}$  aumentaron los tiempos drásticamente en 200% y 433.33%, teniendo tiempos de 495 y 1280 minutos. Para compresión se ensayaron probetas cúbicas de mortero a 1, 3, 7 y 28 días en muestras de control sin adición (OPC) y muestras adicionadas con 2%  $\text{TiO}_2$  (OPC-NT-2.0)

y 2% ZnO (OPC-NZ-2.0). Los especímenes ensayados al día siguiente mostraron que las muestras OPC y OPC-NT-2.0 obtuvieron valores similares de 16 y 16.5 MPa, la mezcla con ZnO no fue ensayada debido al elevado tiempo de fraguado de más de 21 horas, por lo que su resistencia fue casi nula. Al tercer y séptimo día las muestras con ZnO comenzaron a desarrollar resistencia aunque con valores bajos de 2 y 7.5 MPa, mientras que las muestras OPC y OPC-NT-2.0 obtuvieron 27 y 28 MPa a los 3 días y, a los 7 días, 40 y 47.5 MPa. A los 28 días se observó que las muestras con 2% de ZnO logran aumentar significativamente su resistencia llegando a los 50 MPa. Por otro lado, los especímenes OPC obtuvieron 58 MPa y los especímenes con TiO<sub>2</sub> obtuvieron 65.5 MPa, 12.93% mayor.

Anandaraj et al (2021) establecieron en su estudio como objeto determinar el efecto las adiciones adición, harina blanca, óxido de zinc y cenizas de zinc, los cuales contienen entre 80% a 90% de ZnO, en las propiedades del concreto y el mortero. Esto con la finalidad de obtener una adición que sea tanto eco amigable como de fácil disponibilidad. La investigación se centró en estimar como resisten muestras a compresión en edades tempranas, al añadirle ZnO. Tras 7 días, los cubos de concreto con adición de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% obtuvieron valores de 28.5, 30.86, 33.07 y 26.6 MPa respectivamente, mientras que la muestra de control obtuvo 27.1 MPa. Por otra parte, los cubos de morteros al ensayarse a los 7 días, obtuvieron valores de 34.5 MPa para la mezcla sin adición y las mezclas con adiciones de 1%, 2%, 2.5%, 3% y 4% obtuvieron resistencias de 40.1, 47.25, 41.4, 37.6 y 30.8 MPa respectivamente.

X. Li, J. Li, Lu y Chen (2020) en su estudio plantearon el siguiente objetivo: analizar la estructura y propiedades de la pasta de cemento en ambos estados: fresco y endurecido al adicionarle nano-ZnO en porcentajes de 0.1% y 0.2% en reemplazo de cemento. Para ello

evaluaron la constitución química de las muestras a través de un análisis XRF, así como la composición mineral por medio de un análisis XRD. Se determinó el tiempo de fragua usando aguja de Vicat y elaborándose cubos para someterlos a compresión. Los resultados arrojaron los siguientes datos: los tiempos de fraguado de los especímenes de pastas de cemento adicionadas con óxido de zinc sufrieron un incremento varias veces mayor que los tiempos de las muestras de control, 194 y 259 minutos para el tiempo inicial y final respectivamente. La muestra con 0.10% de nano-ZnO obtuvieron tiempos 4 y 5 veces mayores, 1150 y 1285 minutos respectivamente. Mientras que los tiempos de la muestra con 0.20% nano-ZnO fueron más de 12 y 15 veces mayores, con 3235 y 3440 minutos. Los ensayos de compresión se realizaron a 1, 3, 7 14 y 28 días. En el primer día la mezcla de control fue la única que obtuvo valores significativos con 20 MPa, debido al elevado tiempo de fraguado de las mezclas adicionadas, que requieren casi 1 día y 2.5 días. Al tercer día la muestra de control y la muestra 0.1% ZnO obtuvieron 69MPa y 70 MPa, la muestra 0.2% ZnO aún no desarrollaba suficiente resistencia. Al séptimo día las mezclas adicionadas logran desarrollar notablemente sus resistencias, alcanzando 70 MPa y 47 MPa para 0.1% ZnO y 0.2% ZnO respectivamente, mientras que la muestra sin adición alcanzó 69 MPa. A los 14 días se alcanzaron 87, 89.5 y 75 MPa respectivamente. Finalmente a los 28 días se alcanzaron 90, 91 y 77.5 MPa.

Joshaghani, Balapour, Mashhadian y Ozbakkaloglu (2020) trazó como objetivo de estudio, evaluar y comparar la influencia de diferentes nanopartículas (nano-TiO<sub>2</sub>, nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en el desempeño del concreto autocompactante. Para esto se evaluaron las propiedades de durabilidad y en los estados fresco y endurecido. Se utilizaron diferentes porcentajes (3% y 5%) como adición a la mezcla para cada nanopartícula. Para los ensayos en estado fresco se hicieron ensayos de asentamiento con el embudo V, caja L y cono de Abrams,

además se evaluó la segregación estática mediante la prueba de la columna de segregación. Para las propiedades mecánicas, se ensayaron a compresión axial simple, probetas luego de 7, 28 y 91 días. Para evaluar las propiedades de durabilidad se realizaron ensayos de migración rápida de cloruro (RCM), resistividad eléctrica, penetración de agua y penetración rápida de cloruro (RCM).

Según Jalal, Fathi y Farzad (2013), en un artículo publicado que investigó el incremento de la resistencia y características relacionadas con durabilidad causado por la incorporación de dos adiciones diferentes: nano-TiO<sub>2</sub> y cenizas volantes, en el concreto autocompactante de alta resistencia (HSSCC). Las adiciones fueron agregadas en diferentes porcentajes en reemplazo del cemento, se agregaron cenizas volantes en proporciones de 5%, 10% y 15%. Mientras que se adicionaron nanopartículas de TiO<sub>2</sub> en 1%, 2%, 3%, 4% y 5%. Para evaluar las propiedades reológicas se hicieron ensayos de asentamiento con el embudo V, caja L y cono de Abrams. Mientras que para las mecánicas se hicieron ensayos de compresión, tensión y tracción simple. Además de medir la absorción, capilaridad, penetración de cloruros y calorimetría. Sobre las pruebas de absorción y capilaridad se obtuvo lo siguiente: para calcular la absorción de los adoquines se sumergieron en agua durante 0.5, 1, 24, 72 y 168 horas. Es espécimen de control obtuvo los siguientes resultados: 2.35%, 3.12%, 4.54 %, 4.72%, 4.85% y 5.12%, respectivamente. Con respecto a los especímenes con nano-TiO<sub>2</sub> se observó una reducción en los porcentajes de absorción, a los 30 minutos de inmersión se obtuvieron los siguientes datos: 2.13%, 1.97%, 1.55%, 1.15% y 1.38% para muestras con 1%, 2%, 3%, 4% y 5% respectivamente. Luego de 1 hora, se obtuvo: 3.06 %, 2.73 %, 2.46%, 2.17% y 2.38%. Luego de pasadas 3 horas se obtuvieron porcentajes de 4.42%, 4.25%, 3.86%, 3.55% y 3.65%. A las 24 horas la absorción de agua fue de 4.64%, 4.45%, 4.18%, 3.91% y 3.98 % . Luego de pasadas

72 horas se registraron los siguientes valores, 4.72%, 4.39%, 4.23%, 4.06% y 4.12%. Finalmente luego de 168 horas la absorción de cada espécimen fue de: 4.93%, 4.68%, 4.46%, 4.22% y 4.35%.

Li, Zhang y Ou (2006) realizaron un estudio experimental con la finalidad de cotejar la resistencia a la abrasión obtenida en muestras con adición de nanopartículas (nano-TiO<sub>2</sub> y nano-SiO<sub>2</sub>) con muestras con fibras de polipropileno y el concreto convencional. Además se realizaron ensayos para estudiar la flexión, la compresión y establecer una relación entre estas propiedades y la resistencia a la abrasión. Las adiciones en sus diferentes porcentajes se dan de la siguiente manera: fibras de polipropileno (1% y 2%), nano-SiO<sub>2</sub> (1% y 3%) y nano-TiO<sub>2</sub> (1%, 3% y 5%). El ensayo fue realizado a los 28 días llevado a cabo con una máquina de abrasión por rodamiento de bolas de metal. Se notó un aumento en la resistencia a la abrasión con la incorporación del nano-TiO<sub>2</sub>. La muestra de control obtuvo los siguientes valores: el índice de resistencia a abrasión en la superficie fue de 1.19 y el índice de resistencia a abrasión en los costados resultó 1.55. La mezcla con 1% nano-TiO<sub>2</sub> obtuvo valores de 3.34 y 4.24 respectivamente. La muestra con 3% nano-TiO<sub>2</sub> obtuvo 2.95 y 3.72. La mezcla con 5% nano-TiO<sub>2</sub> obtuvo 2.27 y 2.88. Ello muestra que existe mejoría en la resistencia a la abrasión con la adición pero conforme aumenta el porcentaje de nano-TiO<sub>2</sub> esta resistencia se reduce.

Chirinos (2019) en su estudio trazó como objetivo evaluar la influencia que posee el mortero incorporando TiO<sub>2</sub> en la disminución de contaminantes ambientales. Para ello elaboró muestras con adición de 10% de TiO<sub>2</sub> y las comparó con muestras sin adicionar. Además, se evaluó los efectos de esta adición en las propiedades mecánicas de este material. Se concluye que: en cuanto a las propiedades para la reducción de contaminantes del aire, se obtuvieron

como resultados, una rebaja de CO<sub>2</sub> en un 97.9 %, NO en un 63.4 %, CO en un 40.5 %, H<sub>2</sub>S en un 72.9 %, SO<sub>2</sub> en un 67.2 % y restitución de oxígeno en un 7.7%, lo que confirma el buen desempeño del mortero fotocatalítico en el aumento de la calidad ambiental. Además, la capacidad autolimpiante quedó demostrada luego de observar la reducción del color, para la rodamina se redujo en un 89.10 % y para el otro colorante, el azul metileno, el color desapareció en un 53.06 %. En cuanto a compresión, los ensayos mostraron una resistencia a los 28 días que fue inferior a la mezcla patrón en un 26.16 %.

Bernuy y Flores (2020) en su investigación ensayaron muestras de mortero con adiciones de TiO<sub>2</sub> de 5%,7.5% y 10% y se compararon con muestras sin adicionar. Se evaluaron propiedades de autolimpieza y mecánicas. Concluyendo que: respecto a la fluidez de los morteros fotocatalíticos, el mortero presentó disminuciones de 8.26%, 14.51%, 21.65% según se añaden porcentajes de TiO<sub>2</sub> para adiciones de 5%,7.5% y 10% respectivamente. Centrándose en la resistencia a la compresión, la disminución de la compresión fue de 4.76%, 15.24%, 24.76% con la incorporación de TiO<sub>2</sub> en 5%,7.5% y 10% respectivamente. En cuanto a la actividad fotocatalítica del material, la prueba de rodamina a las 4 horas en los especímenes mostró una disminución de la rodamina en 43.95%, 36.48% y 47.04% para las muestras con 5%, 7.5% y 10% respectivamente, en comparación al 6.94% del espécimen sin adicionar. Las mediciones a las 24 horas mostraron una disminución de la rodamina en 67.50%, 82.21% y 84.19% para las muestras con 5%, 7.5% y 10% respectivamente, en comparación al 19.60 del espécimen sin adicionar. Demostrando la capacidad autolimpiante de este material al incorporar TiO<sub>2</sub> a la mezcla.

Martínez (2019) en su investigación tuvo que buscó evaluar la influencia de añadir TiO<sub>2</sub> al mortero de cemento para incrementar su desempeño y optimizar sus propiedades autolimpiables. Para ello ensayó muestras con porcentajes de 5%, 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub> y las comparó con muestras sin adición. Se sometieron las muestras a ensayos de compresión, absorción, fluidez, ensayo de actividad fotocatalítica por medio de rodamina B y prueba de intemperismo. Deduciéndose: añadir TiO<sub>2</sub> afectó negativamente la resistencia a la compresión, absorción y fluidez a medida que se aumentó la cantidad de adiciones. Tras realizar la prueba de evolución colorimétrica a través de rodamina B se notó que las únicas muestras que no poseían actividad fotocatalítica fueron las muestras sin adición de TiO<sub>2</sub>, en comparación con las muestras con adición que mostraron en promedio una reducción de la rodamina a las 4 horas en 44,24%, 55.12% y 58.04% para las muestras con 5%, 7.5% y 10% respectivamente. Las mediciones a las 26 horas mostraron en promedio una reducción de la rodamina en 76.83%, 84.92% y 88.78% para las muestras con 5%, 7.5% y 10% respectivamente. Este estudio además concluyó que el contenido más adecuado fue el de 5% de adición, por el efecto que presenta en sus propiedades, es el más favorable, manteniendo la trabajabilidad y mejorando la durabilidad al reducir la absorción de agua. Este material posee propiedad fotocatalítica y autolimpiante, además de no aumentar demasiado su precio de fabricación, incrementando el precio en 23.40% respecto a un mortero convencional.

### **1.3. Marco teórico**

#### **1.3.1. Adoquines de concreto**

El término significa “piedra labrada” en árabe, este el origen del término ya que proviene de la palabra *addukkân*. El adoquín se trata de un elemento prefabricado de concreto no aligerado en su masa, con forma generalmente de prisma recto, aunque también pueden

presentarse en diversas formas. Estos en conjunto conforman una superficie que puede utilizarse para ser capa de rodamiento en pavimentos (NTC 2017, 2004), estos se denominan intertrabados o articulados. Su uso se remonta a hace más cinco mil años, en civilizaciones tan antiguas como Creta, Babilonia, los egipcios o los griegos. Unos de lo que más innovaron en este tipo de pavimentos fueron los romanos, ellos construyeron con mayor complejidad sus pavimentos para componer su amplia red de caminos. Este pavimento incorporaba sistemas de drenaje, se trataba la subrasante y construía para que tenga una forma idónea para las ruedas de los vehículos (Echaveguren, 2013).



**Imagen 1: Diferentes presentaciones de adoquines**

Fuente: UNACEM

### **Ventajas y desventajas**

El empleo de los adoquines en pavimentos implica una serie de ventajas como la calidad y durabilidad del material, al tratarse de elementos prefabricados, además de contar con una gran diversidad de formas y tamaños disponibles. Otra ventaja es que independientemente del método empleado para construirlos, se pueden emplear seguidamente después de terminada su construcción. Además, los adoquines, mientras no se encuentren degradados o fracturados y acaten los requerimientos de diseño, se pueden reutilizar en otros proyectos. Otra ventaja importante recae en que las unidades pueden restituirse con facilidad, pudiendo corregir cualquier deficiencia provocada por

errores funcionales o estructurales. Esto facilita en gran medida la restitución y reparación de infraestructuras que se ubiquen enterradas en áreas urbanas.

### **Requisitos técnicos de los adoquines**

Los requisitos con los que debe cumplir un adoquín de concreto fabricado para que puedan usarse en pavimentos vehiculares y peatonales, se establecen en la norma NTP 399.611. En esta norma se especifica los valores permitidos, respecto a sus propiedades físico-mecánicas, dependiendo la cantidad, tipo, sus dimensiones, acabados, formas y otras características.

#### **1.3.2. El concreto**

##### **Cemento Portland:**

Este material es producto de minerales pulverizados con propiedades adhesivas y cohesivas que, al adicionarse agua en cantidades convenientes, forman una pasta conglomerante capaz de lograr un endurecimiento en aire y bajo agua, formando compuestos estables. Esto permite unir el medio ligante (la pasta de cemento) con el medio ligado (los agregados), formando un material compacto con resistencia y durabilidad propia (Rivva López, 2004; Matallana, 2013). Por otra parte, el cemento Portland es definido por la norma NTP 334.009 (2022) como un cemento hidráulico que es producto de hacer polvo el Clinker, compuesto fundamentalmente de silicatos de calcio hidráulico, conteniendo mayormente sulfato de calcio y en ciertas ocasiones, incluye caliza.

El cemento Portland debe cumplir con lo establecido en la NTP 334.009:2022,

donde establece la siguiente clasificación:

- Tipo I: Concreto para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- Tipo II: Concreto para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo III: Concreto para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: Concreto para usar cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Concreto para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

#### **Agua:**

Es componente fundamental en el concreto debido a que esta cumple dos funciones principales: es el responsable de hidratar el cemento, reaccionando químicamente con él, lo que le permite desarrollar propiedades conglomerantes, y en estado fresco provee de fluidez a la mezcla, permitiéndole ser trabajable. Es por ello que resulta fundamental controlar tanto su cantidad como su calidad, ya que estos dos factores resultan determinantes para que el concreto desarrolle sus propiedades (Matallana, 2013). Para la elección de agua de adecuada calidad se suele seguir el criterio de emplear cualquier agua que se considere potable. Debiendo recordar que no necesariamente toda agua no potable es inadecuada para preparar concreto y no todas las aguas potables son convenientes (Rivva López, 2004). El agua a emplear en elaborar concreto debe obedecer lo que establece la NTP 339.088. En general, esta debe mostrarse sin sustancias como azúcares, colorantes o aceites. En el presente estudio se

empleó agua proveniente de la red local como agua de mezcla para el concreto, para la cual no hay necesidad de realizarle ensayos para su uso en la mezcla.

### **Agregados:**

El concreto lo conforma una pasta de agua y cemento, que constituye un medio ligante en la mezcla, en esta están inmersas partículas de una sustancia que se denominan como agregados, que viene a ser el medio ligado de la mezcla (Rivva López, 2004). Estas partículas de diferentes tamaños están en contacto unas con otras, estos se distancian por espesores varios de pasta ya endurecida (Matallana, 2013). Este componente conforma entre el 60% al 80% del volumen del concreto, es por ello que es importante ya que le da cuerpo al concreto, reduce la contracción y economizan la mezcla (Shetty, 2008). Actualmente se conoce que el agregado tiene efectos influyentes no únicamente para la calidad y acabado, además influye, en el estado plástico, en trabajabilidad y consistencia. Así como endurecido, en la resistencia, durabilidad, cambios de volumen, propiedades elásticas, térmicas y peso unitario (Rivva López, 2004).

### **Clasificación por su composición granulométrica**

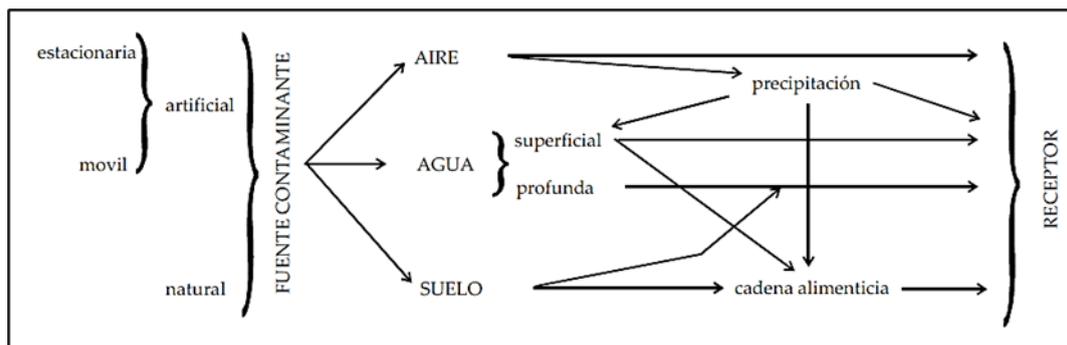
Entre las clasificaciones que contempla la norma NTP 400.011, la más usual es la clasificación según tamaño de las partículas, siendo la siguiente:

- **Agregado grueso:** También denominado como grava, proviene de la disgregación de rocas, artificiales o naturales. Este no pasa la malla 4.75 mm (Nº4).

- **Agregado fino:** También denominado como arena, proviene de la separación, ya sea natural o artificial, de piedras y rocas. Este logra pasar la malla 9.51 mm (3/8") y se detiene en la malla 0.0074 mm (N°200).

### 1.3.3. Contaminación ambiental

La contaminación es definida como un cambio no deseado en las propiedades del ambiente, que puede darse de forma física, química o biológica y afectar a la flora y fauna. Esto se debe a sustancias que no se desea que estén presentes en el aire, agua o suelo, en acumulaciones que pueden llegar a influir negativamente en el bienestar y la salud. De esta manera, se puede decir que cualquier medio ambiental estará contaminado si es que posee algún elemento que causa efectos negativos en este. A este algo se le denomina contaminante (Malagón, 2011). Asimismo, la contaminación en sus distintos medios, aire, suelo y agua, se encuentran relacionados y no es posibles separarlos. Es así que los contaminantes pasan fácilmente de un medio a otro, complicando darle solución este problema



**Imagen 1: Esquema general del proceso de contaminación.**

Fuente: Carranza, 2004

### Contaminantes ambientales

Los contaminantes provienen de dos fuentes emisoras: fuente natural y antrópica. Las naturales contaminan independientemente de las actividades humanas, entre estas se

encuentran los incendios forestales, erupciones volcánicas o la descomposición de materia orgánica. Estas fuentes se dividen, a la vez, en fijas y móviles (Carranza, 2004).

<p><b>AGRICULTURA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agotamiento del suelo.</li> <li>• Artificialización de la vegetación y del paisaje.</li> <li>• Desestructuración y desestabilización de los ecosistemas.</li> </ul> <p><b>GANADERÍA: PASTOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inestabilidad.</li> </ul> <p><b>EXPLORACIONES MINERAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruido.</li> <li>• Emisión de polvo.</li> <li>• Movimientos de tierra.</li> <li>• Pérdidas de suelo.</li> <li>• Eliminación o destrucción de la vegetación y alteraciones de la fauna asociada.</li> <li>• Contaminación de aguas superficiales o subterráneas.</li> <li>• Desviación de cauces.</li> <li>• Alteración del paisaje.</li> <li>• Sobreexplotación de recursos naturales.</li> </ul>	<p><b>APROVECHAMIENTO FORESTAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deforestación por consumo de madera.</li> <li>• Deforestación por crecimiento urbano.</li> <li>• Incendios y plagas.</li> <li>• Repoblaciones con especies no autóctonas o de interés comercial.</li> </ul> <p><b>INDUSTRIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de materias primas.</li> <li>• Contaminación atmosférica.</li> <li>• Contaminación del agua.</li> <li>• Contaminación del suelo.</li> <li>• Grandes catástrofes o accidentes.</li> <li>• Toxicidad y problemas para la salud humana.</li> </ul> <p><b>CIUDAD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación</li> <li>• Impacto sobre el paisaje.</li> <li>• Ocupación del suelo.</li> <li>• Modificaciones o destrucción de fauna y vegetación.</li> </ul> <p><b>ACTIVIDADES DE RECREO</b></p>
---	---

**Imagen 2: Actividades humanas y su influencia sobre el medio ambiente.**

Fuente: Seoánez, 2002

## Contaminación del aire

Carranza (2004) define al aire como una mezcla compleja de muchas sustancias, constituido principalmente por nitrógeno, que representa el 78%, oxígeno, con 21% del aire. El porcentaje restante incluye cantidades pequeñas de otras sustancias: dióxido de carbono, metano, hidrógeno, helio, argón, entre otros. De esta manera, respecto al aire, la contaminación se puede definir como la introducción de sustancias a este medio, los cuales pueden ser sustancias químicas, material particulado o desechos biológicos, que pueden presentar influencias dañinas en el ambiente. Los principales contaminantes atmosféricos, denominados también contaminantes criterio, son: los materiales particulados  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ , hidrocarburos totales, plomo u ozono, así como óxidos, destacando el dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y monóxido de carbono, según el Ministerio de Ambiente (2014).

#### 1.3.4. Descontaminación

Según Colín y Jiménez (2003), la contaminación se trata de un deterioro ambiental el cual se puede prevenir evitando la entrada de los agentes contaminantes mediante una serie de mecanismos:

- Evaluando el daño que las sustancias químicas producirían al ambiente.
- Implementando tecnologías industriales que hayan sido probadas, además de ser inocuas y seguras.
- Reciclando y reutilizando sustancias químicas peligrosas dentro de los procesos industriales.
- Implementando tecnologías que permitan que los contaminantes no sean emitidos o liberados al ambiente.
- Reduciendo el uso innecesario y la cantidad de desperdicios producidos a partir de recursos naturales y energéticos.
- Cambiando la dependencia de energías fósiles a fuentes energéticas renovables.
- Elaborando productos a partir de materia reciclada.

#### 1.3.5. Fotocatálisis

Según la Asociación Ibérica de Fotocatálisis (2010) se define como una reacción de oxidación que es producida cuando una fuente de luz, natural o artificial, activa un catalizador (generalmente es  $TiO_2$ ) estando presente oxígeno. La reacción de fotocatálisis fue descubierta en 1967 por los investigadores Fujishima y Honda. Al exponer un electrodo de  $TiO_2$  a una luz intensa se descubrió la descomposición fotocatalítica del agua, dando como resultado las propiedades de autolimpieza. (Martínez, 2019).

La fotocatalisis es una reacción catalítica, un proceso que se acelera la reacción química mediante un material llamado catalizador. Cuando el proceso de activación provoca una reacción en que el catalizador absorba luz, esta se denomina fotocatalisis (Pérez, 2016). Se trata de fenómeno que, en muchos aspectos, es similar a la fotosíntesis. En esta, un fotocatalizador enciende un proceso de oxidación a través una fuente de luz, provocando que sustancias nocivas, tanto orgánicas como inorgánicas, en compuestos totalmente inocuos. Esta propiedad ayuda a que puedan ser empleados para eliminar sustancias dañinas al ambiente, como las concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub>, óxidos de azufre provenientes de la quema de productos fósiles u óxidos de nitrógeno que provocan lluvia ácida, todos estos compuestos asociados al calentamiento global (Abella, 2015). Precisamente por esta propiedad es que actualmente esta reacción tenga diversas aplicaciones medioambientales como:

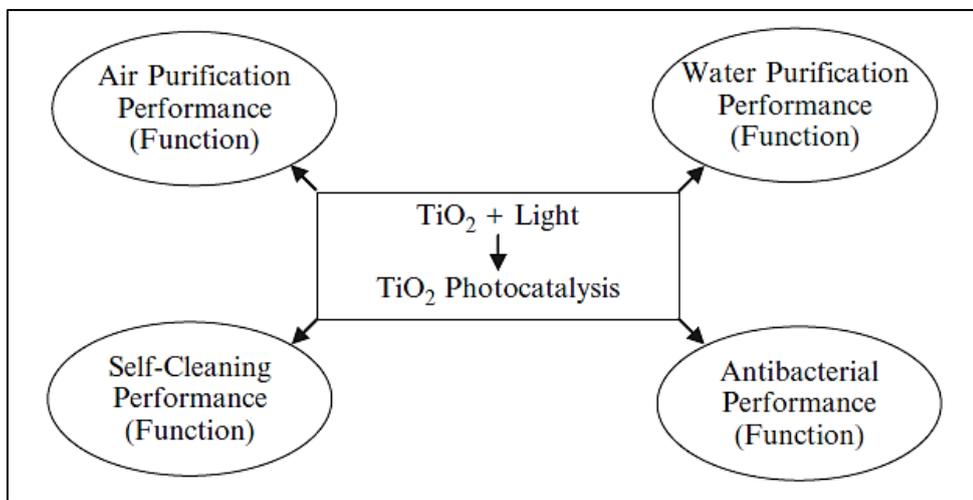
- Tratamiento del aire
- Tratamiento del agua
- Superficies activas
- Aplicaciones energéticas

Además de estas aplicaciones, la fotocatalisis puede aplicarse en la construcción, pudiendo utilizarse en una gran variedad de materiales como pavimentos, pinturas, vidrios, cerámicas, revestimientos, cubiertas, paneles, materiales cementicios, entre otros (AIF,2010)

### **1.1.1. Fotocatalisis en la construcción**

Los materiales de construcción con fotocatalizadores desarrollan las siguientes funciones, basadas en sus propiedades de fuerte poder de descomposición y alta humectabilidad: Purificación del aire, purificación del agua, autolimpieza y capacidad

antibacteriana (Ohama y Van Gemert, 2011).



**Imagen 3: Principales funciones desarrolladas por materiales fotocatalíticos**

Fuente: Ohama y Van Gemert, 2011

En los últimos 20 años, la tecnología de fotocatalisis ha progresado rápidamente, haciendo muy atractivo el desarrollo de materiales de construcción que incluyen esta tecnología. Es por ello que diversos tipos de materiales han sido desarrollados para diversos tipos de aplicaciones en la construcción, algunos de estos se resumen en esta tabla:

**Tabla 1:**

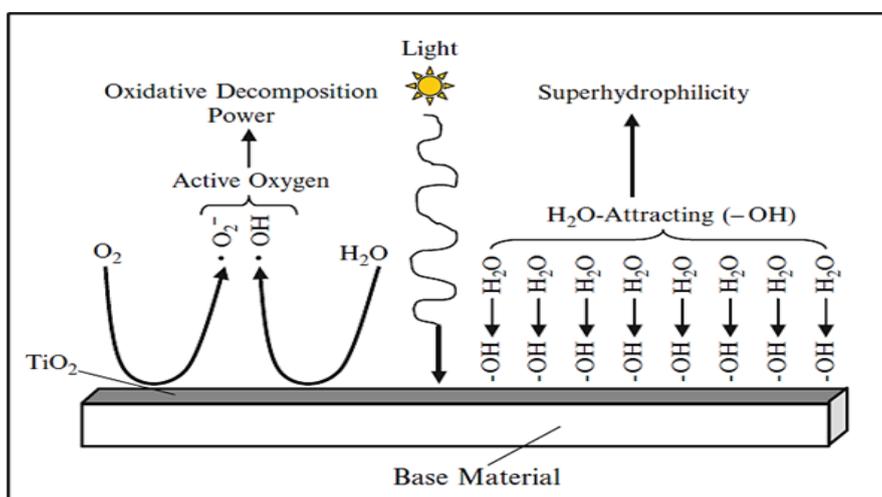
*Aplicaciones de la fotocatalisis en la construcción*

<b>Aplicaciones horizontales</b>	<b>Aplicaciones verticales</b>
Pavimentos de concreto	Pinturas para exteriores e interiores
Baldosas y adoquines de concreto	Bloques de mampostería
Recubrimientos para pavimentos y caminos	Morteros y paneles de cemento
Tejas y paneles para techos	Revestimientos de cerámica
Losas de cemento	Señales de tránsito
Pinturas y emulsiones para pavimentos	Mobiliario urbano

Fuente: Ohama y Van Gemert, 2011

### 1.3.6. Fotocatalizador

Un fotocatalizador es una sustancia semiconductor que puede ser activada químicamente por la radiación de la luz y que resulta en una reacción de oxidación-reducción (redox), es decir, posee fotoactividad o acción de fotocatalisis. Un fotocatalizador puede ser activado por la luz solar o por radiación ultravioleta, por esto, la acción de fotocatalisis provoca que ocurran dos fenómenos simultáneamente en la superficie del material: descomposición oxidativa y superhidrofilicidad (Ohama y Van Gemert, 2011).



**Imagen 4: Fenómenos inducidos por la acción de luz solar en materiales fotocatalíticos**

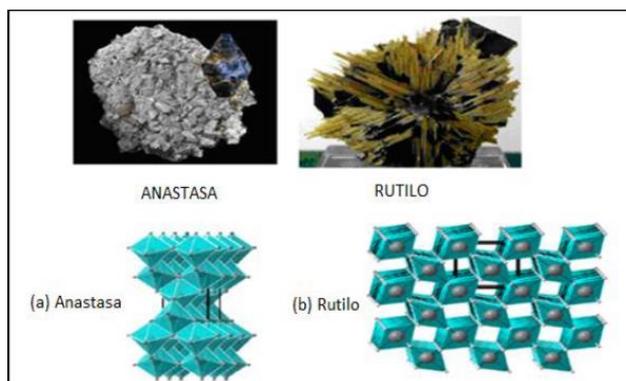
Fuente: Ohama y Van Gemert, 2011

Un fotocatalizador ideal debe poseer algunas características básicas. Por ejemplo, debe poder ser activado por luz solar, luz visible o luz ultravioleta. Debe poder mantener sus propiedades químicas y biológicas inalteradas y ser estable a la fotocorrosión. Pero otras de las características más importantes que deben tener es que sean sustancias no tóxicas, de bajo costo y fácil disponibilidad. Una amplia cantidad de semiconductores han sido investigados como fotocatalizadores para la degradación de diferentes tipos de contaminantes, algunos de estos semiconductores son: óxido de zinc (ZnO), óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de wolframio (WO<sub>3</sub>), seleniuro de cadmio (CdSe) y titanato de estroncio (SrTiO<sub>3</sub>) (Zhang et al, 2018). Sin embargo,

el fotocatalizador que ha resultado ser más eficaz que permita su uso industrial viene siendo dióxido de titanio o  $TiO_2$ .

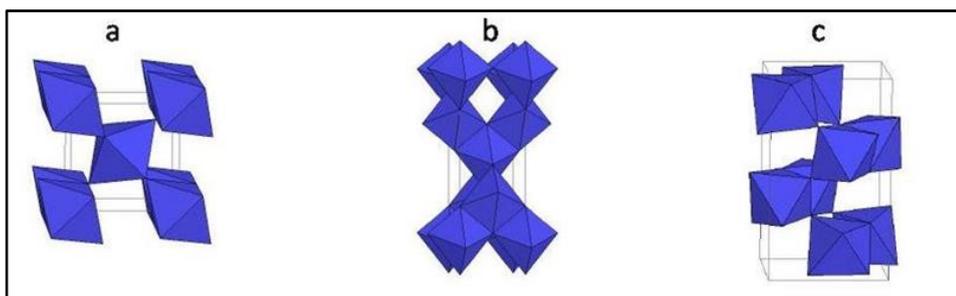
### 1.3.6.1. Dióxido de titanio

En naturaleza abunda, sin embargo, no es posible en estado puro, se presenta en como óxidos, como la ilmenita ( $FeO.TiO_2$ ) o el  $TiO_2$  (Abella, 2015). Este último posee 3 tipos de estructuras cristalinas, las cuales son: brookita, rutilo y anatasa. Este último es el que generalmente muestra la mayor fotoactividad comparada con los demás tipos, es por ello que la anatasa es la fase más empleada en la industria (Ohama y Van Gemert, 2011).



**Imagen 5: Diferentes modificaciones cristalinas del dióxido de titanio**  
Fuente: Rodríguez, 2012

De los tres tipos, el rutilo es el más abundante. En este, el titanio se conforma en forma octaédrica, por otro lado, refiriéndose a anatasa y brookita, en ambas fases los átomos se conforman como octaedros muy distorsionados con oxígeno alrededor. Estudios en termoquímica demostraron que la fase de anatasa es más estable que la fase de rutilo, de manera que esta es la modificación más estable de todas las fases, debido a que tanto las fases de anatasa como brookita tienden a convertirse en rutilo bajo el calentamiento (Rodríguez, 2012).



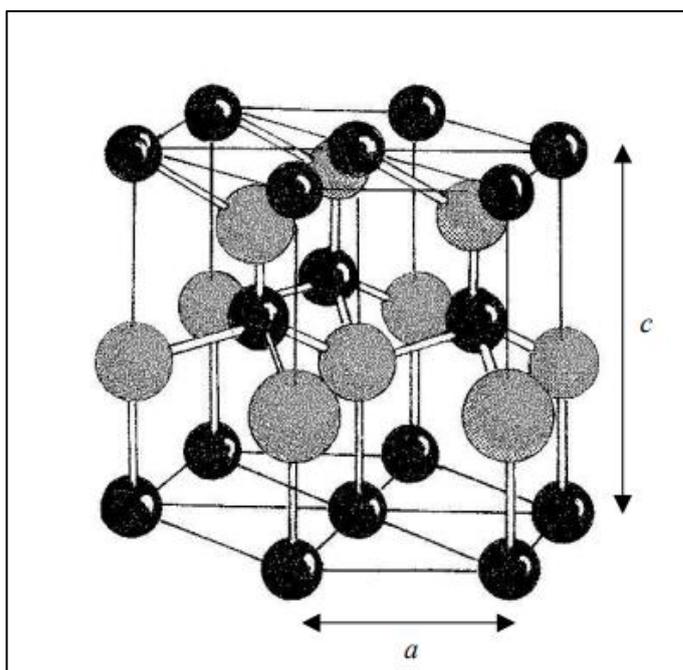
**Imagen 5: Estructuras cristalinas de TiO<sub>2</sub>: rutilo (a), anatasa (b), brookita (c)**

Fuente: Gutiérrez, 2013

La fase de brookita no muestra actividad fotocatalítica importante al exponerse a la luz visible, es por ello las otras fases son más aplicados en construcción, además de producirse industrialmente en grandes cantidades en países como Rusia, India o países sudamericanos. En gran medida es usado como pigmento blanco, siendo el dióxido de titanio el más producido para esta aplicación, al ser relativamente barato y no tóxico (Cortez y Burbano, 2016).

### 1.3.6.2. Óxido de zinc

El ZnO se trata de un compuesto químico presentado, en apariencia, como un polvo de color blanquecino, el cual se utiliza en diversos campos como relleno volumétrico o como pigmento blanco. También es posible utilizarlo en productos cosméticos, médicos o de tocador, debido a sus características desodorantes y antibacterianas. Además, se trata de un semiconductor perteneciente a la familia II-VI. Adicionalmente posee un elevado nivel de ionicidad en su enlace producto de la discrepancia de electronegatividades entre zinc y oxígeno, esto lo convierte en uno de los miembros con más ionicidad en esa familia (Filipetti, Fiorentini, Capellini y Bosin, 1999)



**Imagen 6 Estructura cristalina del óxido de zinc**

Fuente: Tena, 2004

### **1.3.7. Resistencia a la compresión de adoquines de concreto**

Puede decirse que la resistencia es la capacidad para resistir esfuerzos generados por fuerzas externas sin llegar a la falla, que un material tiene. El esfuerzo que se requiere para hacer fallar el concreto se denomina esfuerzo máximo. En la resistencia a la compresión, incluso cuando no se aprecien signos de fracturas externas, se considera que el adoquín de concreto ha fallado ya que el agrietamiento interno ha llegado a un estado tan avanzado que el material ya no puede soportar cargas mayores (Mehta y Monteiro, 2014). Para los adoquines, la norma NTP 399.611 establece las resistencias mínimas que deben poseer las unidades, dependiendo la clase de tráfico que van a recibir.

**Tabla 2**

*Resistencia a la compresión mínima por tipo de adoquín*

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión mínima MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Promedio 3 unidades	Unidad individual
I (Peatonal)	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥80	55 (561)	50 (510)

Fuente: NTP 399.611

### 1.3.8. Absorción de adoquines

Se espera que los materiales empleados para pavimentos tengan una vida útil larga y demanden poco mantenimiento, es por este motivo que el concreto debe poseer adecuada durabilidad para ser expuestas a diversas condiciones. La condición potencialmente más destructiva es la de congelación y deshielo, en esta condición, el deterioro es causado debido a que el agua absorbida por los adoquines, en temperaturas bajas, se congela y posteriormente se expande en el interior del adoquín provocando su deterioro. (Kostmakta, Kerkhoff y Panarese, 2003). La norma nacional que establece los valores máximos de agua absorbida es la norma NTP 399.611. Detallándose los valores en la tabla a continuación.

**Tabla 3**

*Absorción máxima por tipo de adoquín*

Tipo	Absorción máxima (%)	
	Promedio 3 unidades	Unidad individual
I y II	6.0	7.5
III	5.0	7.0

Fuente: NTP 399.611

### 1.3.9. Resistencia a la flexotracción

Es conocido que el concreto es fuerte en compresión y débil en tensión, en elementos de concreto armado se depende poco de lo que puede soportar a tracción y flexión, ya que se incorporan barras de refuerzo. Sin embargo en casos de pavimentos de concreto o intertrabado, estos resisten esfuerzos de tracción de dos principales fuentes: Cargas por ruedas y cambios de volumen en el concreto. Las cargas de ruedas pueden causar grandes tensiones de tracción debido a la flexión, especialmente cuando hay un soporte de la subrasante inadecuado. En cuanto a los cambios de temperatura, de volumen y de humedad pueden producir tensiones de tracción, debido al alabeo y al movimiento de los adoquines lo largo de la subrasante (Shetty, 2008). La norma utilizada en esta investigación, a falta de una norma nacional se usó una norma de Colombia, la NTC 2017, que establece los valores que deben tener los adoquines. Los valores mínimos que se establece esta norma se muestran así:

**Tabla 4**

*Requisitos de resistencia a la flexotracción*

Módulo de rotura a los 28 días mínimo (MPa)		Longitud de la huella máximo (mm)
Promedio 3 unidades	Unidad individual	Promedio 3 unidades
5	4.2	-
4.2	3.8	23

Fuente: NTC 2017

### 1.3.10. Actividad fotocatalítica de adoquines de concreto

La incorporación de fotocatalizadores a los materiales de construcción puede propiciar la mineralización total o parcial de ciertos contaminantes, evitando la acumulación de sustancias

que resultan indeseables en la superficie. Estas sustancias contaminantes que han sido mineralizadas en la superficie de los materiales fotocatalíticos son eliminados mediante limpieza. En los exteriores, estos son limpiados por acción del viento o del agua de lluvia y en interiores, mediante la propia limpieza del hogar o las corrientes de ventilación. Es por ello que a estos materiales se le atribuyen, entre otros, las propiedades descontaminación del aire y autolimpieza. (AIF, 2010). Debido a las diversas aplicaciones de los materiales fotocatalíticos, existen diversos métodos que miden la actividad fotocatalítica de estos para evaluar sus diversas capacidades (autolimpieza, purificación del aire, purificación del agua, efecto biocida). En esta tesis, para determinar la capacidad autolimpiante de los adoquines de concreto con adiciones de  $TiO_2$  y  $ZnO$ , se utilizó el método de ensayo de la rodamina B. Este ensayo mide la evolución colorimétrica a lo largo del tiempo de una solución de rodamina B aplicada en la superficie del material, evaluando la decoloración en un periodo de hasta 24 horas. La norma utilizada para este ensayo, a falta de normas nacionales, es la norma italiana UNI 11259-2016, en la cual se determinan dos factores que indican la decoloración del colorante luego de dos tiempos, a las 4 horas de exposición (R4) y a las 24 horas (R24). Esta norma establece valores mínimos para cada factor para que el material pueda considerarse fotocatalítico, indicándose en el cuadro:

**Tabla 5***Factores R4 y R24 mínimos*

<b>Factores mínimos</b>	
<b>R4</b>	<b>R24</b>
20%	50%

Fuente: UNI 11259

## **1.4. Formulación del problema**

### **1.4.1. Problema general**

¿En qué medida la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023?

### **1.4.2. Problemas específicos**

1. ¿De qué manera la adición  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en la resistencia a la compresión de adoquines tipo II, Lima - 2023?
2. ¿Cómo la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en la absorción de adoquines tipo II, Lima - 2023?
3. ¿Qué efecto tiene la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  en la resistencia a la flexotracción de adoquines tipo II, Lima - 2023?
4. ¿En qué medida la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en la actividad fotocatalítica de adoquines tipo II, Lima - 2023?

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar en qué medida la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima – 2023

### **1.5.2. Objetivos específicos**

1. Calcular cómo la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en la resistencia a la compresión de adoquines tipo II, Lima - 2023
2. Evaluar cómo la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en la absorción de adoquines tipo II, Lima - 2023

3. Determinar cómo la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en la resistencia a la flexotracción de adoquines tipo II, Lima - 2023
4. Estimar cómo la adición de  $TiO_2$  y  $ZnO$  influye en la actividad fotocatalítica de adoquines tipo II, Lima - 2023

## 1.6. Hipótesis

### 1.6.1. Hipótesis general

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** La adición de  $TiO_2$  no influye significativamente en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima – 2023.

**Hipótesis Alterna ( $H_a$ ):** La adición de  $TiO_2$  influye significativamente en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima – 2023.

### 1.6.2. Hipótesis específicas

#### **Hipótesis específica 1:**

**Hipótesis Nula 1 ( $H_0$ ):** La adición de  $TiO_2$  influye negativamente en la resistencia a la compresión de adoquines tipo II, Lima - 2023.

**Hipótesis Alterna 1 ( $H_a$ ):** La adición de  $TiO_2$  influye positivamente en la resistencia a la compresión de adoquines tipo II, Lima - 2023.

#### **Hipótesis específica 2:**

**Hipótesis Nula 2 ( $H_0$ ):** La adición de  $TiO_2$  influye negativamente en la absorción de adoquines tipo II, Lima - 2023.

**Hipótesis Alterna 2 ( $H_a$ ):** La adición de  $TiO_2$  influye positivamente en la absorción de adoquines tipo II, Lima - 2023.

**Hipótesis específica 3:**

**Hipótesis Nula 3 (H0):** La adición de TiO<sub>2</sub> influye negativamente en la resistencia a la flexotracción de adoquines tipo II, Lima - 2023.

**Hipótesis Alterna 3 (Ha):** La adición de TiO<sub>2</sub> influye positivamente en la resistencia a la flexotracción de adoquines tipo II, Lima – 2023

**Hipótesis específica 4:**

**Hipótesis Nula 4 (H0):** La adición de TiO<sub>2</sub> influye negativamente en la actividad fotocatalítica de adoquines tipo II, Lima - 2023.

**Hipótesis Alterna 4 (Ha):** La adición de TiO<sub>2</sub> influye positivamente en la actividad fotocatalítica de adoquines tipo II, Lima - 2023.

## 1.7. Justificación

Con esta investigación se busca obtener un material, en este caso adoquines de concreto fotocatalítico, con el fin de emplearlos en pavimentos peatonales y en pavimentos vehiculares ligeros. Cumpliendo con lo establecido en las respectivas normas y con la capacidad suficiente de autolimpieza. Esta investigación se justifica socialmente en el aporte que tendrá la aplicación de estos materiales en las ciudades, las cuales presentan altos niveles de contaminación debido principalmente al tráfico vehicular, permitiendo reducir estos niveles a los niveles establecidos por la OMS para una calidad del aire óptima. La evidente amenaza que supone los elevados niveles de contaminación para la salud pública hacen que sea necesario realizar investigaciones a fin de encontrar alternativas que pueden ser aplicadas para lograr disminuir estos altos niveles de contaminantes en el aire.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

#### **2.1.1. Por enfoque**

El estudio posee un enfoque del tipo cuantitativo, como Grinnell (1997) explica, este tipo de enfoque recolecta datos y posteriormente se analizan a fin de responder las preguntas del estudio y probar hipótesis que se han establecido previamente, esto en base a tomar medidas numéricas y analizarlas mediante métodos estadísticos, buscando determinar patrones de comportamiento con exactitud al interior de una población. Por ello esta investigación posee este enfoque, ya que, a través de ensayos de laboratorio se obtienen valores numéricos y la información es posteriormente analizada utilizando métodos estadísticos. Los objetivos del estudio pueden contrastarse con las hipótesis con la información que se obtiene, permitiendo llegar a una serie de conclusiones con respecto a las hipótesis planteadas.

#### **2.1.2. Por propósito**

Este estudio tiene un propósito aplicado. Según Rodríguez (2005), estos estudios más que al desarrollo de teorías, se centran en una utilización inmediata. La investigación se aplica a problemas de características y en circunstancias concretas. Es por ello que este estudio tiene este propósito, debido a que se busca obtener un material que pueda ser empleado como material en la construcción. Este se trata del adoquín de concreto fotocatalítico, el cual se desea emplear en pavimentos para tránsito peatonal y vehicular ligero, pudiendo además eliminar parte de los contaminantes producidos principalmente por el tráfico vehicular. Siendo requisito para que pueda emplearse, que cumplan con lo requerido en la normativa.

### **2.1.3. Nivel de investigación**

El nivel es explicativo. Como comentan Hernández, Fernández y Baptista (2014), como estas investigaciones se centran en responder como eventos y fenómenos, son provocados. Centrando su interés dar explicaciones sobre las razones por las que cierto fenómeno ocurre, en qué condiciones se manifiesta, así como explicar el hecho por el que se relacionan dos o más variables, generando con ello un sentido del entendimiento.

Por lo tanto, este estudio es explicativo en vista de que este busca entender cómo influye y que efectos produce la adición de dos diferentes fotocatalizadores:  $TiO_2$  y  $ZnO$ , en propiedades físico-mecánicas del concreto empleado en la elaboración de adoquines.

### **2.1.4. Diseño de la investigación**

Esta tesis presenta un diseño experimental. Hernández, Fernández y Baptista (2010), indican que en estas investigaciones para analizar las consecuencias de la alteración de las variables dependientes, se manipulan deliberadamente las variables independientes, estando la manipulación dentro de una situación de control. Esta manipulación y su posterior análisis se dan en este estudio mediante de ensayos de laboratorios, los cuales se encuentran bajo situación de control al llevarse a cabo según las normas establecidas para cada uno.

Asimismo, de acuerdo a los autores, este diseño se trata de un diseño cuasiexperimental, debido a que no se asignan los sujetos a grupos al azar ni son emparejados de esta manera. Estos grupos ya han sido formados antes del experimento. Al igual que en la presente investigación, en las cual los grupos se han formado con población y muestra

### 2.1.5. Población

Arias (2012) la describe como un conjunto de elementos, pudiendo ser finito o infinito, que poseen características comunes, siendo motivo de investigación, estando esta población delimitada por: el problema de investigación y sus objetivos. En base a lo comentado por el autor, esta investigación contempla una población finita, en base a que la cantidad de unidades que la integran se conoce, existiendo un registro documental de dichas unidades. En base a lo anteriormente mencionado, corresponde a esta investigación la siguiente la población:

- Adoquines de concreto con adición de TiO<sub>2</sub> y ZnO en diferentes porcentajes (0% TiO<sub>2</sub>, 1.5% TiO<sub>2</sub>, 2.5% TiO<sub>2</sub>, 0% ZnO, 1.5% ZnO, 2.5% ZnO) elaborados en la ciudad de Lima.

### 2.1.6. Muestra

Como Arias (2012) explica, es un subconjunto extraído de la población accesible, siendo representativo y finito. Además, en estas investigaciones se emplean muestras no probabilísticas, como Hernández, Fernández y Baptista (2010) explican, la elección de elementos de esta muestra no es en base a la probabilidad, esta se hace en base a causas relacionadas con las características del investigador. Adicional a esto, el autor menciona que este tipo de muestra es adecuado para investigaciones con este tipo de planteamiento y diseño. Para una mejor distinción de las muestras con diferentes mezclas, se le ha asignado una identificación a cada una:

**Tabla 6**

*Identificación de cada tipo de muestra*

<b>Muestra</b>	<b>Identificación</b>
Muestra Patrón	MP
Muestra con adición 1.5% TiO <sub>2</sub>	MT1
Muestra con adición 2.5% TiO <sub>2</sub>	MT2
Muestra con adición 1.5% ZnO	MZ1
Muestra con adición 2.5% ZnO	MZ2

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, las muestras escogidas para esta investigación se tomaron según lo especifica la norma para cada ensayo, esto se visualiza en la tabla 8:

**Tabla 7**

*Resumen de muestras elaboradas por ensayo*

<b>Ensayo</b>	Resistencia a la compresión	Absorción	Resistencia a la flexotracción	Actividad Fotocatalítica		
<b>Norma</b>	NTP 339.604	NTP 339.604	NTC 2017	UNI 11259		
<b>Tipo de espécimen</b>	Adoquín 10cm x 20cm x 8cm	Adoquín 10cm x 20cm x 8cm	Adoquín 10cm x 20cm x 8cm	Probetas cúbicas 8cm x 8cm x 8cm		
<b>Muestras</b>	<b>Cantidad</b>					
<b>Edad</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>	<b>7 días</b>
MP	3	3	3	3	3	4
MT1	3	3	3	3	3	4
MT2	3	3	3	3	3	4
MZ1	3	3	3	3	3	4
MZ2	3	3	3	3	3	4
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>20</b>

Fuente: Elaboración propia

## **2.2. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.2.1. Técnicas de recolección**

Vienen a ser las diferentes maneras de obtener información, constituyendo un conjunto de mecanismos, medios o recursos destinados con este fin. La investigación se vale de estas para poderse acercar a los hechos y de esta manera, lograr acceder a su conocimiento. (Abril, 2008). Dentro de las diferentes técnicas, esta investigación incluye la siguiente:

- Observación directa

La información primaria se recoge mediante la técnica de observación directa, esta cual consiste en la percepción a través de los sentidos, su posterior recolección y registro de los datos para análisis e interpretación posteriores (Herrera, 2010). Es directa debido a que el investigador se encuentra en directamente en contacto con el objeto a investigar y no utiliza ningún instrumento para visualizar los fenómenos a estudiar.

### **2.2.2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos se tratan de medios empleados para recolectar y almacenar la información. Hernández, Fernández y Baptista (2010) explican que este es un recurso empleado para consignar datos observables que representan de manera verdadera a conceptos o variables que tiene en mente el investigador. Debiendo estos contar con dos requisitos considerados esenciales: la confiabilidad y la validez. Para el presente estudio los instrumentos que se utilizaron para poder la recolectar datos fueron: fichas de recolección de datos. Estas fueron utilizadas en los ensayos de laboratorio, con lo cual se pudo recoger y clasificar de manera ordenada la información obtenida, en el cual se incluyen las observaciones realizadas. Para el registro fotográfico de las diferentes muestras se utiliza una cámara fotográfica, esto es

especialmente importante durante la prueba de rodamina, donde es necesario tener un registro visual de la degradación del colorante a lo largo de todo este ensayo. Las fichas técnicas de recolección de datos fueron elaboradas por indicador, estas se encuentran en los anexos, las fichas se detallan a continuación:

- **Ficha técnica de recolección N°1:** Resistencia a la compresión (Anexo 1)
- **Ficha técnica de recolección N°2:** Absorción (Anexo 2)
- **Ficha técnica de recolección N°3:** Resistencia a la flexotracción (Anexo 3)
- **Ficha técnica de recolección N°4:** Actividad fotocatalítica (Anexo 4)

Asimismo, para que estas fichas tengan validez, debieron ser sometidas a juicio de expertos. Los documentos de validación de los instrumentos se pueden observar en los anexos.

- **Experto 1:** Jenniefer Nancy Gamarra Villafuerte (Anexo 5)
- **Experto 2:** Joseph Christian Concepción Villanueva (Anexo 6)
- **Experto 3:** Víctor Inocente Espinoza Quinteros (Anexo 7)

### **2.2.3. Validez y confiabilidad del instrumento**

Son requisitos fundamentales para un instrumento: la validez y la confiabilidad. Siendo la primera, el nivel en que el instrumento utilizado mide realmente la variable pretendida a medir. Por otra parte, la confiabilidad se trata del nivel en que su aplicación repetida a un mismo objeto o sujeto genere similares resultados (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

### **2.2.3.1. Validez**

La validez de las fichas técnicas de recolección se garantiza mediante juicio de expertos, recurriendo para ello a tres especialistas en el tema, los cuales una vez revisado y dado su conformidad, aseguraron que el instrumento utilizado es válido.

### **2.2.3.2. Confiabilidad**

Esta se garantiza al usar equipos y herramientas establecidos específicamente para cada ensayo según las normas técnicas específicas y estando estos equipos correctamente calibrados. El certificado para cada equipo empleado se encuentra en los anexos.

- Equipo 1: Prensa hidráulica UTEST UTC-4722.FPR (Anexo 8)
- Equipo 2: Horno PERUTEST PT-H76 (Anexo 9)
- Equipo 3: Balanza electrónica OHAUS EX24001 (Anexo 10)
- Equipo 4: Colorímetro espectrofotómetro PCE XXM-20 (Anexo 11)

### **2.2.4. Técnicas de análisis de datos**

Se emplearon métodos propios de la estadística descriptiva para analizar los datos y ordenarlos en tablas y generar gráficos, esto permitió interpretar los resultados y posteriormente, estos resultados obtenidos en las fichas técnicas de recolección de los datos recolectados se analizaron recurriendo a métodos estadísticos apropiados para cada caso. Específicamente métodos de estadística inferencial para contrastar las hipótesis, con lo que se pudo estimar como influyen las adiciones de  $TiO_2$  y  $ZnO$  en las propiedades de los adoquines de concreto.

#### 2.2.4.1. Prueba de normalidad

Se realizó esta prueba para analizar en cuánto difieren la distribución de los datos que se observaron respecto a lo que se esperaba, si es que proceden de una distribución normal con misma media y desviación típica. Dependiendo de la cantidad de muestras a analizar, se cuentan con dos métodos:

- Tamaño de muestra  $> 50$  = Test de Shapiro-Wilk
- Tamaño de muestra  $\leq 50$  = Test de Kolmogorov-Smirnov

Se cuentan con menos de 50 muestras, por lo tanto, para el presente análisis se recurrió al Test de Shapiro-Wilk. Se establecieron las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** Los datos analizados provienen de una distribución normal, si P-Valor  $\geq 0.05$  se acepta  $H_0$ .
- **Hipótesis Alterna ( $H_a$ ):** Los datos analizados no provienen de una distribución normal, si P-Valor  $< 0.05$  se acepta  $H_a$ .

#### 2.2.4.2. Análisis de la varianza

Debido a que los datos tienen una distribución normal se utilizó estadística paramétrica. Para realizar el análisis de la varianza se hizo uso del método ANOVA, para comparar las varianzas entre las medias de los diferentes grupos, y con esto determinar si es que dos o más de estos grupos son iguales, similares o parecidos.

- **Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** La adición de  $TiO_2$  no influye significativamente en las propiedades del concreto para adoquines tipo II. Si P-Valor  $\geq 0.05$ , se acepta la  $H_0$ .
- **Hipótesis Alterna ( $H_a$ ):** La adición de  $TiO_2$  si influye significativamente en las

propiedades del concreto para adoquines tipo II. Si  $P\text{-Valor} < 0.05$ , se acepta la

$H_a$ .

#### **2.2.4.3. Prueba de Tukey**

En el método ANOVA se empleó la prueba de Tukey, la cual permite distinguir si los resultados que se obtuvieron fueron significativamente diferentes o no, al comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras que hayan sido sometidas a distintos tratamientos.

#### **2.2.5. Aspectos éticos de la investigación**

Debido al diseño cuasiexperimental de la tesis, los ensayos fueron llevados a cabo dentro de las instalaciones del laboratorio MTL Geotecnia S.A.C. y contando con la supervisión de los responsables de las instalaciones. El laboratorio se encuentra debidamente certificado y cuenta con personal calificado. Asimismo los instrumentos que se utilizaron en los ensayos se encontraban debidamente calibrados, los certificados de calibración de los equipos se encuentran anexados al final del documento. Los procedimientos de cada ensayo han sido llevados a cabo siguiendo los lineamientos y pasos establecidos por las normas técnicas de cada ensayo. Se respetó el derecho de autor considerando las citas y referencias y de igual manera, todas las fuentes de consulta fueron consideradas y citadas en esta investigación.

## 2.3. Procedimiento de recolección de datos

### 2.3.1. Etapa 1: Recolección de materiales

Los insumos para realizar las diferentes mezclas (cemento, agregados, agua, adiciones), así como el colorante a utilizar en el ensayo de actividad fotocatalítica, se detallan a continuación:

#### Cemento Portland

Para elaborar las mezclas se empleó: cemento Sol tipo I. Este se puede encontrar en presentaciones de bolsas de 42.5 kg.



**Imagen 7: Cemento Sol tipo I**

Fuente: UNACEM

Sus principales características se detallan en el cuadro que sigue:

**Tabla 8**

*Propiedades físicas y químicas del cemento Sol tipo I*

Parámetro	Unidad	Cemento Sol	Requisitos NTP 334.009/ASTM C150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	m <sup>2</sup> /kg	336	Mínimo 2.60
Densidad	g/ml	3.12	No especifica
<b>Resistencia a la Compresión</b>			
Resistencia a la Compresión a 3 días	kg/cm <sup>2</sup>	2.96	Mínimo 122
Resistencia a la Compresión a 7 días	kg/cm <sup>2</sup>	357	Mínimo 194
Resistencia a la Compresión a 28 días	kg/cm <sup>2</sup>	427	Mínimo 285
<b>Tiempo de Fraguado</b>			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
<b>Composición Química</b>			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	3.00	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.7	Máximo 1.5
<b>Fases Mineralógicas</b>			
C <sub>2</sub> S	%	11.9	No especifica
C <sub>3</sub> S	%	54.2	No especifica
C <sub>3</sub> A	%	10.1	No especifica
C <sub>4</sub> AF	%	9.7	No especifica

Fuente: UNACEM

### Agregado Grueso

Como agregado grueso para el concreto se utilizó piedra chancada o triturada. Esta proviene de cantera Trapiche.



**Imagen 8: Agregado grueso utilizado**

Fuente: Propia

## **Agregado Fino**

Como agregado fino para el concreto se utilizó arena gruesa. Esta proviene de cantera Trapiche.



**Imagen 9: Agregado fino utilizado**

Fuente: Propia

## **Agua**

Debe ser como se indica la NTP 339.088. En general, esta debe estar ausente de sustancias tales como aceites, azúcares y colorantes. Se utilizó agua potable, para este caso no hay necesidad de realizarle ensayos para su uso en la mezcla

## **Adiciones**

Las adiciones a que se utilizaron fueron: óxido de zinc ( $ZnO$ ) y dióxido de titanio ( $TiO_2$ ), ambas se presentan como un polvo fino de color blanco y se comercializan en bolsas desde 0.25 kg hasta 25kg, para esta investigación se utilizaron

bolsas de 1 kg cada una, debido a la poca cantidad a añadir. Para este estudio se utilizó dióxido de titanio en su fase de rutilo.



**Imagen 10: Óxido de zinc (izq.) y Dióxido de titanio (der.)**

Fuente: Elaboración propia

Las propiedades de las adiciones se presentan en las siguientes tablas :

**Tabla 9**

*Propiedades típicas del TiO<sub>2</sub> rutilo*

Propiedades típicas TiO <sub>2</sub>	
Contenido de TiO <sub>2</sub>	95 %
<b>Densidad</b>	
Gravedad específica	4.1
Densidad aparente	0.8 kg/L – 50 lbs/cu.ft.
Absorción de aceite	18 g/100g
pH	7.5
Resistencia específica	8 kohm-cm
Tamaño promedio de partícula	0.19 µm
<b>Especificaciones</b>	
ASTM D-476-00 (2005)	Tipo II, III, VI, VII
ISO 591-1:2000	R2
FDA	Aditivo alimentario indirecto

Fuente: TRONOX

**Tabla 10**  
*Propiedades típicas del ZnO*

Propiedades físicas ZnO		
Contenido de ZnO	%	99.8
pH		7.4
Materiales volátiles	%	0.09 – 0.15
Perdida por ignición	%	0.14 – 0.18
Elementos solubles en agua	%	0.06 – 0.10
Solubilidad en HCl	%	99.9
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	5.6
Tamaño de partícula	µm	0.8
Humedad	%	0.07 – 0.11
Área superficial (Método BET)	m <sup>2</sup> /g	3.2 – 6.5
Pasante malla 325	%	99.8

Fuente: Insuquímica

## Rodamina B

La rodamina B es un colorante orgánico del cual se hizo uso en el ensayo de actividad fotocatalítica, su uso se especifica en la norma italiana UNI 11259. Este se presenta como un polvo verdoso muy soluble en agua, que al mezclarse con esta adquiere un color violeta. Este producto se despacha en cantidades de 0,25 kg y para preparar la solución se empleó agua destilada.



**Imagen 11: Rodamina B**  
Fuente: Elaboración propia

Las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de la rodamina B se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 11**

*Propiedades físico-químicas y microbiológicas de la rodamina B*

<b>Propiedades físico-químicas y microbiológicas</b>	
Aspecto	Polvo fino
Color	Verde o violeta rojizo
Olor	Inodoro
Pureza	87% min
Arsénico (As)	3 ppm máx
Plomo (Pb)	10 ppm máx
Extractos etéreos	No más de 0.2%

Fuente: Insuquímica

### 2.3.2. Etapa 2: Caracterización de los agregados

#### **Peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017)**

Se conoce como peso unitario o densidad de masa, siendo suelto o compactado, al peso que alcanza un volumen unitario determinado, incluyendo en este volumen el de las partículas y el de los vacíos. Es un valor requerido para agregados ligeros o pesados y al dosificar el concreto por volumen, generalmente se expresa en kilogramos por metro cúbico del material (kg/m<sup>3</sup>). Este se encuentra influenciado por factores como la granulometría, gravedad específica, condición de humedad, además de su perfil, textura superficial y grado de compactación. (Rivva López, 2004).

Por otro lado, el peso unitario suelto (PUS) es producto de la relación entre el peso y el volumen del agregado que cae sobre el recipiente, llenándolo solo por acción de la gravedad. Se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

**Ecuación 1:**

*Peso unitario suelto*

$$PUS = \frac{P_M - P_{molde}}{V}$$

**Donde:**

- **PUS:** Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)
- **P<sub>M</sub>:** Peso de la muestra suelta + peso del molde (kg)
- **P<sub>molde</sub>:** Peso del molde (kg)
- **V:** Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)

**Tabla 12:**

*Peso Unitario Suelto del agregado fino*

<b>Peso Unitario Suelto – Agregado fino</b>				
<b>Identificación</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Unidad</b>
Peso de molde	2363	2363	2363	g
Volumen de molde	2760	2760	2760	cm <sup>3</sup>
Peso de molde + muestra suelta	6379	6372	6371	g
Peso de muestra suelta	4016	4009	4008	g
Peso unitario suelto	1.455	1.453	1452	g/cm <sup>3</sup>
<b>Promedio</b>		<b>1.453</b>		<b>g/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Propia

**Tabla 13:**

*Peso Unitario Suelto del agregado grueso*

<b>Peso Unitario Suelto – Agregado grueso</b>				
<b>Identificación</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Unidad</b>
Peso de molde	2363	2363	2363	g
Volumen de molde	2760	2760	2760	cm <sup>3</sup>
Peso de molde + muestra suelta	5929	5940	5938	g
Peso de muestra suelta	3566	3577	3575	g
Peso unitario suelto	1.292	1.296	1.295	g/cm <sup>3</sup>
<b>Promedio</b>		<b>1.294</b>		<b>g/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Propia

El peso unitario compactado (PUC) es el valor que se obtiene de la relación entre el peso y el volumen del agregado que es vaciado en el recipiente por capas, compactándolas con una varilla normalizada. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 2:**

*Peso unitario compactado*

$$PUC = \frac{P_M - P_{molde}}{V}$$

**Donde:**

- **PUC:** Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)
- **P<sub>M</sub>:** Peso de la muestra compactada + peso del molde (kg)
- **P<sub>molde</sub>:** Peso del molde (kg)
- **V:** Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)

**Tabla 14:**

*Peso Unitario Compactado del agregado fino*

<b>Peso Unitario Compactado – Agregado fino</b>				
<b>Identificación</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Unidad</b>
Peso de molde	2363	2363	2363	g
Volumen de molde	2760	2760	2760	cm <sup>3</sup>
Peso de molde + muestra suelta	7212	7218	7209	g
Peso de muestra suelta	4849	4855	4846	g
Peso unitario suelto	1.757	1.759	1.756	g/cm <sup>3</sup>
<b>Promedio</b>		<b>1.757</b>		<b>g/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Propia

**Tabla 15:**
*Peso Unitario Compactado del agregado grueso*

<b>Peso Unitario Compactado – Agregado grueso</b>				
<b>Identificación</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Unidad</b>
Peso de molde	2363	2363	2363	g
Volumen de molde	2760	2760	2760	cm <sup>3</sup>
Peso de molde + muestra suelta	6461	6474	6469	g
Peso de muestra suelta	4098	4111	4106	g
Peso unitario suelto	1.485	1.489	1.488	g/cm <sup>3</sup>
<b>Promedio</b>		<b>1.487</b>		<b>g/cm<sup>3</sup></b>

Fuente: Propia

### **Peso específico y absorción de los agregados finos**

El peso específico o llamado también gravedad específica, como lo señala la norma NTP 400.022, es la relación entre la densidad del agregado y la densidad del agua a una temperatura indicada. Su importancia radica en que representa un indicador de calidad, valores elevados indican agregados de buen comportamiento, mientras que un valor bajo generalmente indica agregados porosos, absorbentes y débiles, en cuyo caso se recomienda realizar pruebas adicionales.

Por otra parte, la absorción del agregado se define como el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, sin incluirse el agua adherida a la superficie exterior de las partículas. Se supone que esta condición representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto.

**Peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022)**

El peso específico del agregado fino es determinado, tal como lo indica la norma NTP 400.022, de la siguiente manera:

**Ecuación 3:**

*Peso específico secado al horno (OD) del agregado fino*

$$\text{Peso específico (OD)} = \frac{A}{B + S - C}$$

**Ecuación 4:**

*Peso específico saturada superficialmente seca (SSD) del agregado fino*

$$\text{Peso específico (SSD)} = \frac{S}{B + S - C}$$

**Ecuación 5:**

*Peso específico aparente del agregado fino*

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

**Donde:**

- **A:** Masa de la muestra secada al horno (g)
- **B:** Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración (g)
- **S:** Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)
- **C:** Masa de picnómetro lleno de muestra y agua hasta la marca de calibración (g)

En cuanto a la absorción del agregado fino, se calcula mediante la siguiente ecuación

**Ecuación 6:**

*Absorción del agregado fino*

$$\text{Absorción \%} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

**Donde:**

- **A:** Masa de la muestra secada al horno (g)
- **S:** Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

**Tabla 16:**

*Peso específico y absorción el agregado fino*

Identificación	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Unidad
Masa de muestra SSS	500.00	500.00	500.00	g
Masa de picnómetro + masa de muestra SSS + masa de agua	980.70	981.50	981.10	g
Masa de picnómetro + masa de muestra SSS	670.20	669.80	670.00	g
Masa de agua	310.50	311.70	311.10	g
Masa de muestra secada al horno + masa de picnómetro	662.20	662.20	662.20	g
Masa de picnómetro	170.20	169.80	170.00	g
Masa de muestra secada al horno	492.00	492.40	492.20	g
Volumen del picnómetro	497.50	498.20	497.85	cm <sup>3</sup>
<b>Peso específico secado al horno</b>	2.63	2.64	<b>2.64</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico secado superficialmente seco</b>	2.67	2.68	<b>2.68</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico aparente</b>	2.75	2.75	<b>2.75</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Absorción</b>	1.63%	1.54%	<b>1.58%</b>	<b>%</b>

Fuente: Propia

**Peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.021)**

El peso específico del agregado grueso es determinado, tal como lo indica la norma NTP 400.021, de la siguiente manera:

**Ecuación 7:**

*Peso específico secado al horno (OD) del agregado grueso*

$$\text{Peso específico (OD)} = \frac{A}{B - C}$$

**Ecuación 8:**

*Peso específico saturado superficialmente seco (SSD) del agregado grueso*

$$\text{Peso específico (SSD)} = \frac{B}{B - C}$$

**Ecuación 9:**

*Peso específico aparente del agregado grueso*

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

**Donde:**

- **A:** Masa de la muestra secada al horno (g)
- **B:** Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)
- **C:** Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua (g)

En cuanto a la absorción del agregado grueso, se calcula mediante la siguiente ecuación

**Ecuación 10:**

*Absorción del agregado grueso*

$$\text{Absorción \%} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

**Donde:**

- **A:** Masa de la muestra secada al horno (g)

- **B:** Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

**Tabla 17:**

*Peso específico y absorción el agregado grueso*

Identificación	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	Unidad
Masa de muestra SSS	2568.00	2505.00	2536.50	g
Masa de muestra saturada en agua	1622.00	1581.00	1601.50	g
Masa de muestra secado en horno	2528.00	2465.00	2496.50	g
<b>Peso específico secado al horno</b>	2.67	2.67	<b>2.67</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico secado superficialmente seco</b>	2.71	2.71	<b>2.71</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Peso específico aparente</b>	2.79	2.79	<b>2.79</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Absorción</b>	1.58%	1.62%	<b>1.60%</b>	<b>%</b>

Fuente: Propia

### Contenido de humedad (NTP 339.185)

Los agregados contienen poros internos que pueden ser abiertos cuando la humedad o agua exterior pueden acceder al interior sin necesidad de presión. O poros cerrados, cuando no hay canales de comunicación con la superficie y solo se puede alcanzar a esta mediante presión.

El contenido de humedad o de agua total consiste en la diferencia entre el estado actual de humedad del agregado y el estado seco. Para proporcionamiento del concreto se considera que el agregado se encuentra en un estado saturado superficialmente seco (SSS), lo que significa que se encuentra con sus poros abiertos llenos de agua y sin humedad superficial. En este estado, el agregado no puede absorber agua de la mezcla ni tampoco cederla. Mientras que en caso que este se encuentre parcialmente seco, le restará agua, y si se encuentra mojado, provocará un exceso de agua que afectará su resistencia y otras propiedades.

El contenido de humedad se determina mediante la siguiente fórmula:

**Ecuación 11:**

*Contenido de humedad de los agregados*

$$\%H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

**Donde:**

- **%H:** Contenido de humedad (%)
- **P<sub>h</sub>:** Peso de la muestra húmeda (g)
- **P<sub>s</sub>:** Peso de la muestra seca (g)

**Tabla 18:**

*Contenido de humedad del agregado fino*

Descripción	Muestra	Unidad
Masa del recipiente	56.2	g
Masa del recipiente + muestra seca	203.7	g
Masa del recipiente + muestra húmeda	205.1	g
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>0.94</b>	<b>%</b>

Fuente: Propia

**Tabla 19:**

*Contenido de humedad del agregado grueso*

Descripción	Muestra	Unidad
Masa del recipiente	136.4	g
Masa del recipiente + muestra seca	1562.4	g
Masa del recipiente + muestra húmeda	1566.7	g
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>0.30</b>	<b>%</b>

Fuente: Propia

## Granulometría (NTP 400.012)

La granulometría del agregado se refiere a la distribución del tamaño de las partículas en una masa del agregado que se obtiene mediante un procedimiento mecánico que consiste en separar las partículas pasándolo a través de una serie de tamices normalizados colocados sucesivamente con aberturas que van de mayor a menor tamaño. Esto se expresa como porcentajes respecto a la masa total. Debido a que los agregados ocupan el mayor volumen del concreto, entre 65% a 85%, la granulometría seleccionada debe permitir que se obtengan la mayor densidad en las mezclas, es decir, que los espacios dejados por los agregados más grandes sean ocupados por otros de menor tamaño, logrando minimizar los vacíos que luego serán llenados con la pasta de cemento. Con esto se da la posibilidad de lograr una adecuada trabajabilidad y acabados en estado fresco, obteniendo las propiedades deseadas en el estado endurecido.

Para el agregado fino se utilizan la siguiente serie de tamices ASTM: N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200. Mientras que para el agregado grueso se utilizan la siguiente serie de tamices ASTM: 1/4"; 3/8"; 1/2"; 3/4"; 1"; 1 1/2" 3" y mayores. Además en la norma NTP 400.037 se establecen los límites granulométricos para ambos tipos de agregados.

**Tabla 20:**

*Requisitos granulométricos del agregado fino*

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30

150  $\mu$ m (No. 100) 0 a 10  
Fuente: NTP 400.037

**Tabla 21:**

*Requisitos granulométricos del agregado grueso*

Huso	Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados							
		37.5mm (1½ pulg)	25mm (1 pulg)	19mm (¾ pulg)	12.5mm (½ pulg)	9.5mm (3/8 pulg)	4.75 mm (N°4 pulg)	2.36mm (N°8 pulg)	1.18mm (N°16 pulg)
4	37.5 mm a 19 mm (1½ pulg a ¾ pulg)	90 a 100	20 a 55	0 a 5	-	0 a 5	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75mm (1½ pulg a N°4)	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
5	25 mm a 12.5mm (1 pulg a ½ pulg)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
56	25mm a 9.5mm (1 pulg a 3/8 pulg)	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
57	25mm a 4.75mm (1 pulg a N°4)	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
6	37.5 mm a 19 mm (1½ pulg a ¾ pulg)	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
67	19mm a 9.5mm (¾ pulg a N°4)	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
7	12.5mm a 4.75mm (1/2 pulg a N°4)	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
8	9.5mm a 2.36mm (3/8 pulg a N°8)	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	12.5mm a 9.5mm (½ pulg a 3/8 pulg)	-	-	-	100	90 a 100	25 a 55	5 a 30	0 a 10
9	4.75mm a 1.18mm (N°4 a N°16)	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10

Fuente: NTP 400.037

**Tabla 22:**

*Análisis granulométrico del agregado fino*

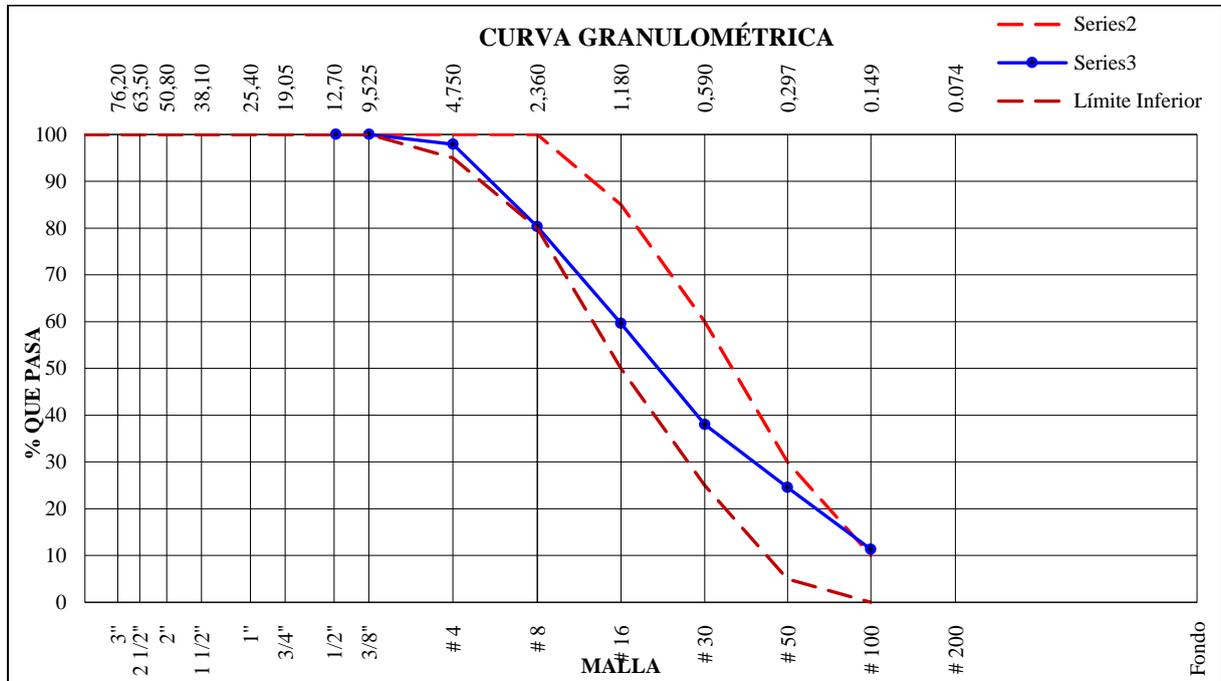
Análisis Granulométrico - Agregado Fino							
Malla	mm	Peso retenido (g)	% Parcial retenido	%Acumulado Retenido	%Acumulado que pasa	Límites	
						Mínimo	Máximo
1/2"	12.50 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.50 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	4.75 mm	12.9	2.1	2.1	97.9	95.00	100.00
N° 8	2.36 mm	110.5	17.6	19.7	80.3	80.00	100.00
N° 16	1.18 mm	129.6	20.7	40.4	59.6	50.00	85.00
N° 30	0.6 mm	135.8	21.7	62.1	37.9	25.00	60.00
N° 50	0.3 mm	84.2	13.4	75.5	24.5	5.00	30.00
N° 100	0.15 $\mu$ m	82.9	13.2	88.7	11.3	0.00	10.00

Fondo 71.0 11.3 100.0 0.0 - -

Fuente: Propia

Figura 1:

Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Propia

Tabla 23:

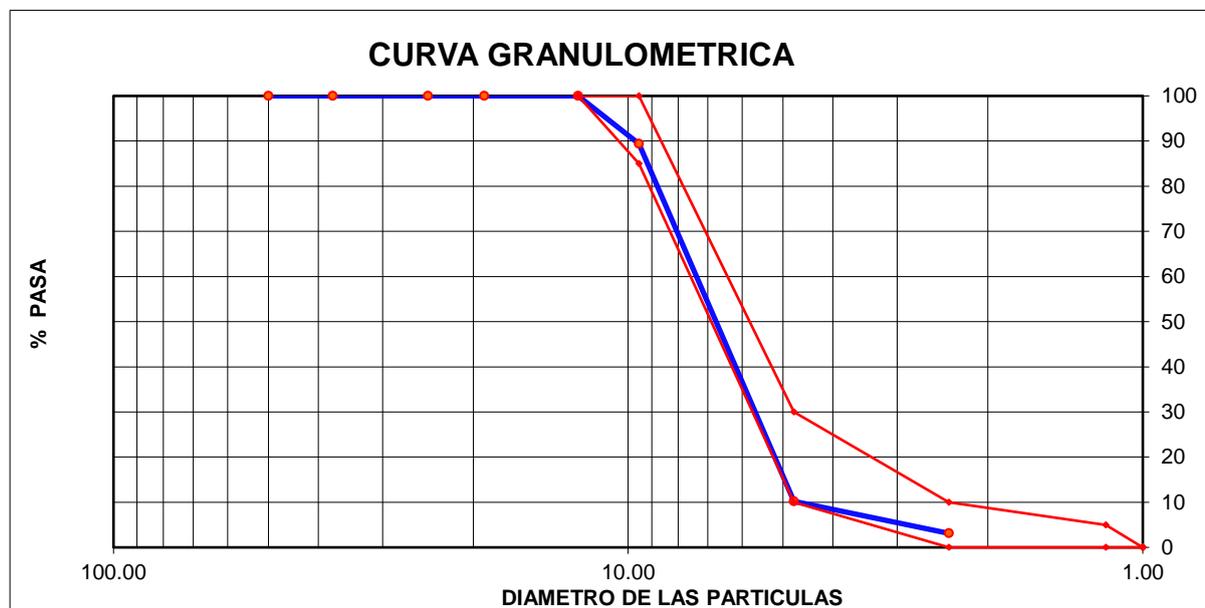
Análisis granulométrico del agregado grueso

Análisis Granulométrico - Agregado Grueso							
Malla	mm	Peso retenido (g)	% Parcial retenido	%Acumulado Retenido	%Acumulado que pasa	Límites	
						Mínimo	Máximo
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
1"	24.50	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
3/4"	19.05	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.53	358.0	10.6	10.6	89.4	85.00	100.00
Nº 4	4.76	2,684.0	79.2	89.8	10.2	10.00	30.00
Nº 8	2.38	241.0	7.1	96.9	3.1	0.00	10.00
Nº 16	1.18	86.5	2.6	99.5	0.5	0.00	5.00

Fuente: Propia

**Figura 2:**

*Curva granulométrica del agregado grueso*



Fuente: Propia

### Módulo de fineza (NTP 400.012)

El módulo de fineza indica un mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado. Un índice bajo indica preponderancia a partículas más finas y se cuenta con un área superficial total muy alta. Por el contrario, un índice alto indica preponderancia a partículas más gruesas; cuando mayor sea su valor, menor será la demanda de agua por agua superficial (Rivva López, 2000). La norma NTP 400.037 indica que el módulo de fineza para el agregado fino no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1. El módulo de finura se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

**Ecuación 12:**

*Módulo de fineza*

$$MF = \frac{\Sigma \%Acumulado (3"; 1\ 1/2"; 3/4"; 3/8", \# 4, \# 8, \# 16, \# 30, \# 50, \# 100)}{100}$$

**Módulo de finura del agregado fino:**

$$MF = \frac{2.10 + 19.7 + 40.4 + 62.1 + 75.5 + 88.7}{100}$$

$$MF = 2.89$$

**Módulo de finura del agregado grueso:**

$$MF = \frac{10.6 + 89.8 + 96.9 + 100 + 100 + 100 + 100}{100}$$

$$MF = 5.94$$

**2.3.3. Etapa 3: Diseño de mezcla**

**A. Determinación de la resistencia mínima**

El material que se busca obtener es un adoquín de concreto con capacidad autolimpiante, este material debe cumplir con lo establecido en la norma NTP 399.611.

En esta se indica la resistencia a la compresión mínima requerida para cada tipo de adoquín, según lo indica la siguiente tabla:

**Tabla 24:**

*Resistencia a la compresión mínima por tipo de adoquín*

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión mínima MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Promedio 3 unidades	Unidad individual
I (Peatonal)	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)

II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥80	55 (561)	50 (510)

Fuente: NTP 399.611

Para esta investigación, se ha elegido elaborar adoquines tipo II, para tráfico vehicular ligero, con un espesor escogido de 8 cm. Por lo tanto, según la tabla indicada, corresponde una resistencia a la compresión de  $380 \text{ kg/cm}^2$  para un promedio de 3 unidades.

### B. Propiedades de los componentes de la mezcla de concreto

A continuación, se resume en la siguiente tabla, las principales propiedades de los agregados y del cemento que se utilizaron en la mezcla.

**Tabla 25:**

*Propiedades de los componentes de la mezcla de concreto*

Material	Peso específico ( $\text{g/cm}^3$ )	Módulo de fineza	Humedad (%)	Absorción (%)	P.U.S. ( $\text{kg/m}^3$ )	P.U.C. ( $\text{kg/m}^3$ )
Cemento Sol Tipo I	3.12					
Agregado Fino	2.64	2.89	0.94	1.58	1453	1757
Agregado Grueso	2.67	5.94	0.30	1.60	1294	1487

Fuente: Propia

### C. Determinación de la resistencia requerida

Establecida la resistencia a la compresión mínima especificada, se procede a establecer la resistencia a la compresión requerida.

**Tabla 26**

*Resistencia a la compresión requerida en función a la resistencia a la compresión especificada*

<b>Resistencia a la compresión especificada</b> f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	<b>Resistencia a la compresión requerida</b> f'cr (kgf/cm <sup>2</sup> )
< 210	f'c + 70
210 - 350	f'c + 84
> 350	1.1f'c + 50

Fuente: Adaptado de ACI PRC-211.1-22

De acuerdo a la tabla anteriormente mostrada, se determinó la resistencia requerida:

$$f'Cr = 1.1f'C + 50$$

$$f'Cr = 1.1(380) + 50$$

$$f'Cr = 468 \text{ kgf/cm}^2$$

#### **D. Estimación del agua de mezcla y contenido de aire**

Para estimar el contenido de agua en la mezcla, se usaron los valores recomendados por el Comité 211 del ACI que se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 27**

*Agua de mezcla y contenido de aire para los tamaños máximos nominales de los agregados*

<b>Agua para concreto para los tamaños máximos nominales indicados de los agregados</b>							
<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>							
<b>Slump (pulg)</b>	<b>3/8</b>	<b>1/2</b>	<b>3/4</b>	<b>1</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<i>Sin aire incorporado en el concreto</i>							
<b>1" - 2"</b>	207	199	187	178	163	332	131
<b>3" - 4"</b>	228	217	202	193	178	169	145
<b>5" - 6"</b>	237	222	208	20	181	172	151
<b>6" - 7"</b>	243	228	214	202	187	178	160
<b>Más de 7"</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Aire atrapado</b>	3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%	0.5%	0.3%
<i>Con aire incorporado en el concreto</i>							
<b>1" - 2"</b>	181	175	166	160	148	142	122
<b>3" - 4"</b>	202	193	181	175	163	157	133
<b>5" - 6"</b>	211	199	187	178	166	160	142
<b>6" - 7"</b>	217	205	193	184	172	166	154
<b>Más de 7"</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Aire total requerido</b>							
Exposición Clase F1	6.0%	5.5%	5.0%	4.5%	4.5%	4.0%	3.5%
Exposición Clases F2 y F3	7.5%	7.0%	6.0%	6.0%	5.5%	5.0%	4.5%

Fuente: Adaptado de ACI PRC-211.1-22

Los adoquines son elaborados con una mezcla de consistencia seca, por lo tanto, se escogió un asentamiento entre 1 y 2 pulgadas. Según el análisis granulométrico, el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 3/8 pulgadas. De la tabla anteriormente mostrada, se obtuvieron los siguientes valores para los componentes de la mezcla:

***Agua de mezcla: 207 L/m<sup>3</sup>***

***Aire atrapado: 3%***

### **E. Estimación de la relación agua – cemento:**

Una vez calculada la cantidad de agua en la mezcla, se procede a determinar la relación agua – cemento (a/c), para ello se utiliza la recomendación brindada por la guía ACI PRC-211.1-22 como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 28:**
*Relación entre a/c y la resistencia a la compresión del concreto*

Resistencia a la compresión a los 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	Relación a/c	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
492	0.34	< 0.33
422	0.41	0.33
352	0.48	0.40
281	0.57	0.48
211	0.68	0.59
141	0.82	0.74

Fuente: Adaptado de ACI PRC-211.1-22

Con los valores mostrados en la tabla, se determina el valor de la relación a/c mediante interpolación:

492	-----	0.34
468	-----	a/c
422	-----	0.41

$$a/c = 0.36$$

#### F. Cálculo del contenido de cemento:

Con los valores del contenido de agua y la relación a/c, se calculó el contenido de cemento en la mezcla, el cálculo se muestra a continuación:

$$a/c = \frac{\text{Agua de mezcla}}{\text{Contenido de cemento}} = 0.36$$

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{\text{Agua de mezcla}}{a/c}$$

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{207 \text{ L/m}^3}{0.36}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 575 \text{ kg/m}^3$$

### G. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino

De acuerdo al análisis granulométrico, el módulo de finura resultó en 2.89. El volumen del agregado grueso por metro cúbico de concreto (b/b.) se determinó en base al módulo de finura del agregado fino, según lo indica la siguiente tabla del comité 211 del ACI.

**Tabla 29:**

*Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*

Tamaño máximo nominal del agregado (pulg)	Módulo de finura del agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76

Fuente: Adaptado de ACI PRC-211.1-22

Con los valores mostrados en la tabla, se determina el valor de la relación b/b. mediante interpolación:

2.8	-----	0.46
2.89	-----	b/b.
3.0	-----	0.44

$$b/b. = 0.45$$

Con ello, se calcula el peso del agregado grueso en la mezcla utilizando el peso unitario compactado:

$$P_{AG} = b/b \times P.U.C.$$

$$P_{AG} = 0.45 \times 1487 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{AG} = 669.15 \text{ kg}$$

Una vez determinado el peso de los materiales, solo restaría calcular el peso del agregado fino. Esto se determina de la siguiente manera:

**Tabla 30:**

*Volumen parcial de los materiales*

Material	Peso	Volumen
Cemento	575.00 kg	0.184 m <sup>3</sup>
Agua	207.00 L	0.207 m <sup>3</sup>
Aire	3%	0.030 m <sup>3</sup>
Piedra	669.15 kg	0.252 m <sup>3</sup>
<b>Volumen parcial</b>		<b>0.673 m<sup>3</sup></b>

Fuente: Propia

$$V_{AF} = 1 - \text{Volumen parcial}$$

$$V_{AF} = 1 - 0.673 \text{ m}^3$$

$$V_{AF} = 0.327 \text{ m}^3$$

$$Peso_{AF} = V_{AF} \times P.E. \times 1000$$

$$Peso_{AF} = 0.327 \text{ m}^3 \times 2.64 \times 1000$$

$$Peso_{AF} = 863.28 \text{ kg}$$

Con ello se obtiene lo siguiente:

**Tabla 31**

*Pesos secos de materiales*

<b>Material</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Volumen</b>
Cemento	575.00 kg	0.184 m <sup>3</sup>
Agua	207.00 L	0.207 m <sup>3</sup>
Aire	3%	0.030 m <sup>3</sup>
Piedra	669.15 kg	0.252 m <sup>3</sup>
Arena	863.28 kg	0.327 m <sup>3</sup>

Fuente: Propia

## H. Corrección por humedad de los agregados

$$\text{Peso humedo} = \text{Peso seco} \times (1 + \% \text{Contenido de humedad})$$

$$\text{Peso humedo arena} = 863.28 \text{ kg} \times (1 + 0.9\%)$$

$$\text{Peso humedo arena} = 865.87 \text{ kg}$$

$$\text{Peso humedo piedra} = 669.15 \text{ kg} \times (1 + 0.3\%)$$

$$\text{Peso humedo piedra} = 675.17 \text{ kg}$$

## I. Aporte de agua libre de los agregados

$$\text{Aporte de humedad} = \text{Peso seco} \times (\text{Contenido de humedad} - \text{Absorción})$$

$$\text{Aporte de humedad arena} = 863.28 \text{ kg} \times (0.9\% - 1.58\%)$$

$$\text{Aporte de humedad arena} = -5.87 \text{ L}$$

$$\text{Aporte de humedad piedra} = 669.15 \text{ kg} \times (0.3\% - 1.60\%)$$

$$\text{Aporte de humedad piedra} = -8.70 \text{ L}$$

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua de diseño} - \text{Aporte de humedad}$$

$$\text{Agua efectiva} = 207L - (-5.87L - 8.70 L)$$

$$\text{Agua efectiva} = 221.57 L$$

## J. Diseño de la mezcla patrón

**Tabla 32:**

*Dosificaciones de la muestra patrón*

Material	Peso seco	Volumen	Peso húmedo	Volumen
Cemento	575.00 kg	1	575 kg	1
Agua	221.57 L	15.3 L	221.57 L	16.6 L
Arena	865.87 kg	1.50	865.87 kg	1.51
Piedra	669.15 kg	1.16	675.17 kg	1.17
Aire	3%	3%	3%	3%
a/c	0.36	0.36	0.39	0.39

Fuente: Propia

## K. Dosificación de las mezclas adicionadas

A continuación, se muestran las dosificaciones para las diferentes muestras.

**Tabla 33**

*Dosificación de las diferentes mezclas*

Material	MP	MT1	MT2	MZ1	MZ2
Cemento	575,00	566,38	560,63	566,38	560,63
Agua	221,57	221,57	221,57	221,57	221,57
Arena	865,87	865,87	865,87	865,87	865,87
Piedra	669,15	669,15	669,15	669,15	669,15
TiO <sub>2</sub>	0,00	8,63	14,38	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	8,63	14,38

Fuente: Propia

#### 2.3.4. Etapa 4: Curado de los especímenes

El curado de los especímenes se realizó acorde al procedimiento indicado en la norma NTP 339.183. Esto consiste en que luego de realizar el vaciado de las mezclas, se debe esperar un tiempo de  $24 \text{ h} \pm 8 \text{ h}$  para desmoldar. Posterior al desmoldado, los especímenes fueron sumergidos en un tanque de almacenamiento de agua con cal, a una temperatura de  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , como lo indica la norma NTP 334.077. Las muestras permanecieron en el tanque durante 7, 14 y 28 días, según lo requiera cada ensayo.



**Imagen 12: Curado de adoquines (izq.) y cubos de concreto (der)**

**Fuente: Elaboración propia**

Cuando los especímenes requirieron ser ensayados, fueron retirados del tanque y se pusieron a secar al ambiente, hasta que se alcanzó un estado superficialmente seco.

#### 2.3.5. Etapa 5: Ensayos para determinar los indicadores

##### 2.3.5.1. Indicador N°1: Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 399.604)

El ensayo para determinar la resistencia a la compresión de cada tipo de muestra fue llevado a cabo siguiendo la metodología que indica la norma NTP 399.604 Métodos de

muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Las unidades fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado. El procedimiento fue el siguiente:

- Se seleccionaron 3 unidades por cada tipo de mezcla, resultando un total de 15 unidades por cada uno de los días que fueron ensayados.
- Fueron retirados del tanque de almacenamiento y se pusieron a secar al ambiente, hasta que se alcanzó un estado superficialmente seco, libres de humedad visible o manchas de humedad.
- Se registraron los pesos y las dimensiones de los adoquines. Con el vernier y la regla milimetrada se registraron sus medidas.
- Se ensayaron los especímenes a compresión axial simple, incrementando la carga gradualmente a una velocidad constante hasta alcanzar el estado de falla. Se registraron las cargas máximas en kN aplicadas a cada unidad.
- Se calcularon las resistencias a la compresión como la relación entre la carga máxima aplicada a la unidad y el área de la sección de la unidad.



**Imagen 13 Adoquín luego de alcanzar su resistencia máxima**

Fuente: Propia

**Ecuación 13:**

*Resistencia a la compresión*

$$f'c = \frac{P_{\text{máx}}}{A}$$

**Donde:**

- **f'c:** Resistencia a la compresión de la unidad (kgf/cm<sup>2</sup>)
  - **P<sub>máx</sub>:** Carga máxima aplicada a la unidad (kgf)
  - **A:** Área de la sección de la unidad (cm<sup>2</sup>)
- Una vez calculadas las resistencias, se promedian los valores de 3 unidades por cada tipo.

**Tabla 34**

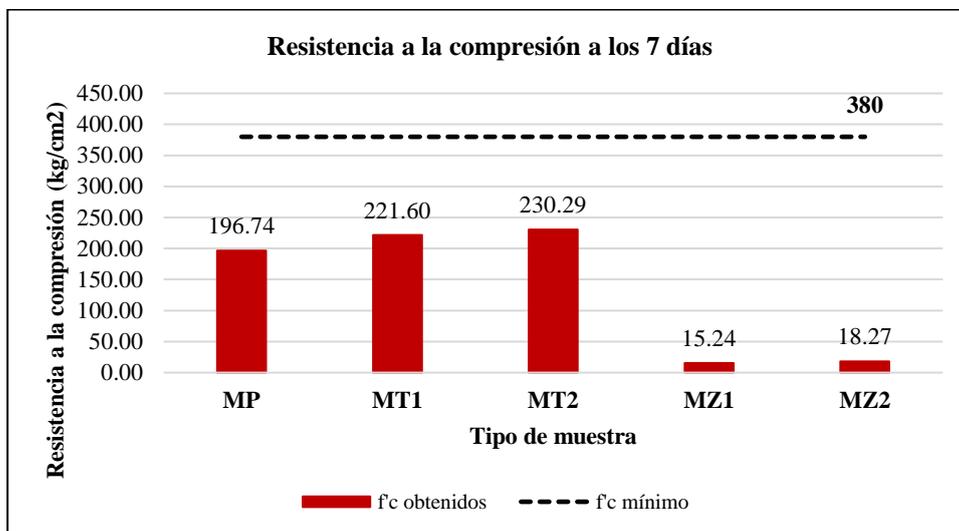
*Resistencia a la compresión a los 7 días*

N° muestra	Ancho (cm)	Longitud (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
MP - 1	10	20	8	39483.41	200.00	197.42	196.74
MP - 2	10	20	8	36067.36	200.00	180.34	
MP - 3	10	20	8	42491.57	200.00	212.46	
MT1 - 1	10	20	8	44480.02	200.00	222.40	221.60
MT1 - 2	10	20	8	38759.41	200.00	193.80	
MT1 - 3	10	20	8	49721.36	200.00	248.61	
MT2 - 1	10	20	8	45805.65	200.00	229.03	230.29
MT2 - 2	10	20	8	44306.67	200.00	221.53	
MT2 - 3	10	20	8	48059.23	200.00	240.30	
MZ1 - 1	10	20	8	2916.34	200.00	14.58	15.24
MZ1 - 2	10	20	8	3212.06	200.00	16.06	
MZ1 - 3	10	20	8	3018.31	200.00	15.09	
MZ2 - 1	10	20	8	3619.94	200.00	18.10	18.27
MZ2 - 2	10	20	8	3446.59	200.00	17.23	
MZ2 - 3	10	20	8	3895.25	200.00	19.48	

Fuente: Propia

**Figura 3**

*Resistencia a la compresión a los 7 días*



Fuente: Propia

**Tabla 35**

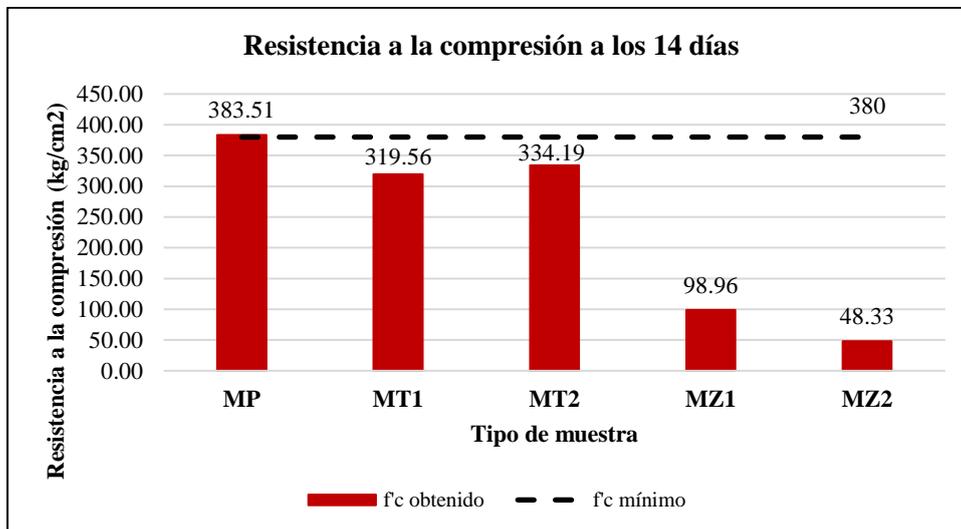
*Resistencia a la compresión a los 14 días*

N° muestra	Ancho (cm)	Longitud (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
MP - 1	10	20	8	72174.37	200.00	360.87	383.51
MP - 2	10	20	8	80087.24	200.00	400.44	
MP - 3	10	20	8	77843.90	200.00	389.22	
MT1 - 1	10	20	8	62680.96	200.00	313.40	319.56
MT1 - 2	10	20	8	65301.59	200.00	326.51	
MT1 - 3	10	20	8	63751.64	200.00	318.76	
MT2 - 1	10	20	8	70532.65	200.00	352.66	334.19
MT2 - 2	10	20	8	65862.42	200.00	329.31	
MT2 - 3	10	20	8	64118.74	200.00	320.59	
MZ1 - 1	10	20	8	22178.48	200.00	110.89	98.96
MZ1 - 2	10	20	8	19007.21	200.00	95.04	
MZ1 - 3	10	20	8	18191.45	200.00	90.96	
MZ2 - 1	10	20	8	9126.32	200.00	45.63	48.33
MZ2 - 2	10	20	8	9014.15	200.00	45.07	
MZ2 - 3	10	20	8	10859.81	200.00	54.30	

Fuente: Propia

**Figura 4**

*Resistencia a la compresión a los 14 días*



Fuente: Propia

**Tabla 36**

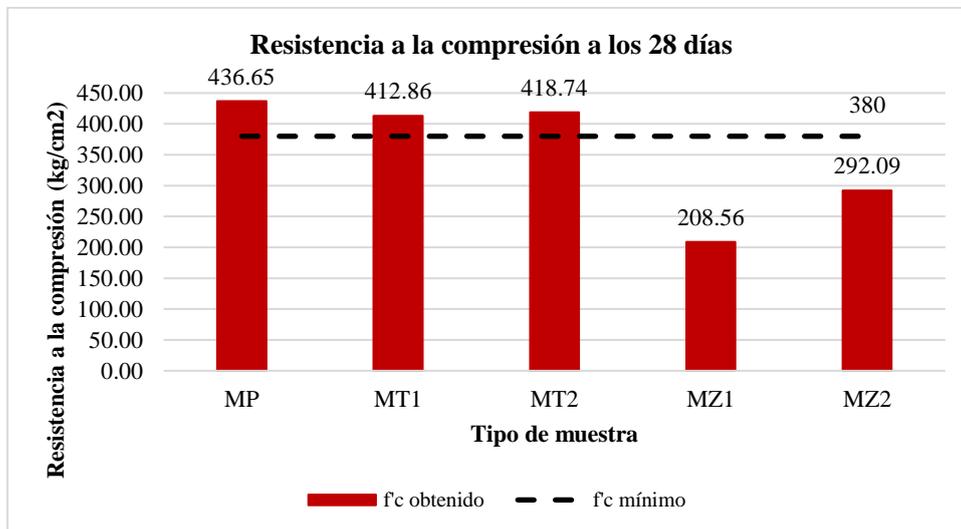
*Resistencia a la compresión a los 28 días*

N° muestra	Ancho (cm)	Longitud (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
MP - 1	10	20	8	92843.69	200.00	464.22	
MP - 2	10	20	8	84278.21	200.00	421.39	436.65
MP - 3	10	20	8	84869.63	200.00	424.35	
MT1 - 1	10	20	8	80637.88	200.00	403.19	
MT1 - 2	10	20	8	81494.42	200.00	407.47	412.86
MT1 - 3	10	20	8	85583.42	200.00	427.92	
MT2 - 1	10	20	8	82045.06	200.00	410.23	
MT2 - 2	10	20	8	82238.81	200.00	411.19	418.74
MT2 - 3	10	20	8	86960.02	200.00	434.80	
MZ1 - 1	10	20	8	43989.86	200.00	219.95	
MZ1 - 2	10	20	8	40339.33	200.00	201.70	208.56
MZ1 - 3	10	20	8	40808.39	200.00	204.04	
MZ2 - 1	10	20	8	56797.29	200.00	283.99	
MZ2 - 2	10	20	8	60335.65	200.00	301.68	292.09
MZ2 - 3	10	20	8	58122.90	200.00	290.61	

Fuente: Propia

**Figura 5**

*Resistencia a la compresión a los 28 días*



Fuente: Propia

### 2.3.5.2. Indicador N°2: Ensayo de absorción (NTP 399.604)

El ensayo de absorción se realizó según lo indica la norma NTP 399.604.

- La cantidad de elementos que se elaboran para este ensayo según norma son de 3 unidades para cada porcentaje de adición.
- Las unidades primero deben ser saturadas, para esto se sumergieron en agua a temperatura entre 15.6 °C a 26.7 °C por 24 horas, posteriormente las unidades son pesadas y se registran sus pesos sumergidos.
- Luego se retiraron del agua, se dejaron drenando sobre una malla metálica por 1 minuto y se retira el agua superficial con ayuda de un paño. Las unidades se vuelven a pesar y se registran sus pesos saturados.
- Finalmente, los especímenes se secan en un horno por no menos de 24 horas. Se registran los pesos de los especímenes secados en una ficha técnica.

- Para determinar la absorción de los adoquines, se realiza el siguiente cálculo:



**Imagen 14** Secado en el horno de los adoquines

Fuente: Propia

#### **Ecuación 14**

*Absorción de los adoquines*

$$Abs = \frac{Ws - Wd}{Wd} \times 100$$

**Donde:**

- Abs: Absorción del adoquín (%)
- Ws: Peso saturado del espécimen (kg)
- Wd: Peso seco al horno del espécimen (kg)

**Tabla 37**

*Absorción de las muestras MP*

<b>Identificación</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Unidad</b>
Peso saturado (Ws)	3697	3751	3761	g
Peso seco al horno (Wd)	3552	3568	3675	g
Absorción después de la inmersión	4.08	5.13	2.34	%
<b>Promedio</b>		<b>3.85</b>		<b>%</b>

Fuente: Propia

**Tabla 38**

*Absorción de las muestras MT1*

<b>Identificación</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Unidad</b>
Peso saturado (Ws)	3738	3784	3767	g
Peso seco al horno (Wd)	3683	3737	3713	g
Absorción después de la inmersión	1.49	1.26	1.45	%
<b>Promedio</b>		<b>1.40</b>		<b>%</b>

Fuente: Propia

**Tabla 39**

*Absorción de las muestras MT2*

<b>Identificación</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Unidad</b>
Peso saturado (Ws)	3670	3707	3779	g
Peso seco al horno (Wd)	3566	3590	3656	g
Absorción después de la inmersión	2.92	3.26	3.36	%
<b>Promedio</b>		<b>3.18</b>		<b>%</b>

Fuente: Propia

**Tabla 40**

*Absorción de las muestras MZ1*

Identificación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Unidad
Peso saturado (Ws)	3748.5	3635.30	3705.80	g
Peso seco al horno (Wd)	3650.9	3552.70	3626.50	g
Absorción después de la inmersión	2.67	2.32	2.19	%
<b>Promedio</b>		<b>2.39</b>		<b>%</b>

Fuente: Propia

**Tabla 41**

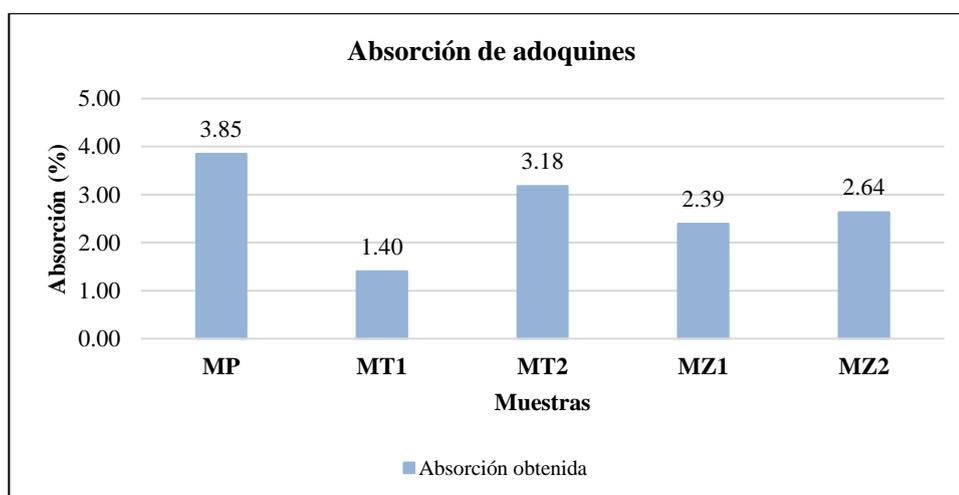
*Absorción de las muestras MZ2*

Identificación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Unidad
Peso saturado (Ws)	3667.6	3653	3668.2	g
Peso seco al horno (Wd)	3580	3563.50	3562.70	g
Absorción después de la inmersión	2.44	2.51	2.96	%
<b>Promedio</b>		<b>2.64</b>		<b>%</b>

Fuente: Propia

**Figura 6**

*Absorciones promedio*



Fuente: Propia

### 2.3.5.3. Indicador N°3: Ensayo de resistencia a la flexotracción (NTC 2017)

- Cada unidad a ensayar se debe retirar del tanque de curado y dejar escurrir por 1 minuto sobre una malla metálica. Posteriormente se debe secar con un paño seco la superficie, para que cada espécimen se encuentre en un estado saturado superficialmente seco.
- Luego se coloca cada unidad en la máquina de ensayo con la superficie de apoyo hacia abajo, alineándolo de tal manera que el elemento superior de aplicación de la carga coincida con el eje menor de la unidad y los dos elementos inferiores de apoyo coincida con una línea paralela a 10 mm hacia dentro de los lados menores de la unidad.



**Imagen 15 Ensayo de flexotracción**

Fuente: Propia

Para el cálculo del módulo de rotura se emplea la siguiente ecuación:

### Ecuación 15

*Módulo de rotura*

$$Mr = \frac{C_{m\acute{a}x} \times l}{2b \times h^2}$$

Donde:

- Mr: Módulo de rotura (MPa)
- C<sub>máx</sub>: Carga máxima (N)
- l: Longitud de la unidad (mm)
- b: Ancho de la unidad (mm)
- h: Espesor de la unidad (mm)

**Tabla 42**

*Resistencia a la flexotracción de la muestra MP*

Identificación	Largo	Ancho	Altura	Carga	Mr
MP-1	20	10	8	2437.1	114.2
MP-2	20	10	8	2151.6	101.9
MP-3	20	10	8	2080.2	98.5
<b>Promedio</b>					<b>104.9</b>

Fuente: Propia

**Tabla 43**

*Resistencia a la flexotracción de la muestra MT1*

Identificación	Largo	Ancho	Altura	Carga	Mr
MP-1	20.1	9.9	7.9	2049.6	100
MP-2	20.2	10.1	8.2	2192.4	97.8
MP-3	20.0	10.1	8.1	2161.8	97.9
<b>Promedio</b>					<b>98.6</b>

Fuente: Propia

**Tabla 44**

*Resistencia a la flexotracción de la muestra MT2*

<b>Identificación</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Altura</b>	<b>Carga</b>	<b>Mr</b>
MP-1	20.1	10.0	8.1	2008.8	92.3
MP-2	20.2	10.0	8.0	2039.4	96.6
MP-3	20.0	10.1	8.0	2070.0	96.1
<b>Promedio</b>					<b>95.0</b>

Fuente: Propia

**Tabla 45**

*Resistencia a la flexotracción de la muestra MZ1*

<b>Identificación</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Altura</b>	<b>Carga</b>	<b>Mr</b>
MP-1	20.0	10.1	8.0	1917.0	89.0
MP-2	20.3	10.1	8.1	1917.0	88.1
MP-3	20.1	10.0	8.0	1947.6	91.8
<b>Promedio</b>					<b>89.6</b>

Fuente: Propia

**Tabla 46**

*Resistencia a la flexotracción de la muestra MZ2*

<b>Identificación</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Altura</b>	<b>Carga</b>	<b>Mr</b>
MP-1	20.2	10.1	7.9	2019.0	97.1
MP-2	20.3	10.2	8.0	2059.8	96.1
MP-3	20.0	10.0	8.1	2233.1	102.1
<b>Promedio</b>					<b>98.4</b>

Fuente: Propia

#### 2.3.5.4. Indicador N°4: Ensayo de actividad fotocatalítica (UNI 11259)

El ensayo para determinar la actividad fotocatalítica de las muestras fue llevado a cabo siguiendo lo establecido en la norma italiana UNI 11259 que define un ensayo para determinar la actividad fotocatalítica de aglutinantes hidráulicos por el método de la rodamina. Este ensayo establece un método colorimétrico en el cual se aplica una solución de rodamina B con determinada concentración a los aglutinantes hidráulicos, a estas muestras se les realiza mediciones de color expresadas en coordenadas CIE  $L^*a^*b^*$ . El objetivo consiste en monitorear la evolución colorimétrica a lo largo del tiempo (24 horas) de las muestras tratadas con un colorante orgánico, bajo radiación UV.

Para llevar a cabo este ensayo se siguió el siguiente procedimiento:

- Se elaboraron 4 muestras de concreto 8 cm x 8 cm x 8cm para cada tipo de adición, resultando en total 20 muestras cúbicas. Estas deben curarse durante 7 días y posteriormente dejarse al ambiente durante otros 7 días.



**Imagen 16: Muestras ensayadas**

Fuente: Propia

- Se preparó una solución de rodamina B solubilizada en agua a una concentración de  $0,1 \text{ g/L} \pm 0,005 \text{ g/l}$ .



**Imagen 17: Solución de rodamina B con agua destilada**

Fuente: Propia

- Se delimitó un área circular de aproximadamente  $22 \pm 2 \text{ cm}^2$  en la cara superior de cada muestra y se aplicó  $0,5 \text{ ml}$  de solución en el área demarcada.



**Imagen 18: Muestras marcadas**

Fuente: Propia

- Estas muestras fueron colocadas en una caja de vidrio, de dimensiones 50 cm x 40x cm x 50 cm.



**Imagen 19 Cámara de vidrio**

Fuente: Propia

- Sobre el recipiente de vidrio se colocó una fuente de luz UV-A con un nivel de irradiancia de  $(3,75 \pm 0,25)$  W/m<sup>2</sup>. La fuente escogida fue un tubo de luz fluorescente UV-A Philips Actinic 15W T8.



**Imagen 20 Fluorescente UV-A Philips Actinic 15W T8**

Fuente: Propia

- El recipiente con las muestras fue colocado dentro de una habitación oscura, solo con la fuente de luz UV-A encendida durante 24 horas. Dentro de este lapso se realizaron mediciones en 3 tiempos.
- Para realizar la toma de las mediciones colorimétricas se utilizó un colorímetro espectrofotómetro, específicamente el modelo PCE – XXM 20.



**Imagen 21 Colorímetro PCE XXM-20**

Fuente: Propia

- La primera medición corresponde al parámetro  $a^*(0h)$ , es decir inmediatamente antes de la exposición de la muestra a la luz ultravioleta. La medición debe tomarse en tres puntos diferentes de la muestra y promediarse el valor obtenido.
- La segunda medición corresponde al parámetro  $a^*(4h)$ , luego de 4 horas de exposición. De igual manera se toman mediciones en 3 puntos distintos y se promedian

- La última medición se realiza a las 24 horas de exposición, corresponde al parámetro  $a^*(24h)$  y se realiza el mismo procedimiento
- El resultado de la prueba se define como el promedio aritmético de las mediciones colorimétricas realizadas en una serie de al menos 3 especímenes.
- El material ensayado se considera fotocatalítico contra la rodamina solo si se cumplen los siguientes requisitos:

$$R_4 > 20\%$$

$$R_{24} > 50\%$$

Donde:

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

$$R_{24} = \frac{a^*(0h) - a^*(24h)}{a^*(0h)} \times 100$$

Tabla 47

Coordenadas  $a^*$  en muestras MP

Tiempo	0h				4h				24h			
	Coordenada $a^*$				Coordenada $a^*$				Coordenada $a^*$			
N° Muestra	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom
MP-1	52.22	52.66	50.50	<b>51.79</b>	51.44	47.69	48.77	<b>49.30</b>	46.78	42.15	44.42	<b>44.45</b>
MP-2	46.40	42.34	43.71	<b>44.15</b>	41.54	42.19	43.53	<b>42.42</b>	35.69	36.23	37.23	<b>36.38</b>
MP-3	46.68	43.44	41.41	<b>43.84</b>	41.40	40.58	41.56	<b>41.18</b>	36.96	37.32	35.88	<b>37.14</b>
MP-4	49.32	46.11	45.07	<b>46.83</b>	39.70	40.02	42.55	<b>40.76</b>	37.64	34.53	36.13	<b>36.10</b>

Fuente: Propia

**Tabla 48**

*Factores R4 y R24 de la muestra MP*

N° Muestra	a*(0h)	a*(4h)	R4	a*(24h)	R24
1	51.79	49.30	4.81%	44.45	14.18%
2	44.15	42.42	3.92%	36.38	17.59%
3	43.84	41.18	6.07%	37.14	15.29%
4	46.83	40.76	12.98%	36.10	22.92%
<b>Promedio</b>			<b>4.94%</b>		<b>15.69%</b>

Fuente: Propia

**Tabla 49**

*Coordenadas a\* en muestras MT1*

Tiempo	0h				4h				24h			
	Coordenada a*				Coordenada a*				Coordenada a*			
N° Muestra	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom
MP-1	44.76	47.72	48.01	<b>46.83</b>	35.37	34.97	36.31	<b>35.55</b>	26.66	23.95	22.71	<b>24.44</b>
MP-2	51.27	54.21	52.87	<b>52.78</b>	37.53	39.14	37.31	<b>37.99</b>	24.18	25.40	26.46	<b>25.35</b>
MP-3	51.95	52.91	50.34	<b>51.73</b>	39.20	36.22	37.82	<b>37.75</b>	25.70	23.24	23.88	<b>24.27</b>
MP-4	48.49	47.45	45.28	<b>47.07</b>	38.87	36.88	34.37	<b>36.71</b>	20.30	20.98	20.02	<b>20.43</b>

Fuente: Propia

**Tabla 50**

*Factores R4 y R24 de la muestra MT1*

N° Muestra	a*(0h)	a*(4h)	R4	a*(24h)	R24
1	46.83	35.55	24.09%	24.44	47.81%
2	52.78	37.99	28.02%	25.35	51.98%
3	51.73	37.75	27.04%	24.27	53.08%
4	47.07	36.71	22.02%	20.43	56.59%
<b>Promedio</b>			<b>26.38%</b>		<b>50.96%</b>

Fuente: Propia

**Tabla 51**

*Coordenadas a\* en muestras MT2*

Tiempo	0h				4h				24h			
	Coordenada a*				Coordenada a*				Coordenada a*			
N° Muestra	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom
MP-1	56.38	53.65	54.49	<b>54.84</b>	35.20	33.94	31.98	<b>33.71</b>	18.22	12.21	17.64	<b>16.02</b>
MP-2	48.8	47.91	47.06	<b>47.92</b>	31.00	31.47	31.34	<b>31.27</b>	12.45	13.70	16.85	<b>14.33</b>
MP-3	55.47	56.64	56.05	<b>56.05</b>	36.88	34.16	33.81	<b>34.95</b>	16.12	16.17	14.14	<b>15.48</b>
MP-4	56.12	56.37	58.23	<b>56.91</b>	37.77	35.08	37.74	<b>36.86</b>	12.27	15.88	16.56	<b>14.90</b>

Fuente: Propia

**Tabla 52**

*Factores R4 y R24 de la muestra MT2*

N° Muestra	a*(0h)	a*(4h)	R4	a*(24h)	R24
1	54.84	33.71	38.54%	16.02	70.78%
2	47.92	31.27	34.75%	14.33	70.09%
3	56.05	34.95	37.65%	15.48	72.39%
4	56.91	36.86	35.22%	14.90	73.81%
<b>Promedio</b>			<b>36.98%</b>		<b>71.09%</b>

Fuente: Propia

**Tabla 53**

*Coordenadas a\* en muestras MZI*

Tiempo	0h				4h				24h			
	Coordenada a*				Coordenada a*				Coordenada a*			
N° Muestra	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom
MP-1	41.22	41.03	41.18	<b>41.14</b>	29.13	30.65	26.88	<b>28.89</b>	19.86	19.19	19.23	<b>19.43</b>
MP-2	43.19	41.12	43.17	<b>42.49</b>	28.48	29.84	28.39	<b>28.90</b>	18.31	17.62	18.40	<b>18.11</b>
MP-3	46.5	46.2	43.25	<b>45.32</b>	28.34	30.32	28.51	<b>29.06</b>	17.35	19.42	17.47	<b>18.08</b>
MP-4	43.66	43.22	40.59	<b>42.49</b>	27.03	27.37	28.37	<b>27.59</b>	16.55	17.45	15.63	<b>16.54</b>

Fuente: Propia

**Tabla 54**

*Factores R4 y R24 de la muestra MZ1*

N° Muestra	a*(0h)	a*(4h)	R4	a*(24h)	R24
1	41.14	28.89	29.79%	19.43	52.78%
2	42.49	28.90	31.98%	18.11	57.38%
3	45.32	29.06	35.88%	18.08	60.10%
4	42.49	27.59	35.07%	16.54	61.07%
<b>Promedio</b>			<b>32.55%</b>		<b>56.76%</b>

Fuente: Propia

**Tabla 55**

*Coordenadas a\* en muestras MZ2*

Tiempo	0h				4h				24h			
	Coordenada a*				Coordenada a*				Coordenada a*			
N° Muestra	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom	1	2	3	Prom
49.27	49.66	50.05	49.66	<b>28.90</b>	28.35	29.48	28.91	<b>17.93</b>	17.57	16.28	17.26	<b>49.27</b>
40.63	40.49	39.34	40.15	<b>27.79</b>	28.43	29.61	28.61	<b>15.86</b>	16.10	16.27	15.96	<b>40.63</b>
49..25	48.94	47.3	48.12	<b>29.50</b>	30.64	30.93	30.36	<b>16.44</b>	15.77	16.47	16.23	<b>49..25</b>
47.38	48.25	47.76	47.80	<b>28.04</b>	26.85	27.96	27.62	<b>16.64</b>	16.74	14.51	16.08	<b>47.38</b>

Fuente: Propia

**Tabla 56**

*Factores R4 y R24 de la muestra MZ2*

N° Muestra	a*(0h)	a*(4h)	R4	a*(24h)	R24
1	49.66	28.91	41.78%	17.26	65.24%
2	40.15	28.61	28.75%	15.96	60.24%
3	48.12	30.36	36.91%	16.23	66.28%
4	47.80	27.62	42.22%	16.08	66.36%
<b>Promedio</b>			<b>35.82%</b>		<b>63.92%</b>

Fuente: Propia

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Resultados de los ensayos

#### 3.1.1. Indicador N°1: Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 399.604)

Se ensayaron las muestras a los 7, 14 y 28 días. Los datos obtenidos para cada tipo de muestra se presentan en las siguientes tablas:

**Tabla 57**

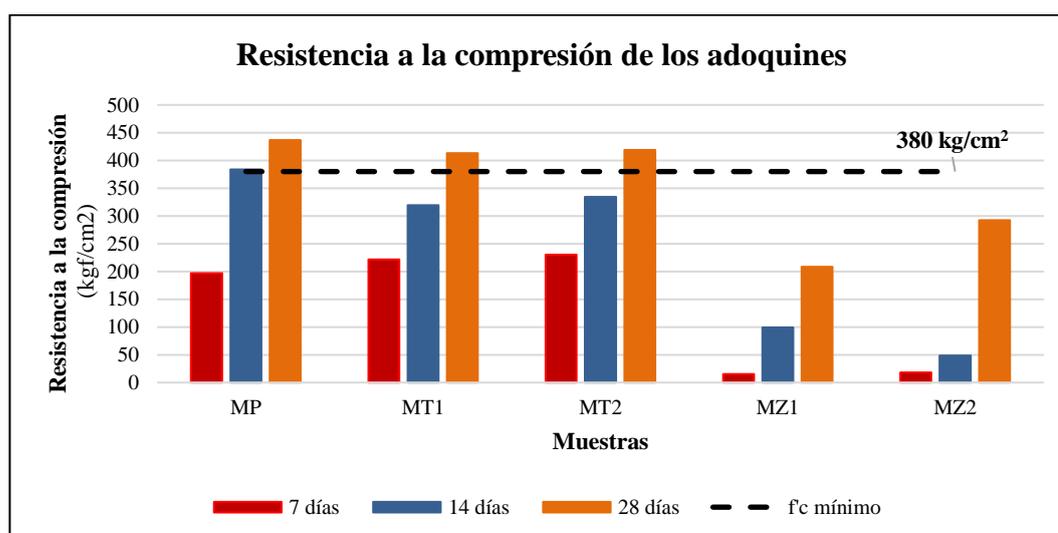
*Resistencia promedio a la compresión por edades*

Muestras	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )					
	7 días	Influencia	14 días	Influencia	28 días	Influencia
MP	196.74	0%	383.51	0%	436.65	0%
MT1	221.60	+ 13%	319.56	- 17%	412.86	-5%
MT2	230.29	+ 17%	334.19	- 13%	418.74	-4%
MZ1	15.24	- 92%	98.96	-74%	208.56	-52%
MZ2	18.27	- 91%	48.33	-87%	292.09	-33%

Fuente: Propia

**Figura 7**

*Resistencia promedio a la compresión por edades*



Fuente: Propia

Según lo observado en la tabla 58 y la figura 7, se observa que las dosificaciones con adición de  $\text{TiO}_2$ , siendo estas las muestras MT1 y MT2, incrementaron la resistencia a la compresión en edades tempranas (7 días). Las muestras MT2 tuvieron una resistencia promedio de  $230.29 \text{ kgf/cm}^2$ , resultando un 17% mayor que la resistencia de la muestra patrón MP, que obtuvo  $196.74 \text{ kgf/cm}^2$ . Por el contrario, las adiciones con  $\text{ZnO}$  redujeron drásticamente la resistencia, la que peor desempeño mostró fue la muestra MZ1. Esta afectó la resistencia en 92%, alcanzando un valor promedio de solo  $28.27 \text{ kgf/cm}^2$ . Ambas pueden explicarse en el efecto que presentan ambas adiciones en la fragua. El dióxido de titanio acelera el fraguado del concreto, desarrollando su resistencia más rápido. Por otra parte, el óxido de zinc retarda el fraguado del concreto, en la medida que este sea añadido la mezcla tardará más tiempo en endurecer. Es por ello que las muestras obtuvieron valores tan bajos, ya que estas tuvieron que curarse días después que los demás, al fraguar tiempo después.

En cuanto a las resistencias a los 14 días, se observó que la muestra patrón desarrolló mayor resistencia que las demás muestras adicionadas, con  $383.51 \text{ kgf/cm}^2$ . Las adiciones con  $\text{TiO}_2$  obtuvieron valores mayores ( $319.56 \text{ kgf/cm}^2$  y  $334.19 \text{ kgf/cm}^2$ ) frente a las adiciones con  $\text{ZnO}$  ( $98.96 \text{ kgf/cm}^2$  y  $48.33 \text{ kgf/cm}^2$ ), que aún resultaron muy bajos. A los 28 días se observó, que las muestras con adición de  $\text{TiO}_2$ , alcanzaron valores muy similares a la muestra MP, que fue la que obtuvo mayor valor con  $436.65$  c de resistencia. La muestra MT2 fue la que obtuvo la mejor resistencia después de la muestra patrón, con  $418.74 \text{ kgf/cm}^2$ , siendo 4% más bajo. Las adiciones con  $\text{ZnO}$  lograron desarrollar más resistencia pero sus valores siguieron estando bajos, hasta 52% menos para la muestra MZ1.

### 3.1.2. Indicador N°2: Ensayo de absorción (NTP 399.604)

Los resultados de los ensayos de absorción para los adoquines de concreto se muestran a continuación:

**Tabla 58:**

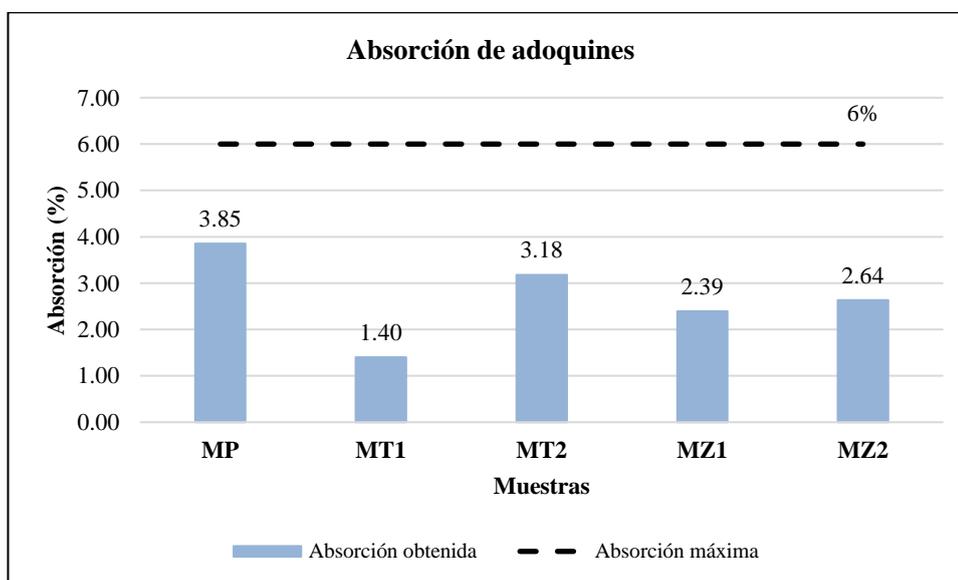
*Absorción de los adoquines*

Muestra	Absorción	Unidad	Influencia
MP	3.85	%	0%
MT1	1.40	%	-64%
MT2	3.18	%	-17%
MZ1	2.39	%	-38%
MZ2	2.64	%	-32%

Fuente: Propia

**Figura 8**

*Absorción de los adoquines*



Fuente: Propia

Según lo observado en la tabla 59 y la figura 8, se observó que en ambos casos, para las dosificaciones con adición de TiO<sub>2</sub> y ZnO, la absorción disminuyó con respecto a la muestra

patrón. Además, a medida que el porcentaje de adición aumentaba la absorción también lo hacía. La muestra MT1 fue la que obtuvo el valor más bajo, 1.40%, reduciéndose en 64%. Por otra parte, la muestra MT2 aumentó hasta 3.18%, un 17% menos que la muestra patrón con 3.85% de absorción, acercándose más a este.

### 3.1.3. Indicador N°3: Ensayo de resistencia a la flexotracción (NTC 2017)

Los resultados de los ensayos de flexotracción para los adoquines de concreto se muestran a continuación:

**Tabla 59**

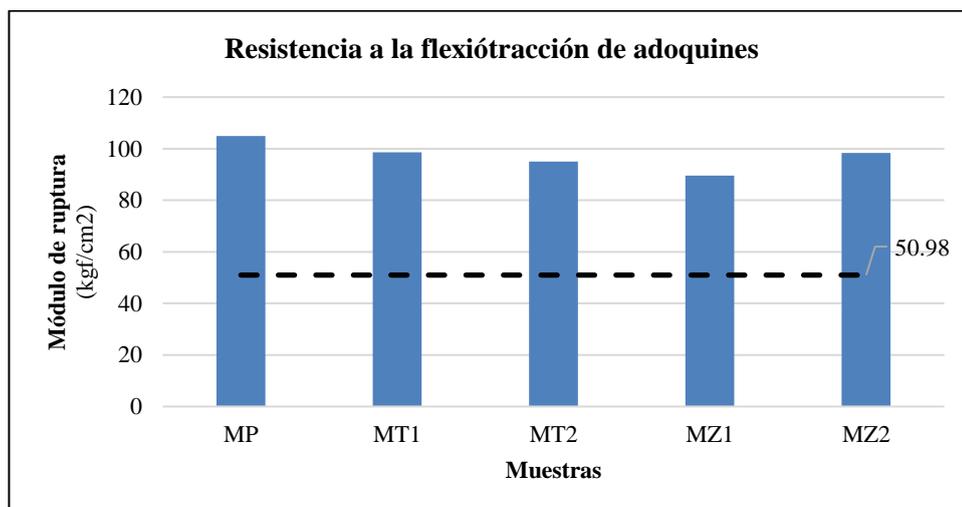
*Resistencia a la flexotracción promedio de los adoquines*

Muestra	Mr	Mr mínimo	Unidad	Influencia
MP	104.9	51	kgf/cm <sup>2</sup>	0,0%
MT1	98.6	51	kgf/cm <sup>2</sup>	-6,0%
MT2	95.0	51	kgf/cm <sup>2</sup>	-9,4%
MZ1	89.6	51	kgf/cm <sup>2</sup>	-14,6%
MZ2	98.4	51	kgf/cm <sup>2</sup>	-6,2%

Fuente: Propia

**Figura 9**

*Resistencia a la flexotracción promedio de los adoquines*



Fuente: Propia

Según lo observado en la tabla 60 y la figura 9, se notó que ambas adiciones afectaron las resistencias a la flexotracción. Sin embargo, se observó que el aumento de TiO<sub>2</sub> disminuía aún más la resistencia pero el aumento de ZnO la aumentaba. El valor más bajo la obtuvo la muestra MZ1 con 89.6 kgf/cm<sup>2</sup>, un 14.6% menos que la muestra MP que obtuvo 104.9 kgf/cm<sup>2</sup>, siendo esta la de mayor valor. Por otro lado, las adiciones con TiO<sub>2</sub> no afectaron en demasía la resistencia, disminuyendo en 6.0% y 9.4% las resistencias para las muestras MT1 y MT2 respectivamente.

#### 3.1.4. Indicador N°4: Ensayo de actividad fotocatalítica (UNI 11259)

Los resultados del ensayo de actividad fotocatalítica para las probetas de concreto se muestran a continuación:

**Tabla 60**

*Factores R4 y R24 para diferentes adiciones*

Muestra	R0	R4	R4 <sub>min</sub>	R24	R24 <sub>min</sub>
MP	0.00%	4.94%	20%	15.69%	50%
MT1	0.00%	26.38%	20%	50.96%	50%
MT2	0.00%	36.98%	20%	71.09%	50%
MZ1	0.00%	32.55%	20%	56.76%	50%
MZ2	0.00%	35.82%	20%	63.92%	50%

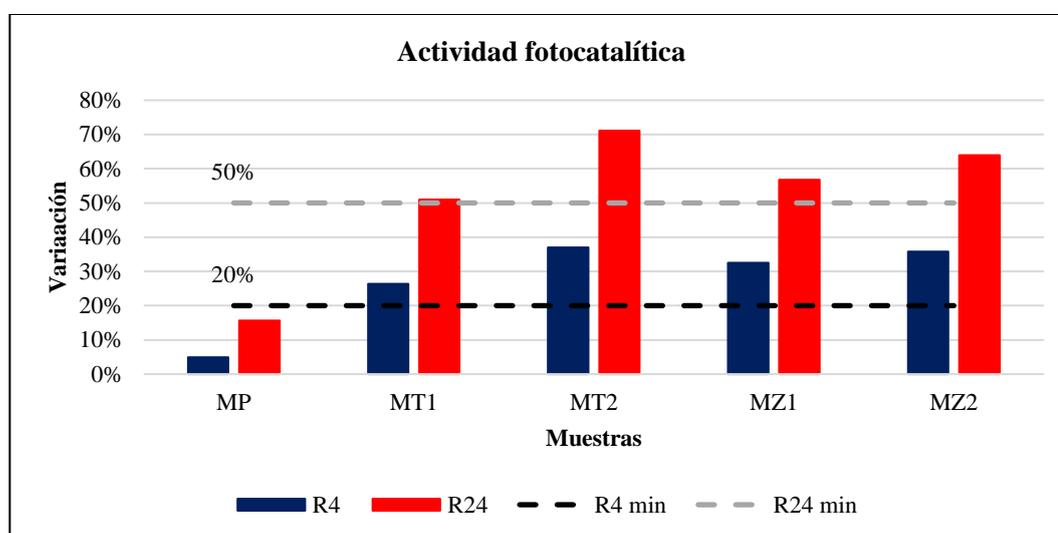
Fuente: Propia

Según lo observado en la tabla 58 y la figura 10, se observó que todas las muestras con adiciones mostraron actividad fotocatalítica al superar el valor mínimo para cada factor, a diferencia de la muestra patrón que no superó ninguno de los límites. Para el factor R4, que

exigía un mínimo de 20%, la muestra patrón obtuvo solo 4.94% mientras que el valor más alto lo obtuvo la muestra MT2 con 36.98%. Para el caso del factor R24, con un valor mínimo de 50%, la muestra con 2.5% de adición de TiO<sub>2</sub> (MT2) obtuvo un valor de 71.9%, el más alto obtenido. Mientras que la muestra MP obtuvo 15.69%, por debajo del límite mínimo.

**Figura 10**

*Factores R4 y R24 para diferentes adiciones*



Fuente: Propia

## 3.2. Análisis de datos

### 3.2.1. Resistencia a la compresión

#### 3.2.1.1. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

Con el fin de validar la hipótesis se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que se cuentan con menos de 50 muestras.

**Tabla 61**

*Prueba de normalidad para la resistencia a la compresión*

<b>Prueba de normalidad</b>				
<b>Días</b>	<b>Muestra</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>		
		<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
<b>7</b>	<b>MP</b>	0,999	3	0,930
	<b>MT1</b>	0,999	3	0,952
	<b>MT2</b>	0,987	3	0,780
	<b>MZ1</b>	0,969	3	0,661
	<b>MZ2</b>	0,983	3	0,751
<b>14</b>	<b>MP</b>	0,941	3	0,532
	<b>MT1</b>	0,989	3	0,800
	<b>MT2</b>	0,935	3	0,508
	<b>MZ1</b>	0,896	3	0,372
	<b>MZ2</b>	0,795	3	0,103
<b>28</b>	<b>MP</b>	0,802	3	0,118
	<b>MT1</b>	0,875	3	0,311
	<b>MT2</b>	0,779	3	0,066
	<b>MZ1</b>	0,844	3	0,226
	<b>MZ2</b>	0,979	3	0,725

Fuente: SSPS

### 3.2.1.2. Análisis de la varianza

*Tabla 62*

*Prueba de homogeneidad de varianzas para la resistencia a la compresión*

<b>Prueba de homogeneidad de varianzas</b>					
		<b>Estadístico de Levene</b>	<b>gl1</b>	<b>gl2</b>	<b>Sig.</b>
<b>Resistencia a la compresión a los 7 días</b>	Se basa en la media	2,523	4	10	0,107
	Se basa en la mediana	2,238	4	10	0,137
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,238	4	3,850	0,232
	Se basa en la media recortada	2,507	4	10	0,109
<b>Resistencia a la compresión a los 14 días</b>	Se basa en la media	2,303	4	10	0,130
	Se basa en la mediana	0,605	4	10	0,668
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,605	4	6,109	0,674
	Se basa en la media recortada	2,119	4	10	0,153
<b>Resistencia a la compresión a los 28 días</b>	Se basa en la media	2,321	4	10	0,128
	Se basa en la mediana	0,194	4	10	0,936
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,194	4	5,403	0,932
	Se basa en la media recortada	1,929	4	10	0,182

Fuente: SSPS

**Tabla 63**

*Prueba ANOVA para la resistencia a la compresión*

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Resistencia a la compresión a los 7 días	Entre grupos	145046,581	4	36261,645	164,692	0,000
	Dentro de grupos	2201,791	10	220,179		
	Total	147248,373	14			
Resistencia a la compresión a los 14 días	Entre grupos	277125,670	4	69281,418	397,290	0,000
	Dentro de grupos	1743,852	10	174,385		
	Total	278869,522	14			
Resistencia a la compresión a los 28 días	Entre grupos	118414,087	4	29603,522	132,279	0,000
	Dentro de grupos	2237,964	10	223,796		
	Total	120652,051	14			

Fuente: SSPS

### 3.2.1.3. Prueba de Tukey

**Tabla 64**

*Prueba de Tukey para la resistencia a la compresión a los 7 días*

Prueba de Tukey							
Variable		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
Resistencia a la compresión a los 7 días	MP	MT1	-24,86333	12,11553	0,310	-64,7365	15,0099
		MT2	-33,54667	12,11553	0,112	-73,4199	6,3265
		MZ1	181,49667*	12,11553	0,000	141,6235	221,3699
		MZ2	178,47000*	12,11553	0,000	138,5968	218,3432
	MT1	MP	24,86333	12,11553	0,310	-15,0099	64,7365
		MT2	-8,68333	12,11553	0,948	-48,5565	31,1899
		MZ1	206,36000*	12,11553	0,000	166,4868	246,2332
		MZ2	203,33333*	12,11553	0,000	163,4601	243,2065
	MT2	MP	33,54667	12,11553	0,112	-6,3265	73,4199
		MT1	8,68333	12,11553	0,948	-31,1899	48,5565
		MZ1	215,04333*	12,11553	0,000	175,1701	254,9165
		MZ2	212,01667*	12,11553	0,000	172,1435	251,8899
MZ1	MP	-181,49667*	12,11553	0,000	-221,3699	-141,6235	
	MT1	-206,36000*	12,11553	0,000	-246,2332	-166,4868	
	MT2	-215,04333*	12,11553	0,000	-254,9165	-175,1701	
	MZ2	-3,02667	12,11553	0,999	-42,8999	36,8465	
MZ2	MP	-178,47000*	12,11553	0,000	-218,3432	-138,5968	
	MT1	-203,33333*	12,11553	0,000	-243,2065	-163,4601	
	MT2	-212,01667*	12,11553	0,000	-251,8899	-172,1435	
	MZ1	3,02667	12,11553	0,999	-36,8465	42,8999	

Fuente: SSPS

**Tabla 65**

*Prueba de Tukey para la resistencia a la compresión a los 14 días*

Prueba de Tukey							
Variable		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
Resistencia a la compresión a los 14 días	MP	MT1	63,95333*	10,78224	0,001	28,4681	99,4386
		MT2	49,32333*	10,78224	0,007	13,8381	84,8086
		MZ1	284,54667*	10,78224	0,000	249,0614	320,0319
		MZ2	335,17667*	10,78224	0,000	299,6914	370,6619
	MT1	MP	-63,95333*	10,78224	0,001	-99,4386	-28,4681
		MT2	-14,63000	10,78224	0,665	-50,1152	20,8552
		MZ1	220,59333*	10,78224	0,000	185,1081	256,0786
		MZ2	271,22333*	10,78224	0,000	235,7381	306,7086
	MT2	MP	-49,32333*	10,78224	0,007	-84,8086	-13,8381
		MT1	14,63000	10,78224	0,665	-20,8552	50,1152
		MZ1	235,22333*	10,78224	0,000	199,7381	270,7086
		MZ2	285,85333*	10,78224	0,000	250,3681	321,3386
	MZ1	MP	-284,54667*	10,78224	0,000	-320,0319	-249,0614
		MT1	-220,59333*	10,78224	0,000	-256,0786	-185,1081
		MT2	-235,22333*	10,78224	0,000	-270,7086	-199,7381
		MZ2	50,63000*	10,78224	0,006	15,1448	86,1152
	MZ2	MP	-335,17667*	10,78224	0,000	-370,6619	-299,6914
		MT1	-271,22333*	10,78224	0,000	-306,7086	-235,7381
		MT2	-285,85333*	10,78224	0,000	-321,3386	-250,3681
		MZ1	-50,63000*	10,78224	0,006	-86,1152	-15,1448

Fuente: SSPS

Tabla 66

Prueba de Tukey para la resistencia a la compresión a los 28 días

Variable		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
Resistencia a la compresión a los 28 días	MP	MT1	23,79333	12,21465	0,354	-16,4061	63,9927
		MT2	17,91333	12,21465	0,603	-22,2861	58,1127
		MZ1	228,09000*	12,21465	0,000	187,8906	268,2894
		MZ2	144,56000*	12,21465	0,000	104,3606	184,7594
	MT1	MP	-23,79333	12,21465	0,354	-63,9927	16,4061
		MT2	-5,88000	12,21465	0,987	-46,0794	34,3194
		MZ1	204,29667*	12,21465	0,000	164,0973	244,4961
		MZ2	120,76667*	12,21465	0,000	80,5673	160,9661
	MT2	MP	-17,91333	12,21465	0,603	-58,1127	22,2861
		MT1	5,88000	12,21465	0,987	-34,3194	46,0794
		MZ1	210,17667*	12,21465	0,000	169,9773	250,3761
		MZ2	126,64667*	12,21465	0,000	86,4473	166,8461
MZ1	MP	-228,09000*	12,21465	0,000	-268,2894	-187,8906	
	MT1	-204,29667*	12,21465	0,000	-244,4961	-164,0973	
	MT2	-210,17667*	12,21465	0,000	-250,3761	-169,9773	
	MZ2	-83,53000*	12,21465	0,000	-123,7294	-43,3306	
MZ2	MP	-144,56000*	12,21465	0,000	-184,7594	-104,3606	
	MT1	-120,76667*	12,21465	0,000	-160,9661	-80,5673	
	MT2	-126,64667*	12,21465	0,000	-166,8461	-86,4473	
	MZ1	83,53000*	12,21465	0,000	43,3306	123,7294	

Fuente: SSPS

### 3.2.2. Absorción

#### 3.2.2.1. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

Con el fin de validar la hipótesis se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que se cuentan con menos de 50 muestras.

*Tabla 67*

*Prueba de normalidad para la absorción*

Muestra	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
MP	0,980	3	0,729
MT1	0,876	3	0,312
MT2	0,910	3	0,417
MZ1	0,935	3	0,506
MZ2	0,849	3	0,237

Fuente: SSPS

#### 3.2.2.2. Análisis de la varianza

*Tabla 68*

*Prueba de homogeneidad de varianzas para la absorción*

Prueba de homogeneidad de varianzas					
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Absorción	Se basa en la media	4,326	4	10	0,027
	Se basa en la mediana	2,112	4	10	0,154
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,112	4	2,713	0,298
	Se basa en la media recortada	4,159	4	10	0,031

Fuente: SSPS

**Tabla 69**

*Prueba ANOVA para la absorción*

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Absorción	Entre grupos	10,022	4	2,505	5,707	0,012
	Dentro de grupos	4,391	10	0,439		
	Total	14,412	14			

Fuente: SSPS

### 3.2.2.3. Prueba de Tukey

**Tabla 70**

*Prueba de Tukey para la absorción*

Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
Absorción	MP	MT1	2,45000*	0,54102	0,008	0,6695	4,2305
		MT2	0,67000	0,54102	0,731	-1,1105	2,4505
		MZ1	1,45667	0,54102	0,125	-0,3239	3,2372
		MZ2	1,21333	0,54102	0,240	-0,5672	2,9939
	MT1	MP	-2,45000*	0,54102	0,008	-4,2305	-0,6695
		MT2	-1,78000	0,54102	0,050	-3,5605	0,0005
		MZ1	-0,99333	0,54102	0,406	-2,7739	0,7872
		MZ2	-1,23667	0,54102	0,226	-3,0172	0,5439
	MT2	MP	-0,67000	0,54102	0,731	-2,4505	1,1105
		MT1	1,78000	0,54102	0,050	-0,0005	3,5605
		MZ1	0,78667	0,54102	0,611	-0,9939	2,5672
		MZ2	0,54333	0,54102	0,848	-1,2372	2,3239
	MZ1	MP	-1,45667	0,54102	0,125	-3,2372	0,3239
		MT1	0,99333	0,54102	0,406	-0,7872	2,7739
		MT2	-0,78667	0,54102	0,611	-2,5672	0,9939
		MZ2	-0,24333	0,54102	0,990	-2,0239	1,5372
	MZ2	MP	-1,21333	0,54102	0,240	-2,9939	0,5672
		MT1	1,23667	0,54102	0,226	-0,5439	3,0172
		MT2	-0,54333	0,54102	0,848	-2,3239	1,2372
		MZ1	0,24333	0,54102	0,990	-1,5372	2,0239

Fuente: SSPS

### 3.2.3. Resistencia a la Flexotracción

#### 3.2.3.1. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

*Tabla 71*

*Prueba de normalidad para la resistencia a la flexotracción*

Muestra	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
MP	0,902	3	0,392
MT1	0,918	3	0,444
MT2	0,867	3	0,287
MZ1	0,770	3	0,046
MZ2	0,834	3	0,198

Fuente: SSPS

#### 3.2.3.2. Análisis de la varianza

*Tabla 72*

*Prueba de homogeneidad de varianzas para la resistencia a la flexotracción*

Prueba de homogeneidad de varianzas					
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	
Flexotracción	Se basa en la media	5,225	4	10	0,016
	Se basa en la mediana	0,876	4	10	0,512
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,876	4	3,562	0,556
	Se basa en la media recortada	4,612	4	10	0,023

Fuente: SSPS

Tabla 73

Prueba ANOVA para la resistencia a la flexotracción

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Flexotracción	Entre grupos	373,898	4	93,475	5,196	0,016
	Dentro de grupos	179,909	10	17,991		
	Total	553,807	14			

Fuente: SSPS

### 3.2.3.3. Prueba de Tukey

Tabla 74

Prueba de Tukey para la resistencia a la flexotracción

Prueba de Tukey							
Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
Flexotracción	MP	MT1	15,25667*	3,46322	0,009	3,8589	26,6544
		MT2	6,44667	3,46322	0,394	-4,9511	17,8444
		MZ1	6,29333	3,46322	0,415	-5,1044	17,6911
		MZ2	9,88333	3,46322	0,098	-1,5144	21,2811
	MT1	MP	-15,25667*	3,46322	0,009	-26,6544	-3,8589
		MT2	-8,81000	3,46322	0,156	-20,2078	2,5878
		MZ1	-8,96333	3,46322	0,146	-20,3611	2,4344
		MZ2	-5,37333	3,46322	0,556	-16,7711	6,0244
	MT2	MP	-6,44667	3,46322	0,394	-17,8444	4,9511
		MT1	8,81000	3,46322	0,156	-2,5878	20,2078
		MZ1	-0,15333	3,46322	1,000	-11,5511	11,2444
		MZ2	3,43667	3,46322	0,853	-7,9611	14,8344
	MZ1	MP	-6,29333	3,46322	0,415	-17,6911	5,1044
		MT1	8,96333	3,46322	0,146	-2,4344	20,3611
		MT2	0,15333	3,46322	1,000	-11,2444	11,5511
		MZ2	3,59000	3,46322	0,833	-7,8078	14,9878
	MZ2	MP	-9,88333	3,46322	0,098	-21,2811	1,5144
		MT1	5,37333	3,46322	0,556	-6,0244	16,7711
		MT2	-3,43667	3,46322	0,853	-14,8344	7,9611
		MZ1	-3,59000	3,46322	0,833	-14,9878	7,8078

Fuente: SSPS

### 3.2.4. Actividad fotocatalítica

#### 3.2.4.1. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

*Tabla 75*

*Prueba de normalidad para la actividad fotocatalítica*

Prueba de normalidad				
Factor	Muestra	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
R4	MP	0,814	4	0,130
	MT1	0,940	4	0,655
	MT2	0,889	4	0,381
	MZ1	0,928	4	0,584
	MZ2	0,863	4	0,270
R24	MP	0,901	4	0,438
	MT1	0,985	4	0,928
	MT2	0,956	4	0,751
	MZ1	0,915	4	0,507
	MZ2	0,757	4	0,045

Fuente: SSPS

*Tabla 76*

*Prueba de homogeneidad de varianzas para la actividad fotocatalítica*

Prueba de homogeneidad de varianzas					
Factor		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
R4	Se basa en la media	1,490	4	15	0,255
	Se basa en la mediana	0,891	4	15	0,493
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,891	4	6,755	0,518
	Se basa en la media recortada	1,418	4	15	0,276
R24	Se basa en la media	0,431	4	15	0,784
	Se basa en la mediana	0,353	4	15	0,838
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,353	4	12,275	0,837
	Se basa en la media recortada	0,427	4	15	0,787

Fuente: SSPS

**Tabla 77**

*Prueba ANOVA para la actividad fotocatalítica*

ANOVA						
Factor		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
R4	Entre grupos	2555,884	4	638,971	42,599	0,000
	Dentro de grupos	224,995	15	15,000		
	Total	2780,879	19			
R24	Entre grupos	7077,269	4	1769,317	166,318	0,000
	Dentro de grupos	159,573	15	10,638		
	Total	7236,842	19			

Fuente: SPSS

**Tabla 78**

*Prueba de Tukey para el factor R4*

Prueba de Tukey							
Variable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
R4	MP	MT1	-18,34750*	2,73858	0,000	-26,8040	-9,8910
		MT2	-29,59500*	2,73858	0,000	-38,0515	-21,1385
		MZ1	-26,23500*	2,73858	0,000	-34,6915	-17,7785
		MZ2	-30,47000*	2,73858	0,000	-38,9265	-22,0135
	MT1	MP	18,34750*	2,73858	0,000	9,8910	26,8040
		MT2	-11,24750*	2,73858	0,007	-19,7040	-2,7910
		MZ1	-7,88750	2,73858	0,073	-16,3440	0,5690
		MZ2	-12,12250*	2,73858	0,004	-20,5790	-3,6660
	MT2	MP	29,59500*	2,73858	0,000	21,1385	38,0515
		MT1	11,24750*	2,73858	0,007	2,7910	19,7040
		MZ1	3,36000	2,73858	0,737	-5,0965	11,8165
		MZ2	-0,87500	2,73858	0,997	-9,3315	7,5815
	MZ1	MP	26,23500*	2,73858	0,000	17,7785	34,6915
		MT1	7,88750	2,73858	0,073	-0,5690	16,3440
		MT2	-3,36000	2,73858	0,737	-11,8165	5,0965
		MZ2	-4,23500	2,73858	0,550	-12,6915	4,2215
	MZ2	MP	30,47000*	2,73858	0,000	22,0135	38,9265
		MT1	12,12250*	2,73858	0,004	3,6660	20,5790
		MT2	0,87500	2,73858	0,997	-7,5815	9,3315
		MZ1	4,23500	2,73858	0,550	-4,2215	12,6915

Fuente: SPSS

**Tabla 79**

*Prueba de Tukey para el factor R24*

Variable dependiente		Prueba de Tukey			Intervalo de confianza al 95%		
		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Límite inferior	Límite superior	
R24	MP	MT1	-34,87000*	2,30631	0,000	-41,9917	-27,7483
		MT2	-54,27250*	2,30631	0,000	-61,3942	-47,1508
		MZ1	-40,33750*	2,30631	0,000	-47,4592	-33,2158
		MZ2	-47,03500*	2,30631	0,000	-54,1567	-39,9133
	MT1	MP	34,87000*	2,30631	0,000	27,7483	41,9917
		MT2	-19,40250*	2,30631	0,000	-26,5242	-12,2808
		MZ1	-5,46750	2,30631	0,177	-12,5892	1,6542
		MZ2	-12,16500*	2,30631	0,001	-19,2867	-5,0433
	MT2	MP	54,27250*	2,30631	0,000	47,1508	61,3942
		MT1	19,40250*	2,30631	0,000	12,2808	26,5242
		MZ1	13,93500*	2,30631	0,000	6,8133	21,0567
		MZ2	7,23750*	2,30631	0,046	0,1158	14,3592
	MZ1	MP	40,33750*	2,30631	0,000	33,2158	47,4592
		MT1	5,46750	2,30631	0,177	-1,6542	12,5892
		MT2	-13,93500*	2,30631	0,000	-21,0567	-6,8133
		MZ2	-6,69750	2,30631	0,070	-13,8192	0,4242
	MZ2	MP	47,03500*	2,30631	0,000	39,9133	54,1567
		MT1	12,16500*	2,30631	0,001	5,0433	19,2867
		MT2	-7,23750*	2,30631	0,046	-14,3592	-0,1158
		MZ1	6,69750	2,30631	0,070	-0,4242	13,8192

Fuente: SPSS

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusiones

#### 4.1.1. Objetivo específico N°1

- Calcular cómo la adición de TiO<sub>2</sub> y ZnO influye en la resistencia a la compresión de adoquines tipo II, Lima – 2023.

#### **Indicador N°1: Resistencia a la compresión**

Según los resultados de los ensayos mostrados en la tabla 58 y la figura 7, se ha determinado que la dosificación que contiene 2.5% de TiO<sub>2</sub> (MT2) presenta una menor reducción de resistencia a la compresión comparado con la muestra de control (MP), resultando en una disminución de 4%. Mientras que Staub de Melo y Triches (2018), para una mezcla con 3% de adición obtuvo un valor similar a la muestra de referencia siendo un 1% mayor, al aumentar las dosificaciones en 6% las muestras obtuvieron valores que cayeron hasta en 10%. Por otra parte, respecto a las muestras con ZnO, los cuales obtuvieron los valores más bajos, de 33% y 52% para las muestras MZ1 y MZ2 respectivamente. Esto difiere de Anandaraj et al (2021), que a los 28 días obtuvo un valor 17% menor que la muestra de referencia. Los resultados respecto a la adición de TiO<sub>2</sub> son similares porque se utilizan dosificaciones semejantes y respecto al ZnO los resultados son diferentes debido al tamaño de las partículas de la adición (nano-ZnO).

#### 4.1.2. Objetivo específico N°2

Calcular cómo la adición de TiO<sub>2</sub> y ZnO influye en la absorción de adoquines tipo II, Lima – 2023.

### **Indicador N°2: Absorción**

Según los resultados de los ensayos mostrados en la tabla 59 y la figura 8, se determinó que la dosificación MT1 es la que demuestra la mayor disminución de la absorción de los adoquines al disminuir el valor de la muestra de referencia en 64%. Este es un valor mucho mayor que el obtenido por Jalal, Fathi y Farzad (2013), que para dosificaciones de 1% y 2%, obtuvieron reducciones de 5.7% y 11.4% respectivamente. En cuanto a las adiciones de óxido de zinc, ambas adiciones provocaron una disminución similar en la absorción, siendo la muestra MZ1 la que obtuvo la mayor reducción, obteniendo 38% menos absorción.

#### **4.1.3. Objetivo específico N°3**

Calcular cómo la adición de TiO<sub>2</sub> y ZnO influye en la resistencia a la flexotracción de adoquines tipo II, Lima – 2023.

### **Indicador N°3: Resistencia a la flexotracción**

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 60 y la figura 9, se ha determinado que la muestra MT1 es la que muestra la menor reducción de la resistencia a la flexotracción, alcanzando un valor 98.6 kg/cm<sup>2</sup>, siendo un 6% menor que la muestra patrón que obtuvo 104.9 kg/cm<sup>2</sup>. Pathak y Vesmawala (2022), obtuvieron para dosificaciones de 1% y 2% de TiO<sub>2</sub>, reducciones de -6.3% y -2.5% respectivamente, resultado similares a los obtenidos en este estudio. Por otra parte, la muestra con 2.5% de ZnO (MZ2) mostró una reducción similar, de 6.2% alcanzando 98,4 kg/cm<sup>2</sup>. Li,

Zhang y Ou (2006) obtuvieron, para dosificaciones de 1% y 3%, un aumento de 0.5% y una reducción de 6.2%. Los valores resultaron similares debido a que las adiciones utilizadas presentan características físicas y químicas similares.

#### 4.1.4. Objetivo específico N°4

Calcular cómo la adición de TiO<sub>2</sub> y ZnO influye en la actividad fotocatalítica de adoquines tipo II, Lima – 2023.

#### **Indicador N°4: Actividad fotocatalítica**

Según lo mostrado en la tabla mostrados en la tabla 61 y la figura 10, se ha determinado que la dosificación con 2.5% de adición de TiO<sub>2</sub> (MT2) es la que presenta un el mayor aumento en actividad fotocatalítica respecto a la muestra patrón (MP), presentando unos factores de actividad de 36.98% y 71.09% a las 4 horas (R4) y 24 horas (R24) respectivamente. Estos valores se asemejan a los obtenidos por Martínez (2019), quien obtuvo para una dosificación de 5%, valores de R4 = 44,24% y R24=76.83%. Mientras que Bernuy y Flores (2020), alcanzaron valores de R4 = 43.95% y R24=67.50% para una dosificación de 5% de TiO<sub>2</sub>, siendo similares igualmente. Los resultados son similares debido a que tanto en las investigaciones mencionadas como este estudio se ha empleado la misma fase de TiO<sub>2</sub>, el rutilo, además de presentar características físicas y químicas similares.

## 4.2. Conclusiones

- Con los cálculos efectuados, se concluye que TiO<sub>2</sub> presenta una ligera influencia negativa en la resistencia a la compresión de los adoquines, MT2, ve disminuir su

resistencia en 4% respecto al patrón como se ve en la tabla 55 y la figura 7. Mientras que la adición del ZnO influye muy negativamente en la resistencia a la compresión puesto que todas estas dosificaciones disminuyen la resistencia, alcanzando a los 28 días con la dosificación MZ1 una disminución de 52% respecto al patrón, situación que se explica por el efecto retardante que presenta el óxido de zinc en el fraguado del concreto. No pudiendo endurecer lo suficiente el concreto durante los primeros días para poder ser curado. La NTP 399.611 exige que los adoquines deben tener una resistencia promedio de 3 unidades de al menos 380 kgf/cm<sup>2</sup>, este valor es superado por la muestra patrón MP y las muestra con adición de TiO<sub>2</sub> de 1.5% y 2.5% (MT1 y MT2), alcanzando valores de 436.25 kgf/cm<sup>2</sup>, 412,86 kgf/cm<sup>2</sup> y 418,74 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Las adiciones con ZnO no lograron alcanzar la resistencia especificada al obtener valores de 208.56 kgf/cm<sup>2</sup> y 292.09 kgf/cm<sup>2</sup>.

- De los cálculos realizados, se concluyó que TiO<sub>2</sub> presenta una influencia positiva en la absorción, esto por demostrar una reducción significativa respecto a la muestra de referencia, disminuyendo en la muestra MT1 hasta 64% alcanzando una absorción de 1.40% respecto al 3.85% de la muestra MP. Por otro lado, se ha determinado que ZnO también influye positivamente en esta propiedad, al lograr disminuir la absorción del agua hasta en 38% para la muestra MZ1. NTP 399.611 señala que los adoquines deben tener como máximo una absorción de agua de 6%. Este valor no es superado por ninguna muestra, incluyendo tanto la muestra patrón como las adiciones de TiO<sub>2</sub> y ZnO, por lo que cumplen con la normativa.

- De los cálculos realizados, se concluyó que  $\text{TiO}_2$  presenta una influencia negativa en la flexotracción debido a que ambas dosificaciones mostraron valores menores al obtenido en la muestra MP, que resultó de 104.9 kg/cm<sup>2</sup>. Para las muestras MT1 y MT2 se obtuvieron 98.6 kg/cm<sup>2</sup> y 95 kg/cm<sup>2</sup>. La muestra MT1 demostró la mejor resistencia de las muestras adicionadas, siendo 6% menor que la muestra patrón. Por otra parte las adiciones de ZnO igualmente mostraron valores menores respecto a la referencia, siendo incluso más bajos, de 89.6 kg/cm<sup>2</sup> y 98.46 kg/cm<sup>2</sup>, para MZ1 y MZ2, siendo 14.6% y 6.2% respectivamente. Sin embargo todas las muestras, lo que incluye tanto la muestra patrón como las muestras adicionadas, superaron el valor mínimo exigido en la norma NTC 2017, que establece un valor mínimo a la flexotracción de 51 kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo con la norma.
- De los cálculos realizados, se ha determinado que  $\text{TiO}_2$  presenta una influencia positiva en la actividad fotocatalítica de los adoquines, esto debido a que alcanza un valor de los factores R4 y R24, que indican el grado de degradación del colorante rodamina B a las 4 y 24 horas respectivamente, muy superior al de la muestra patrón. Esta adición obtuvo valores de 36.98% y 71.09% respectivamente, para la muestra MT2, mientras que la muestra patrón obtuvo solo 4,94% y 15,69%, sin superar los valores mínimos de la norma UNI 11259 de 20% y 50% para considerar que muestran actividad fotocatalítica, como era de esperar. Por otra parte, las muestras con óxido de zinc también demostraron influir positivamente en el desarrollo de la actividad fotocatalítica, especialmente la muestra MZ2. Los valores promedios a las 4 y 24 horas resultaron en 35,82% y 63,92% respectivamente.

- En base a los resultados mostrados en las tablas anteriormente mencionadas, finalmente se concluye que de las adiciones estudiadas, el  $TiO_2$  presenta una influencia positiva en las propiedades del concreto con el que se pretende elaborar adoquines tipo II. Esto debido a que presentan una mejora significativa en cuanto a la absorción de agua y en la actividad fotocatalítica de las unidades ensayadas, mejorándolas en 64% para la absorción e incrementando la actividad fotocatalítica en 3.5 veces. Para la resistencia a la compresión y flexotracción, disminuyeron ligeramente, siendo las menores reducciones de 4% y 6% respectivamente. Las adiciones con  $ZnO$  por otra parte, se ha determinado que presentan una influencia negativa en las propiedades. A compresión, los valores disminuyeron hasta en un 52%, estando muy por debajo de la resistencia mínima según norma. Para la resistencia a la flexotracción, se obtuvo un valor hasta 14.6% menor. Aunque para la absorción, mejoró la propiedad al lograr reducir la absorción en hasta 38%. Además demostró que aumenta la actividad fotocatalítica del concreto, alcanzando un valor de 63.92%. Cabe indicar que la adición de  $TiO_2$  se cumple con los valores requeridos para las propiedades físico-mecánicas para adoquines tipo II.

## Referencias

- Organización Mundial de la Salud (2005) *Directrices sobre la calidad del aire*
- Rodríguez-Fernández, P., Prat-Aymerich, C., & Domínguez, J. (2018). *Interacción entre contaminación ambiental e infecciones respiratorias*. Archivos de Bronconeumología. doi:10.1016/j.arbres.2018.10.018
- Seoáñez, C. (2006). *Tratado de la Contaminación Atmosférica: Problemas, tratamiento y gestión*. Editorial Mundi-Prensa.
- Ministerio del Ambiente (2016) *Informe Nacional de la calidad del aire 2013-2014*
- Habibi, H., Awal, R., Fares, A., & Ghahremannejad, M. (2020). *COVID-19 and the improvement of the global air quality: The bright side of a pandemic*. Atmosphere, 11(12), 1279.
- Xu, H., Jiao, X., Wu, Y., Li, S., Cao, L., & Dong, L. (2019). *Exosomes derived from PM<sub>2.5</sub>-treated lung cancer cells promote the growth of lung cancer via the Wnt3a/ $\beta$ -catenin pathway*. Oncology reports, 41(2), 1180-1188.
- Gehring, U., Wijga, A. H., Hoek, G., Bellander, T., Berdel, D., Brüske, I., ... & Brunekreef, B. (2015). *Exposure to air pollution and development of asthma and rhino conjunctivitis throughout childhood and adolescence: a population-based birth cohort study*. The lancet Respiratory medicine, 3(12), 933-942.
- Health Effects Institute (2020) *State of Global Air 2020*. Special Report. Boston, MA: Health Effects Institute.
- IQAir (2020) *World Air Quality Report*.
- Clofent, D., Culebras, M., Loor, K., & Cruz, M. J. (2020). *Contaminación ambiental y cáncer de pulmón: el poder carcinogénico del aire que respiramos*. Archivos de

Bronconeumología. doi:10.1016/j.arbres.2020.05.031

- Asociación Ibérica de Fotocatálisis (2020) *Libro blanco de la fotocatalisis: Tecnología, aplicaciones, mediciones y FAQ.*
- Maury, A. y De Belie N. (2010). “Estado del arte de los materiales a base de cemento que contienen  $TiO_2$ : propiedades autolimpiantes”. *Materiales de Construcción*. Vol. 60, 298, 33-50. Madrid: CSIC
- Abella Rodríguez, 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
- Bernuy Chávez, G., y Flores Cortez, H. (2020). *Evaluación de las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante del mortero c/a 1: 5 de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio ( $TiO_2$ ), en la ciudad de Lima.* (Tesis de grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Martínez Zuasnábar, K. R. (2019). *Efecto del dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) en el comportamiento del mortero de Cemento Pórtland tipo I para fachadas-Lima Metropolitana (2018).* (Tesis de grado). Universidad Ricardo Palma.
- Chirinos Peralta, K. L. (2020). *Mortero fotocatalítico con  $TiO_2$  para la reducción de la contaminación del aire por emisiones procedentes de vehículos, Lima, 2019.* (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte.
- Peñafiel Carpio, F. y Navarrete Angulo, S. (2019) *Estudio de las características del fotocatalizador dióxido de titanio en hormigones, según la norma UNI 11259.* (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador.
- Witkowski, H., Jarosławski, J., y Tryfon-Bojarska, A. (2020). *Application of Photocatalytic Concrete Paving Blocks in Poland—Verification of Effectiveness of Nitric*

*Oxides Reduction and Novel Test Method*. Materials, 13(22), 5183.

- Khanna, S., Paneliya, S., Hinshu, H., Singh, A. P., Bhatt, N., Barik, B., y Motiani, R. (2020). *Incorporation of Anatase-TiO<sub>2</sub> in cement to enhance the self-cleaning and mechanical properties: A systematic study*. Materials Today: Proceedings.
- Unrau, Y. A., Grinnell, R. M., & Krysik, J. L. (1997). *Student Study Guide for Social Work Research and Evaluation*. Wadsworth.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: Mc Graw Hill, 12, 20.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. 6ta. Fidas G. Arias Odón.
- Abril, V. (2008). *Técnicas e instrumentos de la investigación*. Recuperado de: [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41375407/Tecnicas\\_e\\_Instrumentos\\_Material\\_de\\_clases\\_1.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/41375407/Tecnicas_e_Instrumentos_Material_de_clases_1.pdf).
- Fasoli, H. J. (1986). *Aplicaciones analíticas de la rodamina B y de otros colorantes derivados del xanteno y del trifenilmetano* (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Solis, L. y López, J. (2003). *Principios básicos de contaminación ambiental*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Carranza, R. (2004). *Gestión de la Calidad del Aire; Causas, Efectos y Soluciones*. (Ira ed.) Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial. Lima, P

## Anexos

### Anexo N° 1 Ficha de recolección de datos de resistencia a la compresión

Ficha técnica N°1: Ensayo de resistencia a la compresion							
<b>Título:</b>	Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del						
<b>Autor:</b>	Clemente Eduardo Concepción Espinoza						
<b>Ensayo:</b>	Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de ladrillos y adoquines de concreto						
<b>Norma:</b>	NTP 399.604 / ASTM C140						
<b>Tipo de Especimen:</b>	Adoquín			<b>Fecha de elaboración:</b>	09/02/2023		
<b>Muestra:</b>	MP			<b>Fecha de ensayo:</b>	09/03/2023		
<b>N° Especímenes:</b>	3			<b>Edad del adoquín:</b>	28 días		

N° muestra	Ancho (cm)	Longitud (cm)	Altura (cm)	Carga máxima (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
MP-1							
MP-2							
MP-3							

**Anexo N° 2 Ficha de recolección de datos de absorción**

<b>Ficha técnica N°2: Ensayo de absorción</b>																											
<b>Título:</b>	Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023																										
<b>Autor:</b>	Clemente Eduardo Concepción Espinoza																										
<b>Ensayo:</b>	Método de ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido																										
<b>Norma:</b>	NTP 399.604 / ASTM C642																										
<b>Tipo de Especimen:</b>	Adoquín	<b>Fecha de elaboración:</b>	09/02/2023																								
<b>Muestra:</b>	MP	<b>Fecha de ensayo:</b>	09/03/2023																								
<b>N° Especímenes:</b>	3	<b>Edad del adoquín:</b>	28 días																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Identificación</th> <th style="width: 15%;">Muestra 1</th> <th style="width: 15%;">Muestra 2</th> <th style="width: 15%;">Muestra 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Peso sumergido (Wi)</b> (kg)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Peso saturado (Ws)</b> (kg)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Peso seco al horno (Wd)</b> (kg)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>% De absorción después de la inmersión</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Promedio</b></td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>				Identificación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	<b>Peso sumergido (Wi)</b> (kg)				<b>Peso saturado (Ws)</b> (kg)				<b>Peso seco al horno (Wd)</b> (kg)				<b>% De absorción después de la inmersión</b>				<b>Promedio</b>			
Identificación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3																								
<b>Peso sumergido (Wi)</b> (kg)																											
<b>Peso saturado (Ws)</b> (kg)																											
<b>Peso seco al horno (Wd)</b> (kg)																											
<b>% De absorción después de la inmersión</b>																											
<b>Promedio</b>																											

**Anexo N° 3 Ficha de recolección de datos de resistencia a la flexotracción**

Ficha técnica N°3: Ensayo de resistencia a la flexotracción																																			
<b>Título:</b>	Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023																																		
<b>Autor:</b>	Clemente Eduardo Concepción Espinoza																																		
<b>Ensayo:</b>	Ensayo de resistencia a la flexotracción (Módulo de rotura) para adoquines de concreto																																		
<b>Norma:</b>	NTC 2017																																		
<b>Tipo de Especimen:</b>	Adoquines	<b>Fecha de elaboración:</b>		09/02/2023																															
<b>Muestra:</b>	MP	<b>Fecha de ensayo:</b>		09/03/2023																															
<b>N° Especímenes:</b>	3	<b>Edad del adoquín:</b>		28 días																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Muestra</th> <th style="width: 15%;">Largo (cm)</th> <th style="width: 15%;">Ancho (cm)</th> <th style="width: 15%;">Altura (cm)</th> <th style="width: 15%;">Carga máxima (kgf)</th> <th style="width: 20%;">Módulo de rotura (kgf/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MP - 1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MP - 2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MP - 3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;"><b>Promedio</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga máxima (kgf)	Módulo de rotura (kgf/cm <sup>2</sup> )	MP - 1						MP - 2						MP - 3						<b>Promedio</b>					
Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga máxima (kgf)	Módulo de rotura (kgf/cm <sup>2</sup> )																														
MP - 1																																			
MP - 2																																			
MP - 3																																			
<b>Promedio</b>																																			

**Anexo N° 4 Ficha de recolección de datos de actividad fotocatalítica**

Ficha técnica N°4: Ensayo de determinación de actividad fotocatalítica								
<b>Título:</b>	Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023							
<b>Autor:</b>	Clemente Eduardo Concepción Espinoza							
<b>Ensayo:</b>	Ensayo de determinación de actividad fotocatalítica de aglutinantes hidráulicos - Método de la rodamina							
<b>Norma:</b>	UNI 11259							
<b>Equipo de medición:</b>	Colorímetro espectrofotómetro digital PCE - XXM20							
<b>Tipo de Especimen:</b>	Probetas cuadradas			<b>Fecha de elaboración:</b>	23/02/2023			
<b>Muestra:</b>	MP			<b>Fecha de ensayo:</b>	09/03/2023			
<b>N° Especímenes:</b>	4			<b>Edad del adoquín:</b>	14 días			
<b>Coordenadas a* de las muestras:</b>				<b>Hora de inicio:</b>				
<b>Tiempo</b>	<b>0 horas</b>				<b>4 horas</b>			
<b>N° Muestra</b>	<b>Coordenada a*</b>				<b>Coordenada a*</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Prom</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Prom</b>
MP-1								
MP-2								
MP-3								
MP-4								
<b>Tiempo</b>	<b>24 horas</b>							
<b>N° Muestra</b>	<b>Coordenada a*</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Prom</b>				
MP-1								
MP-2								
MP-3								
MP-4								
<b>Cálculo de los factores R4 y R24:</b>								
<b>N° Muestra</b>	<b>a*(0h)</b>	<b>a*(4h)</b>	<b>R4</b>	<b>a*(24h)</b>	<b>R24</b>			
MP-1								
MP-2								
MP-3								
MP-4								
	<b>Promedio</b>			<b>Promedio</b>				

## Anexo N° 5 Ficha de validación por juicio de expertos 1

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TESIS: "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"

#### I. REFERENCIAS (Llenar los datos requeridos):

- 1.1. **Nombres y apellidos:** Jenniefer Nancy Gamarra Villafuerte  
 1.2. **Grado académico:** Magister  
 1.3. **Especialidad:** Geotecnia-Construcción  
 1.4. **Institución laboral:** Universidad Peruana Ciencias Aplicadas  
 1.5. **Cargo:** Docente a tiempo completo  
 1.6. **Tipo de instrumento:** Fichas técnicas de recolección de datos de ensayos de:
  - Resistencia a la compresión
  - Resistencia a la flexión
  - Absorción
  - Actividad fotocatalítica
 1.7. **Lugar y fecha:** Marzo - 2023

#### II. INDICACIONES:

- 2.1. En el anexo se presentan los formatos y la encuesta, instrumentos (Esto depende de los instrumentos que desees evaluar, si solamente es la encuesta, simplemente indicaras la encuesta nada más) que deben evaluarse para determinar su validez y confiabilidad.
- 2.2. La evaluación consiste en asignar (colocar en el cuadro adjunto), un valor a cada instrumento según la siguiente escala. (Escala de Likert)

**5: Excelente, 4: Muy bien, 3: Bien, 2: Regular, 1: Deficiente**

#### III. VALIDACIÓN

N°	Aspectos a evaluar	Instrumentos/Valoración
1	Pertinencia de indicadores	5
2	Formulado con lenguaje adecuado	4
3	Adecuado para el objeto de estudio	5
4	Facilita la prueba de hipótesis	5
5	Suficiencia para medir las variables	5
6	Facilita la interpretación del instrumento	5
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	5
8	Expresado en hechos perceptibles	5
9	Tiene secuencia lógica	4
10	Basado en aspectos teóricos	4
<b>Total</b>		<b>47</b>

.....  
  
 JENNIEFER NANCY  
 GAMARRA VILLAFUERTE  
 Ingeniera Civil  
 CIP N° 273208

## Anexo N° 6 Ficha de validación por juicio de expertos 2

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TESIS: "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"

#### I. REFERENCIAS (Llenar los datos requeridos):

- 1.1. Nombres y apellidos: Joseph Christian Concepción Villanueva
- 1.2. Grado académico: Magister en Gestión Pública
- 1.3. Especialidad: Ingeniería Civil.
- 1.4. Institución laboral: PCM- Autoridad para la Reconstrucción con Cambios
- 1.5. Cargo: Especialista II en Gestión de Intervenciones
- 1.6. Tipo de instrumento: Fichas técnicas de recolección de datos de ensayos de:
  - Resistencia a la compresión
  - Resistencia a la flexión
  - Absorción
  - Actividad fotocatalítica
- 1.7. Lugar y fecha: Marzo - 2023

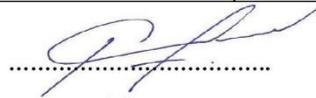
#### II. INDICACIONES:

- 2.1. En el anexo se presentan los formatos y la encuesta, instrumentos (Esto depende de los instrumentos que deseas evaluar, si solamente es la encuesta, simplemente indicaras la encuesta nada más) que deben evaluarse para determinar su validez y confiabilidad.
- 2.2. La evaluación consiste en asignar (colocar en el cuadro adjunto), un valor a cada instrumento según la siguiente escala. (Escala de Likert)

5: Excelente, 4: Muy bien, 3: Bien, 2: Regular, 1: Deficiente

#### III. VALIDACIÓN

N°	Aspectos a evaluar	Instrumentos/Valoración
1	Pertinencia de indicadores	5
2	Formulado con lenguaje adecuado	4
3	Adecuado para el objeto de estudio	5
4	Facilita la prueba de hipótesis	5
5	Suficiencia para medir las variables	5
6	Facilita la interpretación del instrumento	4
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	5
8	Expresado en hechos perceptibles	4
9	Tiene secuencia lógica	5
10	Basado en aspectos teóricos	5
<b>Total</b>		<b>47</b>



Firma

### Anexo N° 7 Ficha de validación por juicio de expertos 3

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



#### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

**TESIS:** "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"

#### **I. REFERENCIAS (Llenar los datos requeridos):**

- 1.1. **Nombres y apellidos:** Víctor Inocente Espinoza Quinteros  
 1.2. **Grado académico:** Ingeniero Civil  
 1.3. **Especialidad:** Ingeniería Civil  
 1.4. **Institución laboral:** Oficina general de infraestructura universitaria - UNMSM  
 1.5. **Cargo:** Especialista en costos y presupuestos  
 1.6. **Tipo de instrumento:** Fichas técnicas de recolección de datos de ensayos de:
  - Resistencia a la compresión
  - Resistencia a la flexión
  - Absorción
  - Actividad fotocatalítica
 1.7. **Lugar y fecha:** Marzo - 2023

#### **II. INDICACIONES:**

- 2.1. En el anexo se presentan los formatos y la encuesta, instrumentos (Esto depende de los instrumentos que desees evaluar, si solamente es la encuesta, simplemente indicaras la encuesta nada más) que deben evaluarse para determinar su validez y confiabilidad.
- 2.2. La evaluación consiste en asignar (colocar en el cuadro adjunto), un valor a cada instrumento según la siguiente escala. (Escala de Likert)

**5: Excelente, 4: Muy bien, 3: Bien, 2: Regular, 1: Deficiente**

#### **III. VALIDACIÓN**

N°	Aspectos a evaluar	Instrumentos/Valoración
1	Pertinencia de indicadores	5
2	Formulado con lenguaje adecuado	5
3	Adecuado para el objeto de estudio	5
4	Facilita la prueba de hipótesis	5
5	Suficiencia para medir las variables	5
6	Facilita la interpretación del instrumento	5
7	Acorde al avance de la ciencia y tecnología	5
8	Expresado en hechos perceptibles	5
9	Tiene secuencia lógica	4
10	Basado en aspectos teóricos	4
<b>Total</b>		<b>48</b>

*[Firma]*  
 VÍCTOR INOCENTE  
 ESPINOZA QUINTEROS  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 216844

.....  
**Firma**

**Anexo N° 8 Certificado de calibración de Prensa hidráulica UTEST UTC-4722.FPR**



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD  
NTP ISO / IEC 17025:2017



**Certificado de Calibración**

**TC - 02503 - 2023**

**Proforma** : 17896A      **Fecha de emisión:** 2023-02-09      **Página** : 1 de 2

**Solicitante** : MTL GEOTECNIA S.A.C.  
**Dirección** : Cal.La Madrid Nro. 284 Asc. Los Olivos Lima-Lima-San Martín De Porres

**Instrumto de medición** : PRENSA HIDRÁULICA  
**Marca** : UTEST  
**Modelo** : UTC-4722.FPR  
**N° de Serie** : 19/002539  
**Alcance de indicación** : 2000 kN  
**Resolución** : 0,1 kN  
**Procedencia** : TURQUÍA  
**Identificación** : No Indica  
**Ubicación** : Laboratorio  
**Fecha de Calibración** : 2023-02-07

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

**Lugar de calibración**  
Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).  
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

**Método de calibración**  
La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia la norma UNE-EN ISO 7500-1:2018 (Maquinas de ensayo de tracción/Compresión). Calibración y Verificación del sistema de medida de fuerza.

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**Condiciones de calibración**

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	26,1 °C	26 °C
Humedad Relativa	50,1 %HR	51,1 %HR

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



**Lic. Nicolás Ramos Paucar**  
**Gerente Técnico**  
**CFP: 0316**

**Anexo N° 9 Certificado de calibración de Horno PERUTEST PT-H76**



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD  
NTP ISO / IEC 17025:2017



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**TC - 12559 - 2022**

Profoma : 10877A Fecha de Emisión : 2022-08-10

**Solicitante** : MTL GEOTECNIA S.A.C.  
Dirección : Calle La Madrid Nro. 264 Asc. Los Olivos - San Martín de Porres - Lima - Lima

**Equipo** : Homo  
Marca : PERUTEST  
Modelo : PT-H76  
Número de Serie : 458  
Identificación : No indica  
Procedencia : No indica  
Circulación del aire : Ventilación forzada  
Ubicación : Laboratorio  
Fecha de Calibración : 2022-08-09

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Instrumento de Medición del Equipo :

	Tipo	Alcance	Resolución
<b>Termómetro</b>	Digital	-100 °C a 300 °C	0,1 °C
<b>Selector</b>	Digital	-100 °C a 300 °C	0,1 °C

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

**Lugar de calibración**  
Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.

**Método de calibración**  
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-018 2da edición, Junio 2009: "Procedimiento para la calibración o caracterización de medios isotermos con aire como medio termostático" publicada por el SNM/ INDECOPI.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

**Condiciones de calibración**

	Temperatura	Humedad	Tensión
<b>Inicial</b>	18,8 °C	16 %hr	228 V
<b>Final</b>	67,8 °C	70 %hr	223 V

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.  
El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar  
Gerente Técnico  
CFP: 0316

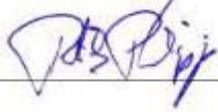
PGC-16-r11/Octubre 2021/Rev.01

Página : 1 de 8

## Anexo N° 10 Certificado de calibración de Balanza electrónica OHAUS EX24001

	LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 016	
<b>Certificado de Calibración</b> <b>TC - 18289 - 2022</b>		
Proforma : 15019A	Fecha de emisión : 2022-10-20	
Solicitante : MTL GEOTECNIA S.A.C.		
Dirección : Cal.La Madrid Nro. 264 Asc. Los Olivos- Lima-Lima-San Martín De Porres		
<b>Instrumento de medición</b> : Balanza	TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.	
Tipo : Electrónica	TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.	
Marca : OHAUS	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).	
Modelo : EX24001	Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.	
N° de Serie : B639089407	Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.	
Capacidad Máxima : 24000 g		
Resolución : 0,1 g		
División de Verificación : 1 g		
Clase de Exactitud : II		
Capacidad Mínima : 5 g		
Procedencia : CHINA		
Identificación : MYE-LAB-BGR-01.01		
Ubicación : LABORATORIO		
Variación de $\Delta T$ Local : 3 °C		
Fecha de Calibración : 2022-10-17		
<b>Lugar de calibración</b> Instalaciones de MTL GEOTECNIA S.A.C.		
<b>Método de calibración</b> La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-011 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y II". Cuarta Edición - Abril 2010. SNM - INDECOPI.		
TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.		
El presente documento carece de valor sin firma y sello.		
PGC-16-r08/ Diciembre 2019/Rev.04	<b>Lic. Nicolás Ramos Paucar</b> Gerente Técnico Página : 1 de 3 CFP: 0316	
	 Jr. Condesa de Lemos N°117 San Miguel, Lima	 (01) 262 9536  (51) 988 901 065
		 informes@testcontrol.com.pe  www.testcontrol.com.pe

**Anexo N° 11 Certificado de calibración de Colorímetro espectrofotómetro PCE XXM-20**

																															
		PCE Ibérica S.L. C/ Mayor, 29 bajo - 02500 Tobarra (Albacete) España Tel. nacional: 902 044 604 Tel. internacional: +34 967 543 548 Fax: +34 967 543 548 <a href="mailto:info@pce-iberica.es">info@pce-iberica.es</a> <a href="http://www.pce-iberica.es">www.pce-iberica.es</a> <a href="http://www.pce-instruments.com/iberica">www.pce-instruments.com/iberica</a>																													
<h2>CERTIFICADO DE FÁBRICA</h2>																															
Se certifica que el equipo individualizado más adelante, cumple con las prescripciones que han sido establecidas en la normativa vigente.																															
<b>Modelo</b>	PCE-XXM 20	<b>N° de serie</b>	190518893																												
		<b>Año fabricación</b>	2020																												
Esta declaración es válida para todos los ejemplares del producto que tengan idénticas características y que hayan sido fabricados según las descripciones y bocetos de desarrollo, construcción y fabricación.																															
Asimismo se declara que el equipo viene calibrado de fábrica y ha sido comprobado en el momento de su fabricación asegurando que las mediciones y tolerancias cumplen con las siguientes especificaciones técnicas.																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Especificaciones técnicas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Espacio cromático</td> <td>CIE LAB, CIE XYZ, RGB, CMYK, Pantone</td> </tr> <tr> <td>Rango espectral de la longitud de onda</td> <td>400 a 720 nm</td> </tr> <tr> <td>Normativa</td> <td>CIE76 - CIE94</td> </tr> <tr> <td>Campo de medición</td> <td>8 mm</td> </tr> <tr> <td>Ángulo de medición</td> <td>10 ° CIE Standard</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de respuesta</td> <td>1,5 s.</td> </tr> <tr> <td>Iluminación</td> <td>LEDs de luz blanca</td> </tr> <tr> <td>Ángulo de iluminación</td> <td>45 °</td> </tr> <tr> <td>Sensor</td> <td>Fotodiodo RGB</td> </tr> <tr> <td>Interfaz</td> <td>Micro-USB / Bluetooth</td> </tr> <tr> <td>Alimentación</td> <td>Batería Li-Ion de 3,7 V / 1500 mAh Adaptador de red USB</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones</td> <td>55 x 153 x 32 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td>Aprox. 120 g</td> </tr> </tbody> </table>				Especificaciones técnicas		Espacio cromático	CIE LAB, CIE XYZ, RGB, CMYK, Pantone	Rango espectral de la longitud de onda	400 a 720 nm	Normativa	CIE76 - CIE94	Campo de medición	8 mm	Ángulo de medición	10 ° CIE Standard	Tiempo de respuesta	1,5 s.	Iluminación	LEDs de luz blanca	Ángulo de iluminación	45 °	Sensor	Fotodiodo RGB	Interfaz	Micro-USB / Bluetooth	Alimentación	Batería Li-Ion de 3,7 V / 1500 mAh Adaptador de red USB	Dimensiones	55 x 153 x 32 mm	Peso	Aprox. 120 g
Especificaciones técnicas																															
Espacio cromático	CIE LAB, CIE XYZ, RGB, CMYK, Pantone																														
Rango espectral de la longitud de onda	400 a 720 nm																														
Normativa	CIE76 - CIE94																														
Campo de medición	8 mm																														
Ángulo de medición	10 ° CIE Standard																														
Tiempo de respuesta	1,5 s.																														
Iluminación	LEDs de luz blanca																														
Ángulo de iluminación	45 °																														
Sensor	Fotodiodo RGB																														
Interfaz	Micro-USB / Bluetooth																														
Alimentación	Batería Li-Ion de 3,7 V / 1500 mAh Adaptador de red USB																														
Dimensiones	55 x 153 x 32 mm																														
Peso	Aprox. 120 g																														
		 <b>GROUP IBÉRICA, S.L.</b> C.I.F. B-02363497 c/ Cruz, 19 Tlf. 967 543548 - Fax 967 543542 02500 TOBARRA (Albacete)-ESPAÑA <a href="http://www.pce-iberica.es">www.pce-iberica.es</a>																													
		Firma 																													
29 de Septiembre 2020.																															
 		   																													
<small>           PCE Ibérica S.L.            C/ Mayor, 29 bajo - 02500 - Tobarra (Albacete) - España            Teléfono: +34 967 543 548 - Fax: +34 967 543 548 - Email: info@pce-iberica.es - www.pce-instruments.com         </small>																															

**Anexo N° 12 Ficha técnica de cemento Sol tipo I**

CEMENTO SOL



Ficha Técnica

CEMENTO SOL

**Descripción:**

- Es un Cemento Pórtland Tipo I, obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso.

**Beneficios:**

- El acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.
- Excelente desarrollo de resistencias en Shotcrete.
- Excelente desarrollo en resistencias a la compresión.
- Buena trabajabilidad.

**Usos:**

- Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Fabricación de concretos de mediana y alta resistencia a la compresión.
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.
- Producción de prefabricados de concreto.
- Fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.
- Fabricación de morteros para el desarrollo de ladrillos, tarrajeos, enchapes de mayólicas y otros materiales.

**Características Técnicas:**

- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

**Formato de Distribución:**

- Bolsas de 42.5 Kg: 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y Big Bags.



Recomendaciones

**Dosificación:**

- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

**Manipulación:**

- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

**Almacenamiento:**

- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno y en dos pallet de altura.

## Anexo N° 13 Ficha técnica de rodamina B



### FICHA TÉCNICA COLOR RHODAMINA

#### NOMBRE DEL PRODUCTO / DESCRIPCIÓN

RHODAMINA / Violeta Básico 10  $C_{23}H_{31}N_2O_3$  / CAS (81-88-9), C.I. 45170  
Este colorante es un polvo de color verde o violeta rojizo; muy soluble en agua y alcohol, forma soluciones fluorescentes de color rojo azulado; ligeramente soluble en ácidos o álcalis.

#### COMPOSICIÓN

Rhodamina .

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS

Aspecto:	Polvo fino
Color	Verde o violeta rojizo
Olor:	Inodoro
Pureza	87 % Mín.
Arsénico (As)	3 ppm Máx.
Plomo (Pb)	10 ppm Máx.
Extractos etéreos	No más de 0.2 %
MICROBIOLÓGICO: NO APLICA	

#### TRATAMIENTO DE CONSERVACIÓN

Acidificación con ácido clorhídrico.

#### PRESENTACIÓN - ENVASES - EMBALAJES

Tambores por 20 kg., con polietileno interior.

#### INSTRUCCIONES DE USO

Colorante rojo para papel; también se usa para lana y seda en donde se deseen efectos fluorescentes brillantes.

**Anexo N° 14 Ficha técnica del óxido de zinc**



## PRODUCT DATA SHEET

### ZINC OXIDE

**1. CHEMICAL PROPERTIES**

ELEMENTS	TYPICAL (%)	GUARANTEED (%)
ZnO	99,8	99,8 min
Total impurities	0,18	0,20max
Pb (including PbO)	0,0006 – 0,0015	0,0020 max
Cu	0,0001 – 0,0002	0,0005 max
Cd	0,0001 – 0,0006	0,0010 max
Fe	0,0001 – 0,0006	0,0010 max
Cl	0,0004 – 0,0005	0,0010 max
S	0,0001 – 0,0002	0,0020max
Mn	< 0,0001	0,0002 max

**2. PHYSICAL PROPERTIES**

DESCRIPTION	TYPICAL	GUARANTEED
pH	7,4	7,3 – 7,5
Volatile materials %	0,09 – 0,15	0,30max
Ignition loss %	0,14 – 0,18	0,25max
Water soluble elements %	0,06 – 0,10	0,20 max
Solubility in HCl %	99,9	99,9min
Specific weight g/cm <sup>3</sup>	5,6	5,6
Moisture %	0,07 – 0,11	0,30 max
Surface area BET method m <sup>2</sup> /g	3,2 – 6,5	2,5 – 6,5
Mesh 325 % through	99,8	99,0 min

C.I.-77947. INCI: Zinc oxide.

**GREEN INSUQUIMICA SAC**

La Calidad es lo Primero

Central Telefónica: 719 - 6949 Móvil WhatsApp: 993 - 523 - 032

Email: [ventas@insuquimica.com](mailto:ventas@insuquimica.com) / Web site: [www.insuquimica.com](http://www.insuquimica.com)

06  
September 2019  
OX-HT-005  
Rev.01



Anexo N° 15 Ficha técnica del dióxido de titanio

# TITANIUM DIOXIDE

T e c h n i c a l D a t a



# CR-828

TRONOX® CR-828 rutile titanium dioxide pigment is a universal product with the highest optical properties and good durability for interior and exterior applications. CR-828 provides high gloss, excellent opacity and tint strength, and a clean undertone.

## Applications

Interior and exterior industrial ■ Maintenance coatings ■ Interior and exterior architectural coatings ■ Solvent and water based coatings

## Typical Properties<sup>1</sup>

TiO <sub>2</sub> content %	95
Density	
Specific gravity	4.1
Bulk	0.8 kg/l or 50 lbs/cu.ft.
Oil absorption	18
pH	7.5
Specific Resistance, kohms-cm.	8
Average particle size <sup>2</sup> (µm)	0.19
Specification	
ASTM D-476-00 (2005)	Type II, III, VI, VII
ISO 591-1:2000	R2
FDA	Indirect food additive <sup>3</sup>

**TRONOX**

<sup>1</sup>Typical properties not to be construed as specifications

<sup>2</sup>By electron microscope

<sup>3</sup>Limitations apply. Contact Tronox representative for more information.

The information herein is believed to be reliable. However, no warranty, expressed or implied, is made as to its accuracy or completeness and none is made as to the merchantability of the material or its fitness for any purpose. The manufacturer shall not be liable for consequential damages or for damages to persons or property resulting from its use. Nothing herein shall be construed as a recommendation for use in violation of any patent.

**Plant Locations:**  
Botlek, The Netherlands  
Mississippi, U.S  
Kwinana, Australia

**Sales Offices:**  
Oklahoma City 1-800-654-3911  
Singapore +65-6255-0098  
Shanghai, China +86-21-63912658  
Perth, Australia +61-8-9361-4700  
Botlek, The Netherlands +31-181-246600

**Insuquimica SAC**

La Calidad es lo Primero

Central Telefónica: 719 - 6949 Móvil WhatsApp: 993 - 523 - 032

Email: [ventas@insuquimica.com](mailto:ventas@insuquimica.com) / Web site: [www.insuquimica.com](http://www.insuquimica.com)

05/13

**Anexo N° 16 Análisis granulométrico del agregado grueso**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



SGS



UKAS  
MANAGEMENT  
SYSTEMS  
0005

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO	Código: FOR-LTC-AG-002 Revisión: 1 Aprobado: CC-MTL
-------------------------------------	--	---

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO  
ASTM C136

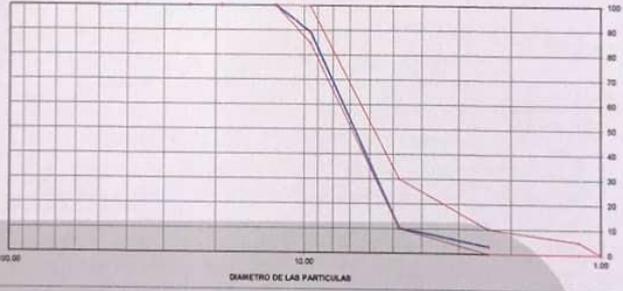
**REFERENCIA:** Datos de laboratorio  
**SOLICITANTE:** Clemente Eduardo Concepción Espinoza  
**TESIS:** "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"

**UBICACION:** Lima **Fecha de ensayo:** 09/02/2023

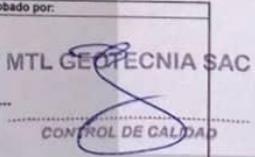
**MATERIAL:** AGREGADO GRUESO **CANTERA:** TRAPICHE  
**PESO INICIAL HUMEDO (g):** 3,382.00 **% W =** 0.2  
**PESO INICIAL SECO (g):** 3,368.90 **MF =** 5.97

MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES HUBO #1
		(g)	(%)	Retenido	Pasa	
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0	100
3/8"	9.50	358.0	10.6	10.6	89.4	85 - 100
Nº 4	4.75	2,884.0	79.2	89.8	10.2	10 - 30
Nº 8	2.36	241.0	7.1	96.9	3.1	0 - 10
Nº 16	1.18	66.5	2.6	100.0	0.0	0 - 5
FONDO		17.4	0.5			

**CURVA GRANULOMETRICA**



**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:  MTL GEOTECNIA SAC Gilder García-Guzmán INGENIERO CIVIL C.I.P. N° 299741	Revisado por: MTL GEOTECNIA SAC Gilder García-Guzmán INGENIERO CIVIL C.I.P. N° 299741	Aprobado por:  MTL GEOTECNIA SAC CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

**Anexo N° 17 Análisis granulométrico del agregado fino**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com




LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO</b> <b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO</b>	Código	FOR.LTC.AG-061
		Revisión	1
		Aprobado	CG-MTL

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
ASTM C136

*titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"*

**REFERENCIA** : Datos de laboratorio  
**AUTORES** : Clemente Eduardo Concepción Espinoza  
**TESIS** : "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"

**UBICACIÓN** : Lima **Fecha de ensayo:** 09/02/2023

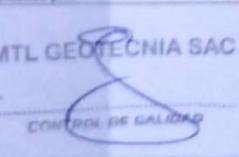
<b>MATERIAL</b> : Agregado fino	<b>CANTERA:</b> TRAPICHE
<b>PESO INICIAL HUMEDO (g)</b> 632.6	<b>% W = 0.9</b>
<b>PESO INICIAL SECO (g)</b> 626.9	<b>MF = 2.89</b>

MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES ASTM C 33
		(g)	(%)	Retenido	Pasa	
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100
Nº4	4.75	12.9	2.1	2.1	97.9	95 - 100
Nº5	2.38	110.5	17.6	19.7	80.3	85 - 100
Nº16	1.18	129.6	20.7	40.4	59.6	55 - 85
Nº30	0.60	135.6	21.7	62.1	37.9	35 - 65
Nº50	0.30	84.2	13.4	75.5	24.5	15 - 35
Nº100	0.15	82.8	13.2	88.7	11.3	5 - 15
FONDO		71.0	11.3	100.0	0.0	0 - 5

**CURVA GRANULOMETRICA**



**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

<p><b>Elaborado por:</b></p>  <p>Jefe de Laboratorio</p>	<p><b>Revisado por:</b></p>  <p><b>MTL GEOTECNIA</b> Gilda García Guzmán INGENIERO CIVIL C.I.P. N° 299741</p> <p>Ingeniero de Suetos y Pavimentos</p>	<p><b>Aprobado por:</b></p>  <p><b>MTL GEOTECNIA SAC</b> CONTROL DE CALIDAD</p> <p>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</p>
---	--	--

**Anexo N° 18 Peso unitario del agregado grueso**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com





LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO PESO UNITARIO (F, G o GIB)</b>	Código	FOR-LTC-AG-018
		Revisión	1
		Aprobado	CG-MTL

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
ASTM C29

REFERENCIA			
AUTORES	: Clemente Eduardo Concepción Espinoza		
TESIS	: "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"		
UBICACIÓN	: Lima	Fecha de ensayo:	09/02/2023

MATERIAL: AGREGADO GRUESO      CANTERA: TRAPICHE

Clemente Eduardo Concepción Espinoza

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	M - 3
1. Peso de la Muestra + Molde	g	5929	5940
2. Peso del Molde	g	2363	2363
3. Peso de la Muestra (1 - 2)	g	3566	3577
4. Volumen del Molde	cc	2760	2760
5. Peso Unitario Suelto de la Muestra	g/cc	1.292	1.296
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO</b>	g/cc	<b>1.294</b>	

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	M - 3
1. Peso de la Muestra + Molde	g	6461	6474
2. Peso del Molde	g	2363	2363
3. Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4098	4111
4. Volumen del Molde	cc	2760	2760
5. Peso Unitario Compactado de la Muestra	g/cc	1.485	1.488
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	g/cc	<b>1.487</b>	

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

<p>Elaborado por:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p> <div style="text-align: center;">  <p><b>Güder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741</p> </div> <p>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p> <div style="text-align: center;">  <p><b>MTL GEOTECNIA SAC</b> CONTROL DE CALIDAD</p> </div> <p>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</p>
---	---	---

**Anexo N° 19 Peso unitario del agregado fino**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
 Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
 San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
 www.mtlgeotecniasac.com




<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO PESO UNITARIO</b>	Código	FOR-LAB-AG-015
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

**LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGREGADOS**  
ASTM C29

**REFERENCIA AUTORES** : Clemente Eduardo Concepción Espinoza

**TESIS** : "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"

**UBICACIÓN** : Lima **Fecha de ensayo:** 06/02/2023

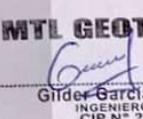
<b>MATERIAL</b> : AGREGADO FINO	<b>CANTERA</b> : TRAPICHE
---------------------------------	---------------------------

Clemente Eduardo Concepción Espinoza

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	M - 3	
1 Peso de la Muestra + Molde	g	6379	6372	6371
2 Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3 Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4016	4009	4008
4 Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5 Peso Unitario Suelto de la Muestra	g/cc	1.455	1.453	1.452
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO</b>	g/cc	<b>1.453</b>		

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	M - 3	
1 Peso de la Muestra + Molde	g	7212	7218	7209
2 Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3 Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4849	4855	4846
4 Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5 Peso Unitario Compactado de la Muestra	g/cc	1.757	1.759	1.756
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	g/cc	<b>1.757</b>		

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

<p><b>Elaborado por:</b></p>  <p><b>Jefe de Laboratorio</b></p>	<p><b>Revisado por:</b></p>  <p><b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 293741</p> <p><b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b></p>	<p><b>Aprobado por:</b></p>  <p><b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b></p>
--	---	---

**Anexo N° 20 Gravedad específica del agregado grueso**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com





LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS</b>	Código: FOR-LAB-MS-009
		Revisión: 1
		Aprobado: CC-MTL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS**  
ASTM C127

**REFERENCIA**  
AUTORES : Clemente Eduardo Concepción Espinoza  
TESIS : "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"  
UBICACIÓN : Lima Fecha de ensayo: 09/02/2023

MATERIAL : AGREGADO GRUESO (CONFIETELO) CANTERA : TRAPICHE  
Clemente Eduardo Concepción Espinoza  
"Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	PROMEDIO
1. Peso de la Muestra Sumergida Canastilla A	g	1622.0	1581.0
2. Peso muestra Sat. Sup. Seca B	g	2568.0	2505.0
3. Peso muestra Seca C	g	2528.0	2465.0
4. Peso específico Sat. Sup. Seca = B/A	g/cc	2.71	2.71
5. Peso específico de masa = C/A	g/cc	2.67	2.67
6. Peso específico aparente = C/C-A	g/cc	2.79	2.79
7. Absorción de agua = ((B - C)/C)*100	%	1.6	1.6

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

<p>Elaborado por:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p> <div style="text-align: center;">  <p><b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741</p> </div> <p style="text-align: center;">Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">CONTROL DE CALIDAD</p> </div> <p style="text-align: center;">Control de Calidad MTL GEOTECNIA</p>
---	--	---

**Anexo N° 21 Peso específico y absorción del agregado fino**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com




LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN</b>	Código	FOR-LAB-AG-013
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

**LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGREGADOS**  
ASTM C138

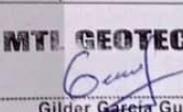
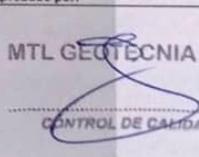
REFERENCIA	Clemente Eduardo Concepción Espinoza
AUTORES	Clemente Eduardo Concepción Espinoza
TESIS	"Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"
UBICACION	Lima <span style="float: right;">Fecha de ensayo: 09/02/2023</span>

MATERIAL : AGREGADO FINO	CANTERA : TRAPICHE
Clemente Eduardo Concepción Espinoza "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"	

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	PROMEDIO
1 Peso de la Arena S.S.S. + Peso Balón + Peso de Agua	g	960.7	961.5
2 Peso de la Arena S.S.S. + Peso Balón	g	670.2	669.8
3 Peso del Agua (W = 1 - 2)	g	310.5	311.7
4 Peso de la Arena Seca al Horno + Peso del Balón	g/cc	662.2	662.2
5 Peso del Balón N° 2	g/cc	170.2	169.8
6 Peso de la Arena Seca al Horno (A = 4 - 5)	g/cc	482	482.4
7 Volumen del Balón (V = 500)	cc	497.5	498.2

RESULTADOS			
PESO ESPECIFICO DE LA MASA (P.E.M. = A/(V-W))	g/cc	2.63	2.64
PESO ESPEC. DE MASA S.S.S. (P.E.M. S.S.S. = 500/(V-W))	g/cc	2.67	2.66
PESO ESPECIFICO APARENTE (P.E.A. = A/[(V-W)-(500-A)])	g/cc	2.75	2.75
PORCENTAJE DE ABSORCION (%) [(500-A)/A*100]	%	1.6	1.6

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por: 	Revisado por:  <b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741	Aprobado por:  CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

**Anexo N° 22 Peso unitario del agregado fino**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com




LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO PESO UNITARIO</b>	Código	FOR-LAB-AG-015
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL

**LABORATORIO DE ENSAYOS EN AGREGADOS**  
ASTM C29

**REFERENCIA**  
AUTORES : Clemente Eduardo Concepción Espinoza  
TESIS : "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"

**UBICACIÓN** : Lima **Fecha de ensayo:** 06/02/2023

**MATERIAL** : AGREGADO FINO **CANTERA** : TRAPICHE

Clemente Eduardo Concepción Espinoza

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	M - 3	
1 Peso de la Muestra + Molde	g	6379	6372	6371
2 Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3 Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4015	4009	4008
4 Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5 Peso Unitario Suelto de la Muestra	g/cc	1.455	1.453	1.452
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO SUELTO</b>		g/cc	1.453	

MUESTRA N°	M - 1	M - 2	M - 3	
1 Peso de la Muestra + Molde	g	7212	7218	7209
2 Peso del Molde	g	2363	2363	2363
3 Peso de la Muestra (1 - 2)	g	4849	4855	4846
4 Volumen del Molde	cc	2760	2760	2760
5 Peso Unitario Compactado de la Muestra	g/cc	1.757	1.759	1.756
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO COMPACTADO</b>		g/cc	1.757	

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

<p><b>Elaborado por:</b></p>  <p><b>Jefe de Laboratorio</b></p>	<p><b>Revisado por:</b></p>  <p><b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 293741</p> <p><b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b></p>	<p><b>Aprobado por:</b></p>  <p><b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b></p>
--	---	--

**Anexo N° 23 Ensayo de resistencia a la compresión de la muestra MP**



(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES PRISMA RECTANGULAR DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/06/2016

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS  
ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	Datos de laboratorio		
SOLICITANTE	Cemento Eduardo Concepción Espinoza		
TEMA	"Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"		
UBICACIÓN	Lima	Fecha de emisión:	10/03/2023

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FECHA DE VADADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
ADOQUIN PATRON	10/02/2023	17/02/2023	7	59875.8	200.0	299.4	380.0	78.8
ADOQUIN PATRON	10/02/2023	17/02/2023	7	56460.8	200.0	282.3	380.0	74.3
ADOQUIN PATRON	10/02/2023	17/02/2023	7	52667.9	200.0	263.4	380.0	69.3
ADOQUIN PATRON	10/02/2023	24/02/2023	14	72174.4	200.0	360.9	380.0	95.0
ADOQUIN PATRON	10/02/2023	24/02/2023	14	80087.2	200.0	400.4	380.0	105.4
ADOQUIN PATRON	10/02/2023	24/02/2023	14	77843.9	200.0	389.2	380.0	102.4
ADOQUIN PATRON	10/02/2023	10/03/2023	28	92843.7	200.0	464.2	410.0	113.2
ADOQUIN PATRON	10/02/2023	10/03/2023	28	84278.2	200.0	421.4	410.0	102.8
ADOQUIN PATRON	10/02/2023	10/03/2023	28	84869.6	200.0	424.3	410.0	103.5

EQUIPO DE ENSAYO  
Capacidad máxima 250 000 Lb. división de escala 0.1 kN

OBSERVACIONES:  
\* No se observaron fallas atípicas en las roturas.  
\* El ensayo fue realizado haciendo uso de material remanente (YESO - CEMENTO).  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por: 	Revisado por: <b>MTL GEOTECNIA SAC</b>  Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 299741	Aprobado por: <b>MTL GEOTECNIA SAC</b>  CONTROL DE CALIDAD
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

**Anexo N° 24 Ensayo de resistencia a la compresión de la muestra MT1**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos.  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



SGS



UKAS  
MANAGEMENT  
SYSTEMS  
0005

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES PRISMA RECTANGULAR DE CONCRETO</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Código</td><td>FOR-LAB-CO-009</td></tr> <tr><td>Revisión</td><td>1</td></tr> <tr><td>Aprobado</td><td>CC-MTL</td></tr> <tr><td>Fecha</td><td>1/06/2016</td></tr> </table>	Código	FOR-LAB-CO-009	Revisión	1	Aprobado	CC-MTL	Fecha	1/06/2016
Código	FOR-LAB-CO-009									
Revisión	1									
Aprobado	CC-MTL									
Fecha	1/06/2016									

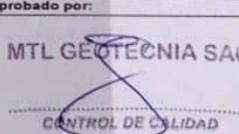
**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA DE ESPECÍMEN	Datos de laboratorio	
SOLICITANTE	Clemente Eduardo Concepción Espinoza	
TESIS	Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023	
UBICACIÓN	Lima	Fecha de emisión: 10/03/2023

IDENTIFICACIÓN DE ESPECÍMEN	FECHA DE VIGIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
ADQUIN PATRON + 1.5 TiO2	10/02/2023	17/02/2023	7	4479.3	200.0	222.4	380.0	58.5
ADQUIN PATRON + 1.5 TiO2	10/02/2023	17/02/2023	7	4895.8	200.0	244.8	380.0	64.4
ADQUIN PATRON + 1.5 TiO2	10/02/2023	17/02/2023	7	4970.6	200.0	248.6	380.0	65.4
ADQUIN PATRON + 1.5 TiO2	10/02/2023	24/02/2023	14	6281.0	200.0	313.4	380.0	82.5
ADQUIN PATRON + 1.5 TiO2	10/02/2023	24/02/2023	14	6530.6	200.0	326.5	380.0	85.9
ADQUIN PATRON + 1.5 TiO2	10/02/2023	24/02/2023	14	6375.6	200.0	318.8	380.0	83.9
ADQUIN PATRON + 1.5 TiO2	10/02/2023	10/03/2023	28	80637.9	200.0	403.2	410.0	98.3
ADQUIN PATRON + 1.5 TiO2	10/02/2023	10/03/2023	28	81494.4	200.0	407.5	410.0	99.4
ADQUIN PATRON + 1.5 TiO2	10/02/2023	10/03/2023	28	85583.4	200.0	427.9	410.0	104.4

**EQUIPO DE ENSAYO**  
Capacidad máxima 250 000 Lb. división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**  
 \* No se observaron fallas atípicas en las roturas.  
 \* El ensayo fue realizado haciendo uso de material referente (YESO - CEMENTO).  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

<b>Elaborado por:</b>  <b>Jefe de Laboratorio</b>	<b>Revisado por:</b>  <b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	<b>Aprobado por:</b>  <b>CONTROL DE CALIDAD</b> <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>
--	---	---

**Anexo N° 25 Ensayo de resistencia a la compresión de la muestra MT2**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com





LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES PRISMA RECTANGULAR DE CONCRETO</b>	Código: FOR-LAB-CO-009	
		Revisión: 1	
		Aprobado: CC-MTL	
		Fecha: 10/03/2023	

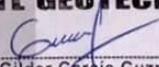
**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
ASTM C39-07 / NTP 338.034-11

REFERENCIA SOLICITANTE TESTES	Datos de laboratorio Clemente Espinoza Colocación Espinoza "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"
UBICACIÓN	Lima <span style="float: right;">Fecha de emisión: 10/03/2023</span>

IDENTIFICACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% F <sub>c</sub>
ADOQUIN PATRON + 2.5 TiO2	10/02/2023	17/02/2023	7	4804.9	200.0	229.0	380.0	90.3
ADOQUIN PATRON + 2.5 TiO2	10/02/2023	17/02/2023	7	4407.9	200.0	220.0	380.0	58.4
ADOQUIN PATRON + 2.5 TiO2	10/02/2023	17/02/2023	7	4808.5	200.0	240.3	380.0	63.2
ADOQUIN PATRON + 2.5 TiO2	10/02/2023	24/02/2023	14	7953.6	200.0	397.7	380.0	92.8
ADOQUIN PATRON + 2.5 TiO2	10/02/2023	24/02/2023	14	6582.4	200.0	329.3	380.0	86.7
ADOQUIN PATRON + 2.5 TiO2	10/02/2023	24/02/2023	14	6411.7	200.0	320.6	380.0	84.4
ADOQUIN PATRON + 2.5 TiO2	10/02/2023	10/03/2023	28	8204.1	200.0	410.2	410.0	100.1
ADOQUIN PATRON + 2.5 TiO2	10/02/2023	10/03/2023	28	8223.8	200.0	411.2	410.0	100.3
ADOQUIN PATRON + 2.5 TiO2	10/02/2023	10/03/2023	28	8696.0	200.0	434.8	410.0	106.0

**EQUIPO DE ENSAYO**  
Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**  
\* No se observaron fallas atípicas en las roturas  
\* El ensayo fue realizado haciendo uso de material referente (YESO - CEMENTO)  
\* Prohíbase la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

<b>Elaborado por:</b>  Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 299741	<b>Revisado por:</b>  Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 299741	<b>Aprobado por:</b>  CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad MTL GEOTECNIA
<small>Jefe de Laboratorio</small>	<small>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</small>	<small>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</small>

**Anexo N° 26 Ensayo de resistencia a la compresión de la muestra MZ1**



(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES PRISMA RECTANGULAR DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/06/2016

**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
ASTM C39-07 / NTR 339.036-11

REFERENCIA	Código de laboratorio
SOLICITANTE	Clemente Eduardo Concepción Espinoza
TESIS	"Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"
UBICACIÓN	Lima
Fecha de emisión: 10/03/2023	

IDENTIFICACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	Fc Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% Fc
ADOQUIN PATRON + 1.5 ZNO	19/02/2023	17/02/2023	7	2915.3	200.0	14.6	380.0	3.8
ADOQUIN PATRON + 1.5 ZNO	19/02/2023	17/02/2023	7	3212.1	200.0	16.1	380.0	4.2
ADOQUIN PATRON + 1.5 ZNO	19/02/2023	17/02/2023	7	3015.3	200.0	15.1	380.0	4.0
ADOQUIN PATRON + 1.5 ZNO	19/02/2023	24/02/2023	14	22175.5	200.0	110.9	380.0	29.2
ADOQUIN PATRON + 1.5 ZNO	19/02/2023	24/02/2023	14	19007.2	200.0	95.0	380.0	25.0
ADOQUIN PATRON + 1.5 ZNO	19/02/2023	24/02/2023	14	18191.4	200.0	91.0	380.0	23.9
ADOQUIN PATRON + 1.5 ZNO	19/02/2023	10/03/2023	28	43989.9	200.0	219.9	410.0	53.5
ADOQUIN PATRON + 1.5 ZNO	19/02/2023	10/03/2023	28	40339.3	200.0	201.7	410.0	49.2
ADOQUIN PATRON + 1.5 ZNO	19/02/2023	10/03/2023	28	40608.4	200.0	204.0	410.0	49.8

**EQUIPO DE ENSAYO**  
Capacidad máxima 250 000 Lb, división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**  
\* No se observaron fallas atípicas en las roturas  
\* El ensayo fue realizado haciendo uso de material referente (YESO - CEMENTO)  
\* Prioridad la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 299741 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad MTL GEOTECNIA
---	---	---

**Anexo N° 27 Ensayo de resistencia a la compresión de la muestra MZ2**



(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES PRISMA RECTANGULAR DE CONCRETO	Código	FOR-LAB-CO-609
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	10/05/2016

**LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS**  
ASTM C39-07 / NTP 339.034-11

REFERENCIA	Datos de laboratorio
SOLICITANTE	Clemente Eduardo Conocpción Espinoza
TEMA	Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023
UBICACIÓN	Lima
Fecha de emisión: 10/03/2023	

IDENTIFICACIÓN DE ESPECIMEN	FECHA DE VAGADO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	FUERZA MÁXIMA kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>	Fc Diseño kg/cm <sup>2</sup>	% Fc
ADOQUIN PATRON + 2.5 ZNO	10/02/2023	17/02/2023	7	3619.9	200.0	18.1	380.0	4.8
ADOQUIN PATRON + 2.5 ZNO	10/02/2023	17/02/2023	7	3446.6	200.0	17.2	380.0	4.5
ADOQUIN PATRON + 2.5 ZNO	10/02/2023	17/02/2023	7	3895.3	200.0	19.5	380.0	5.1
ADOQUIN PATRON + 2.5 ZNO	10/02/2023	24/02/2023	14	9126.3	200.0	45.6	380.0	12.0
ADOQUIN PATRON + 2.5 ZNO	10/02/2023	24/02/2023	14	9014.1	200.0	45.1	380.0	11.9
ADOQUIN PATRON + 2.5 ZNO	10/02/2023	24/02/2023	14	10659.8	200.0	53.3	380.0	14.3
ADOQUIN PATRON + 2.5 ZNO	10/02/2023	10/03/2023	28	56707.3	200.0	284.0	410.0	69.3
ADOQUIN PATRON + 2.5 ZNO	10/02/2023	10/03/2023	28	60335.6	200.0	301.7	410.0	73.6
ADOQUIN PATRON + 2.5 ZNO	10/02/2023	10/03/2023	28	58122.9	200.0	290.6	410.0	70.9

**EQUIPO DE ENSAYO**  
Capacidad máxima 250 000 Lb. división de escala 0.1 kN

**OBSERVACIONES:**  
\* No se observaron fallas atípicas en las roturas  
\* El ensayo fue realizado haciendo uso de material referente (YESO - CEMENTO).  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA

Elaborado por: 	Revisado por: <b>MTL GEOTECNIA</b> 	Aprobado por: <b>MTL GEOTECNIA SAC</b> 
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos Glider García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 23974-1	Control de Calidad MTL GEOTECNIA

**Anexo N° 28 Ensayo de resistencia a la flexotracción para la muestra MP**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecnia.com  
www.mtlgeotecnia.com




LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO FLEXIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA</b>	Código	FOR-LTC-AL-048
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/09/2023

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
INEN - 288

REFERENCIA	ENSAYO A FLEXIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO A 28 DÍAS		
AUTORES	Clemente Eduardo Concepción Espinoza		
TEMA	Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023*		
UBICACIÓN	Lima, Perú	Fecha de ensayo:	10/09/2023

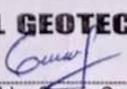
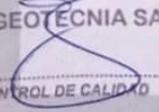
TIPO: DISEÑO PATRÓN

IDENTIFICACIÓN	L (cm)	b (cm)	h (cm)	P (Kg-f)	Mr (Kg/cm2)
PATRÓN - 1	20.0	10.0	8.0	2437.1	114.2
PATRÓN - 2	20.2	10.0	8.0	2151.6	101.9
PATRÓN - 3	20.2	10.0	8.0	2080.2	98.5
<b>PROMEDIO</b>					104.9

FORMULA: 
$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

DONDE:  
P = Carga, Kg-f  
L = Distancia entre apoyos, (cm)  
b = Largo, (cm)  
h = Altura, (cm)

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.  
\* El ensayo a la flexión se realizó sobre el adoquín entero.

Elaborado por:  <b>Jefe de Laboratorio</b>	Revisado por:  <b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	Aprobado por:  <b>CONTROL DE CALIDAD</b> <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>
---	--	--

**Anexo N° 29 Ensayo de resistencia a la flexotracción para la muestra MT1**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



SGS



UKAS  
MANAGEMENT  
SYSTEMS  
0005

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO FLEXIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA</b>	Código	FOR-LTC-AL-049
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/06/2016

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
INEN - 295

REFERENCIA	: ENSAYO A FLEXIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO A 28 DÍAS		
AUTORES	: Clemente Eduardo Concepción Espinoza		
TESIS	: "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"		
UBICACIÓN	: Lima, Perú	Fecha de ensayo:	10/03/2023

TIPO: Patron + 1.5% TiO2

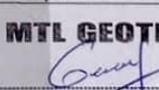
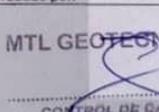
IDENTIFICACIÓN	L (cm)	b (cm)	h (cm)	P (Kg-f)	Mr (Kg/cm2)
Patron + 1.5% TiO2	20.1	9.9	7.9	2049.6	100.0
Patron + 1.5% TiO2	20.2	10.1	8.2	2192.4	97.8
Patron + 1.5% TiO2	20.0	10.1	8.1	2161.8	97.9
<b>PROMEDIO</b>					98.6

FORMULA: 
$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

DONDE:  
P = Carga, Kg-f  
L = Distancia entre apoyos, (cm)  
b = Largo, (cm)  
h = Altura, (cm)

**OBSERVACIONES:**

- \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.
- \* El ensayo a la flexión se realizó sobre el adoquín entero.

<b>Elaborado por:</b>  <b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741	<b>Revisado por:</b> <b>MTL GEOTECNIA SAC</b>  <b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741	<b>Aprobado por:</b> <b>MTL GEOTECNIA SAC</b>  <b>CONTROL DE CALIDAD</b>
<small>Jefe de Laboratorio</small>	<small>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</small>	<small>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</small>

**Anexo N° 30 Ensayo de resistencia a la flexotracción para la muestra MT2**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



SGS



UKAS  
MANAGEMENT  
SYSTEMS  
0005

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO FLEXIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Código</td><td>FOR-LTC-AL-049</td></tr> <tr><td>Revisión</td><td>1</td></tr> <tr><td>Aprobado</td><td>CC-MTL</td></tr> <tr><td>Fecha</td><td>1/06/2016</td></tr> </table>	Código	FOR-LTC-AL-049	Revisión	1	Aprobado	CC-MTL	Fecha	1/06/2016
Código	FOR-LTC-AL-049									
Revisión	1									
Aprobado	CC-MTL									
Fecha	1/06/2016									

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
INEN - 295

REFERENCIA	ENSAYO A FLEXIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO A 28 DÍAS	
AUTORES	Clemente Eduardo Concepción Espinoza	
TESIS	"Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"	
UBICACIÓN	Lima, Perú	Fecha de ensayo: 10/03/2023

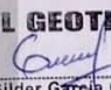
TIPO: Patron + 2.5% TiO2

IDENTIFICACIÓN	L (cm)	b (cm)	h (cm)	P (Kg-f)	Mr (Kg/cm2)
Patron + 2.5% TiO2	20.1	10.0	8.1	2008.8	92.3
Patron + 2.5% TiO2	20.2	10.0	8.0	2039.4	96.6
Patron + 2.5% TiO2	20.0	10.1	8.0	2070.0	96.1
<b>PROMEDIO</b>					95.0

FORMULA: 
$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

DONDE:  
P = Carga, Kg-f  
L = Distancia entre apoyos, (cm)  
b = Largo, (cm)  
h = Altura, (cm)

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.  
\* El ensayo a la flexión se realizó sobre el adoquín entero.

<b>Elaborado por:</b>  <b>Jefe de Laboratorio</b>	<b>Revisado por:</b>  <b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741 <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	<b>Aprobado por:</b>  <b>CONTROL DE CALIDAD</b> <b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>
--	---	---

**Anexo N° 31 Ensayo de resistencia a la flexotracción para la muestra MZ1**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com




LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO FLEXIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA</b>	Código	FOR-LTC-AL-049
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/06/2016

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
INEN - 295

<b>REFERENCIA</b>	ENSAYO A FLEXIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO A 28 DÍAS		
<b>AUTORES</b>	Clemente Eduardo Concepción Espinoza		
<b>TESIS</b>	"Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"		
<b>UBICACIÓN</b>	Lima, Perú	<b>Fecha de ensayo:</b>	10/03/2023

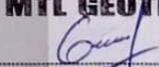
TIPO: Patron + 1.5 % ZnO

IDENTIFICACIÓN	L (cm)	b (cm)	h (cm)	P (Kg-f)	Mr (Kg/cm <sup>2</sup> )
Patron + 1.5% ZnO	20.0	10.1	8.0	1917.0	89.0
Patron + 1.5% ZnO	20.3	10.1	8.1	1917.0	88.1
Patron + 1.5% ZnO	20.1	10.0	8.0	1947.6	91.8
<b>PROMEDIO</b>					89.6

**FORMULA:**  $Módulo\ de\ ruptura = \frac{3PL}{2bh^2}$

**DONDE:**  
P = Carga, Kg-f  
L = Distancia entre apoyos, (cm)  
b = Largo, (cm)  
h = Altura, (cm)

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.  
\* El ensayo a la flexión se realizó sobre el adocquín entero.

<b>Elaborado por:</b>  <b>MTL GEOTECNIA SAC</b> <b>ENSAJO DE MATERIALES</b> <b>B°</b>	<b>Revisado por:</b> <b>MTL GEOTECNIA SAC</b>  <b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741	<b>Aprobado por:</b> <b>MTL GEOTECNIA SAC</b>  <b>CONTROL DE CALIDAD</b>
<b>Jefe de Laboratorio</b>	<b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	<b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b>

**Anexo N° 32 Ensayo de resistencia a la flexotracción para la muestra MZ2**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecriasac.com  
www.mtlgeotecriasac.com




LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO FLEXIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Código</td><td>FOR-LTC-AL-348</td></tr> <tr><td>Revisión</td><td>1</td></tr> <tr><td>Aprobado</td><td>CC-MTL</td></tr> <tr><td>Fecha</td><td>18/02/2023</td></tr> </table>	Código	FOR-LTC-AL-348	Revisión	1	Aprobado	CC-MTL	Fecha	18/02/2023
Código	FOR-LTC-AL-348									
Revisión	1									
Aprobado	CC-MTL									
Fecha	18/02/2023									

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
INEN - 295

REFERENCIA	ENSAYO A FLEXIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO A 28 DÍAS	
AUTORES	Clemente Eduardo Concepción Espinoza	
TESIS	"Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"	
UBICACIÓN	Lima, Perú	Fecha de ensayo: 15/02/2023

TIPO: Patron + 2.5% ZnO

IDENTIFICACIÓN	L (cm)	b (cm)	h (cm)	P (Kg-f)	Mr (Kg/cm <sup>2</sup> )
Patron 2.5% ZnO	20.2	10.1	7.9	2019.0	97.1
Patron 2.5% ZnO	20.3	10.2	8.0	2059.8	96.1
Patron 2.5% ZnO	20.0	10.0	8.1	2233.1	102.1
<b>PROMEDIO</b>					98.4

FORMULA:  $Módulo\ de\ ruptura = \frac{3PL}{2bh^2}$

DONDE:  
P = Carga, Kg-f  
L = Distancia entre apoyos, (cm)  
b = Largo, (cm)  
h = Altura, (cm)

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.  
\* El ensayo a la flexión se realizó sobre el adoquín entero.

<p>Elaborado por:</p> <div style="text-align: center;">  <p><b>Jefe de Laboratorio</b></p> </div>	<p>Revisado por:</p> <div style="text-align: center;">  <p><b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 259741</p> </div> <p>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p> <div style="text-align: center;">  <p><b>CONTROL DE CALIDAD</b></p> </div> <p>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</p>
--	--	--

**Anexo N° 33 Ensayo de absorción para la muestra MP**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
 Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
 San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
 www.mtlgeotecniasac.com



SGS



UKAS  
MANAGEMENT  
SYSTEMS  
0005

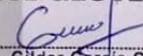
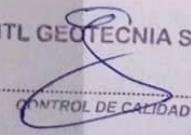
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN</b>	Código	FOR-LTC-AG-015
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/09/2015

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
ASTM C127

REFERENCIA : Datos de laboratorio  
 SOLICITANTE : Clemente Eduardo Concepción Espinoza  
 TESIS : "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"  
 UBICACIÓN : Lima Fecha de ensayo: 14/02/2023

ADOQUIN PATRON	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ABSORCIÓN DE AGUA (%)	4.08	5.13	2.34	--	--	--	--	--	--

**OBSERVACIONES:**  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

<p>Elaborado por:</p>  <p>Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p> <p><b>MTL GEOTECNIA S.A.C.</b></p>  <p>Gilder Gardía Guzmán              INGENIERO CIVIL              CIP N° 299741</p> <p>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p> <p><b>MTL GEOTECNIA SAC</b></p>  <p>CONTROL DE CALIDAD</p> <p>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</p>
--	---	--

**Anexo N° 34 Ensayo de absorción para la muestra MT1**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



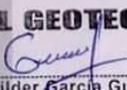

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN</b>	Código	FOR-LTC-AG-015
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/08/2018

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
ASTM C127

REFERENCIA : Datos de laboratorio  
 SOLICITANTE : Clemente Eduardo Concepción Espinoza  
 TESIS : "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"  
 UBICACIÓN : Lima Fecha de ensayo: 14/02/2023

ADOQUIN PATRON + 1.5 T102	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ABSORCIÓN DE AGUA (%)	1.49	1.26	1.45	--	--	--	--	--	--

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  <b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 293741 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad MTL GEOTECNIA
--	---	--

**Anexo N° 35 Ensayo de absorción para la muestra MT2**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



SGS



UKAS  
MANAGEMENT  
SYSTEMS  
0005

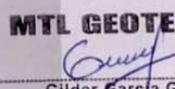
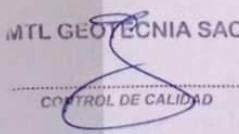
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN</b>	Código	FOR-LTC-AG-015
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/06/2016

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
ASTM C127

**REFERENCIA** : Datos de laboratorio  
**SOLICITANTE** : Clemente Eduardo Concepción Espinoza  
**TESIS** : "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"  
**UBICACIÓN** : Lima **Fecha de ensayo:** 14/02/2023

ADOQUIN PATRON + 2.5 T102	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ABSORCIÓN DE AGUA (%)	2.92	3.26	3.36	--	--	--	--	--	--

**OBSERVACIONES:**  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

<p><b>Elaborado por:</b></p>  <p style="text-align: center;">Jefe de Laboratorio</p>	<p><b>Revisado por:</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>MTL GEOTECNIA S.A.C.</b> Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 299741 Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p><b>Aprobado por:</b></p>  <p style="text-align: center;">MTL GEOTECNIA S.A.C. CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad MTL GEOTECNIA</p>
---	--	---

**Anexo N° 36 Ensayo de absorción para la muestra MZ1**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



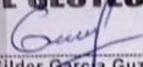

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN</b>	Código	FOR-LTC-AG-018
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	1/04/2018

**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**  
ASTM C127

REFERENCIA	Datos de laboratorio		
SOLICITANTE	Clemente Eduardo Concepción Espinoza		
TEMA	"Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"		
UBICACIÓN	Lima	Fecha de ensayo:	06/03/2023

ADOQUIN PATRON + 1.8 ZnO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ABSORCIÓN DE AGUA (%)	2.87	2.32	2.19	--	--	--	--	--	--

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  <b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  CONTROL DE CALIDAD Control de Calidad MTL GEOTECNIA
--	---	--

**Anexo N° 37 Ensayo de absorción para la muestra MZ2**



**MTL GEOTECNIA**  
Material Testing Laboratory

(511) 457 2237 / 989 349 903  
Jr. La Madrid 264 Asociación Los Olivos,  
San Martín de Porres - Lima - Perú

informes@mtlgeotecniasac.com  
www.mtlgeotecniasac.com



**SGS**



**UKAS**  
MANAGEMENT  
SYSTEMS  
0005

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO DE ABSORCIÓN</b>	Código	FOR-LTC-AG-018
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	10/02/19

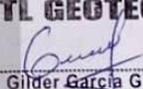
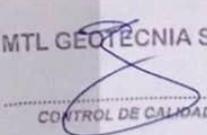
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO**  
ASTM C127

**REFERENCIA** : Datos de laboratorio  
**SOLICITANTE** : Clemente Eduardo Concepción Espinoza  
**TESIS** : "Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023"

**UBICACIÓN** : Lima **Fecha de ensayo:** 09/03/2023

ADOQUIN PATRON + 2.5 ZnO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ABSORCIÓN DE AGUA (%)	2.44	2.51	2.96	--	--	--	--	--	--

**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de MTL GEOTECNIA.

<p><b>Elaborado por:</b></p>  <p><b>Jefe de Laboratorio</b></p>	<p><b>Revisado por:</b></p>  <p><b>Gilder García Guzmán</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 299741</p> <p><b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b></p>	<p><b>Aprobado por:</b></p>  <p><b>CONTROL DE CALIDAD</b></p> <p><b>Control de Calidad MTL GEOTECNIA</b></p>
--	---	---

Anexo N° 38 Matriz de consistencia

Título: “Adición de los fotocatalizadores dióxido de titanio y óxido de zinc en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023”						
Planteamiento de la realidad problemática	Objetivo de la investigación	Hipótesis de la investigación	Metodología de trabajo			
Problema General	Objetivos General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿En qué medida la adición de TiO <sub>2</sub> y ZnO influye en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023?	<b>Determinar</b> en qué medida la adición de TiO <sub>2</sub> y ZnO influye en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023	La adición de TiO <sub>2</sub> influye significativamente en las propiedades del concreto para adoquines tipo II, Lima - 2023?	<b>Variable Independiente:</b>	Dosificaciones TiO <sub>2</sub>	0% TiO <sub>2</sub> 1.5% TiO <sub>2</sub> 2.5% TiO <sub>2</sub>	<b>Tipo:</b> Investigación cuantitativa experimental  <b>Instrumentos o herramientas:</b> Para el desarrollo del proyecto se realizarán ensayos de laboratorio de acuerdo a las normas técnicas peruanas e internacionales.  <b>Proceso de análisis:</b> Para el análisis de la información recolectada, se hará uso de los programas Excel y SSPS  <b>Población:</b> Adoquines de concreto con diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> y ZnO
				Dosificación ZnO	0% ZnO 1.5% ZnO 2.5% ZnO	
			Adición de los fotocatalizadores TiO <sub>2</sub> y ZnO	Características de TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> (95%) Impurezas (5%)	
				Características de ZnO	ZnO (99.8%) Impurezas (0.20%)	
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variable Dependiente:</b>	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	
1.¿Como la adición de TiO <sub>2</sub> y ZnO influye en la <b>resistencia a la compresión</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023?	1. <b>Calcular</b> cómo la adición de TiO <sub>2</sub> y ZnO influye en la <b>resistencia a la compresión</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023	1.La adición de TiO <sub>2</sub> influye positivamente en la <b>resistencia a la compresión</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023.	Propiedades del concreto para adoquines tipo II	Propiedades Físicas	Absorción (%)	
2.¿Como la adición de TiO <sub>2</sub> y ZnO influye en la <b>absorción</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023?	2. <b>Evaluar</b> cómo la adición de TiO <sub>2</sub> y ZnO influye en la <b>absorción</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023	1.La adición de TiO <sub>2</sub> influye positivamente en la <b>absorción</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023.			Resistencia a la flexotracción (kg/cm <sup>2</sup> )	
3.¿Como la adición de TiO <sub>2</sub> y ZnO influye en la <b>resistencia a la flexotracción</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023?	3. <b>Determinar</b> cómo la adición de TiO <sub>2</sub> y ZnO influye en la <b>resistencia a la flexotracción</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023	1.La adición de TiO <sub>2</sub> influye positivamente en la <b>resistencia a la flexotracción</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023.				

<p>4.¿Como la adición de TiO<sub>2</sub> y ZnO influye en la <b>actividad fotocatalítica</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023?</p>	<p>4. <b>Estimar</b> cómo la adición de TiO<sub>2</sub> y ZnO influye en la <b>actividad fotocatalítica</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023</p>	<p>1.La adición de TiO<sub>2</sub> influye positivamente en la <b>actividad fotocatalítica</b> de adoquines tipo II, Lima - 2023.</p>		<p>Propiedad Autolimpiante</p>	<p>Actividad fotocatalítica (%)</p>	
---	---	---	--	--------------------------------	-------------------------------------	--