UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**Evaluación de las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiable del mortero c/a 1:5 de cemento
portland
tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂),
en la ciudad de Lima**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Bernuy Chavez, Giancarlo Orlando (0000-0002-9918-0368)

Flores Cortez, Howard Hans (0000-0003-1264-3022)

ASESOR

Huerta Campos, Carlos Alberto (0000-0003-3758-3126)

Lima, 24 de junio de 2020

DEDICATORIA

*A Dios porque me demostró que existe y guía mis pasos en todo momento.
A mi esposa e hijos por el apoyo y ánimo que me brindan cada día para alcanzar nuestras metas
tanto profesionales como familiares. A mis padres, en especial a mi madre quien me acompaña
siempre de manera espiritual y quien es mi ejemplo para seguir como persona.*

Howard Flores

*Primero a dios a quien reconozco su presencia en todo lo que hago. También a mi familia
quienes en todo momento me apoyan incondicionalmente para alcanzar mis metas profesionales.*

Giancarlo Bernuy

AGRADECIMIENTOS

Nos faltarían paginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial nuestros padres y nuestras esposas que con su esfuerzo y dedicación nos dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

De igual forma, agradecemos a nuestro asesor de tesis, que desde un primer momento apostó por nuestro tema, y que gracias a sus consejos y correcciones hoy podemos culminar este trabajo.

Finalmente, a todos nuestros profesores que a lo largo de nuestra carrera aportaron con su conocimiento y experiencia nuestra formación académica.

RESUMEN

El deterioro de las construcciones realizadas a base de cemento, producido en gran medida, por la exposición de estas a la emisión de gases tóxicos emanados por el creciente parque automotor hace que se busquen alternativas a fin de contrarrestar su efecto sobre los elementos más expuestos. Un nuevo método para afrontar este problema es la incorporación del fotocatalizador dióxido de titanio TiO_2 capaz de desarrollar propiedades controladas por la luz solar como son la purificación del aire y la autolimpieza. Este trabajo busca introducir este componente orgánico al mortero de cemento usado para el tarrajeo de fachadas y elementos estructurales, para ello se adicionan diferentes porcentajes (5%, 7.5% y 10%) de dióxido de titanio (TiO_2) y se evalúan las propiedades de los morteros modificados haciendo uso de [1] para los ensayos de compresión, [2] para los ensayos de fluidez, [3] para los ensayos de absorción y [4] para los ensayos de actividad fotocatalítica. Este estudio concluye que el mejor porcentaje de adición de dióxido de titanio es de 5% con el cual se otorga al mortero de cemento la propiedad de autolimpieza sin perjudicar sustancialmente sus propiedades mecánicas.

Palabras clave: fotocatalizador, dióxido de titanio, mortero modificado, autolimpieza, propiedades mecánicas.

ABSTRACT

The deterioration of the surfaces of the constructions made with mortar c/a 1: 5 of portland cement, are produced by being exposed to the emission of toxic gases emanating from the growing automobile fleet, this problem causes alternatives to be sought in order to counteract its effect on buildings and the environment. A new method to deal this problem is the incorporation of the titanium dioxide photocatalyst (TiO₂) into the Portland cement mortar, which is capable of developing self-cleaning and air purification properties to be in contact with sunlight. This work seeks to introduce this organic component to the Portland cement mortar, used for the facade charging and structural elements, for this purpose, different percentages (5%, 7.5% and 10%) of titanium dioxide (TiO₂) are added and the properties of the modified mortars making use of [1] compression tests, [2] fluidity tests, [3] absorption tests and [4] photocatalytic activity tests with which the self-cleaning capacity was verified. This study concludes that the best percentage of titanium dioxide addition is 5%, with which the portland cement mortar is granted self-cleaning property without substantially damaging its mechanical properties.

Keywords: photocatalyst, titanium dioxide, modified mortars, self-cleaning, mechanical properties.

TABLA DE CONTENIDOS

<i>DEDICATORIA</i>	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	13
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Realidad problemática	19
1.3 Formulación del Problema.....	22
1.4 Hipótesis	22
1.5 Objetivo General	22
1.6 Objetivos Específicos.....	22
1.7 Indicadores de logro de objetivos.....	23
1.8 Descripción del contenido.....	23
2. MARCO TEORICO.....	25
2.1 Cemento	25
2.2 Tipos de Cemento	25
2.3 Aditivos de morteros y concreto	27
2.4 Mortero de cemento	27

2.4 Material Semiconductor.....	28
2.5 Fotocatálisis	28
2.6 Dióxido de Titanio TiO ₂	30
2.7 Efectos del Dióxido de Titanio TiO ₂	30
2.8 Materiales a base de cemento con TiO ₂	31
2.9 Mortero con TiO ₂	32
3. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1 Materiales.....	32
3.1.1 Cemento Sol.....	32
3.1.2 Agregado Fino	33
3.1.3 Agua.....	34
3.1.4 Dióxido de Titanio	34
3.2 Población.....	36
3.3 Muestra	36
3.4 Método	37
3.4.1 Nivel de Investigación	37
3.4.2 Diseño de Investigación	37
3.4.3 Variables de estudio y Operacionalización	38
3.4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	38
3.4.5 Técnicas de Procesamiento recolección y análisis de datos.....	39
3.4.6 Procedimiento para recolección de datos.....	40

3.4.7 Recolección de datos y análisis de la información.....	41
3.5 Ensayos de laboratorio.....	42
3.5.1 Granulometría	42
3.5.2 Módulo de finura.....	42
3.5.3 Peso unitario (masa por unidad de volumen).....	47
3.5.4 Peso específico y porcentaje de absorción de agregados finos	48
3.5.5 Contenido de humedad	49
3.5.6 Diseño de mezcla cemento – arena	50
3.5.6.1 Diseño de Mortero	54
3.5.7 Procedimiento para la obtención de pastas de morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.	57
4. RESULTADOS.....	59
4.1 Análisis de los resultados de la prueba de índice de fluidez de mortero cemento arena 1:5 para los diferentes tratamientos de adición de dióxido de Titanio.	59
4.1.1 Análisis estadístico de la prueba de fluidez	62
4.2 Análisis de los resultados de evaluar la resistencia a la compresión del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO ₂).	66
4.2.1 Resumen de los resultados obtenidos.....	70
4.1.2 Análisis estadístico de la prueba de compresión.....	73
4.3 Análisis de los resultados de evaluar la capacidad de absorción del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio TiO ₂	77
4.3.1 Análisis estadístico de la prueba de absorción.....	85

4.4 Análisis de los resultados de Evaluar la capacidad autolimpiante del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO ₂).	89
4.5 Resultado del análisis de precios unitarios del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO ₂).	95
4.5.1 Análisis de precios unitario tarrajeo exterior con mortero C:A 1:5 e=1.5cm (fuente Constructivo Julio 2019)	95
4.5.2 Análisis de precios unitario tarrajeo exterior con mortero C:A 1:5 e=1.5cm adicionado 5% TiO ₂ (Elaboración propia)	96
6. CONCLUSIONES	97
7. RECOMENDACIONES	99
8. REFERENCIAS	100
9. ANEXOS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Introducción a la ciudad fotocatalítica: Una visión del futuro ambiental.	15
Figura 2: “Dives in Misericordia” de Roma, Italia.....	16
Figura 3: Fotocatálisis: breve muestra histórica.....	17
Figura 4: Registro de emisiones medias anuales de partículas PM2.5 en el mundo.....	20
Figura 5: Deterioro de los muros que dividen el la Av. Caquetá en el Centro de Lima.	21
<i>Figura 6: Repintado de muros en Av. Miguel Grau, Centro de Lima</i>	<i>21</i>
<i>Figura 7: Deterioro de muros en Av. Paseo de la Republica</i>	<i>22</i>
Figura 8: Secado de Arena Fina	43
Figura 9: Inicio de Ensayo de Granulometría.....	43
Figura 10: Peso de agregado por Tamiz	44
Figura 11: Peso de Agregado Fino por Tamiz.....	44
Figura 12: Llenado de Arena Fina a Tamiz	44
Figura 13: Muestras finales.....	45
Figura 14 Relación Agua / Cemento vs Resistencia a la compresión	53
Figura 15 Pesaje de materiales a usar	57
Figura 16 Materiales según dosificación de la tanda.....	58
Figura 17 Mezclador mecánico según NTP 334.003 2017	58
Figura 18 Obtención de mortero por mezcla mecánica.	59
Figura 19 Llenado de cono.	60
Figura 20 Fluidéz del mortero patrón. C:A 1:5	60
Figura 21 Fluidéz de los morteros modificados	61
Figura 22 Graficas estadísticas Fluidéz	63

Figura 23 Intervalos de confianza simultáneos	65
Figura 24 Gráfica de intervalos de las medias de la fluidez.....	66
Figura 25 Molde prismático para ensayos de compresión	68
Figura 26 Humedecimiento de especímenes	68
Figura 27 Se enumeran las muestras para su ensayo	69
Figura 28 Se procede a ensayar los especímenes.....	69
Figura 29 Especímenes luego del ensayo (28 días)	70
Figura 30 Resistencia a la compresión a los 3 días	71
Figura 31 Resistencia a la compresión a los 14 días	72
Figura 32 Resistencia a la compresión a los 28 días	72
Figura 33 Resistencia a la compresión a los 28 días	73
Figura 34 Graficas estadísticas Compresión	74
Figura 35 Intervalos de confianza simultáneos	76
Figura 36 Gráficos de confianza de las medias de compresión	77
Figura 37 Configuración del espécimen en el contenedor para ensayo de absorción	79
Figura 38 Disposición de especímenes en el contenedor hermético	80
Figura 39 Especímenes codificados para prueba de absorción	80
Figura 40 Secado de especímenes	81
Figura 41 Pesaje de especímenes	81
Figura 42 Absorción promedio a las 0.25h	82
Figura 43 Absorción promedio a las 1.4h	83
Figura 44 Absorción promedio a las 24h	84
Figura 45 Gráficas de normalidad variable absorción.....	86

Figura 46 Intervalos de confianza simultáneos Absorción	88
Figura 47 Gráficos de confianza de las medias de absorción.....	89
Figura 48 Dispositivo usado para en ensayo UNI 11259	90
Figura 49 Ensayo 4 especímenes 0hrs	91
Figura 50 Ensayo 4 especímenes 4hrs	91
Figura 51 Toma de valor a^* con colorímetro portátil.	92
Figura 52 Evaluación índice R4.....	93
Figura 53 Evaluación índice R24.....	94
Figura 54 Solicitud de laboratorio UPC Monterrico.....	103
Figura 55 Ficha técnica cementos sol.....	104
Figura 56 Ficha técnica cementos sol (cont)	105
Figura 57 Figura 36 Ficha técnica Dióxido de titanio	106
Figura 58 Ficha técnica Rodamina.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipo de mortero y principales usos	28
Tabla 2 Comparación entre la fotocátalisis del TiO₂ y la fotosíntesis en plantas.....	29
Tabla 3 Propiedades físicas y químicas del cemento Sol	32
Tabla 4 Granulometría del agregado fino	34
Tabla 5 Propiedades típicas del TiO₂ CR-828 (no deben ser consideradas especificaciones)	35
Tabla 6 Materiales usados en la investigación.	35
Tabla 7: Resumen muestras incluidas las normas para cada prueba.....	37
Tabla 8: Variables de estudio y operacionalización.....	38
Tabla 9 Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura.....	42
Tabla 10 Análisis granulométrico del agregado fino (arena fina Topex)	46
Tabla 11 Densidad del agregado fino	47
Tabla 12 Peso específico y absorción de agregados finos	48
Tabla 13 Contenido de Humedad.....	49
Tabla 14 Proporción y usos del mortero de cemento.....	50
Tabla 15 Fluidéz recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.....	51
Tabla 16 Resistencia de los morteros C:A según su proporción en volumen.....	53
Tabla 17 Especificaciones de los materiales a usar	54
Tabla 18 Dosificaciones del mortero para ensayos	56
Tabla 19 Ensayo de fluidéz morteros modificados	61
Tabla 20 Morteros para ensayar según % de adición TiO₂.....	67

Tabla 21 Resistencia a la compresión a los 3 días	70
Tabla 22 Resistencia a la compresión a los 14 días	71
Tabla 23 Resultados tasa de absorción de la muestra a 0.25h	82
Tabla 24 Resultados tasa de absorción de la muestra a 1.4h	83
Tabla 25 Resultados tasa de absorción de la muestra a 24h	84
Tabla 26 Prueba de Rodamina en especímenes rectangulares medido a las 4 horas.	92
Tabla 27 Prueba de Rodamina en especímenes rectangulares medido a las 24 horas.	93
Tabla 28 Resumen de costos por m2	96

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las investigaciones del dióxido de Titanio (TiO_2) en el mundo se han concentrado en buscar técnicas para solucionar los problemas de contaminación, esto por medio del proceso llamado fotocátalisis que al hacer contacto la luz del sol con un catalizador como el dióxido de Titanio (TiO_2) genera propiedades autolimpiantes para purificar el aire. La foto significa luz y la catálisis es el proceso que acelera la reacción sin ser consumido. (TioCem, 2010)

Figura 1: Introducción a la ciudad fotocatalítica: Una visión del futuro ambiental.

Fuente: Toplicic, Jevtic, Grdic, Ristic, & Grdic, 2017

En 1970, una investigación sobre la separación fotocatalítica de agua usando electrodos de dióxido de titanio hizo posible la utilización de las propiedades fotocatalíticas con otros fines. (Fujishima & Honda, 1972)

A inicios del siglo XX, el dióxido de titanio ha sido utilizado en pinturas, cosméticos, vidrio, cerámicas y materiales a base de cemento. La fotocátalisis está llamando la atención desde los años

90, por esta razón se está evaluando actualmente a través de estudios piloto en Francia, Italia, los Países Bajos y Japón la necesidad de crear tecnología sostenible y amigable en favor del medio ambiente.

Desde 1996, se desarrolló los primeros experimentos a base cemento con adición de dióxido de titanio (TiO_2) en la mezcla del hormigón de la iglesia “Dives in Misericordia” de Roma, Italia, a este nuevo tipo de cemento fue llamado “TX Millennium”, contenía 5% de dióxido de titanio, con el cual se pudo apreciar las propiedades fotocatalíticas, consiguiendo la característica autolimpiable al entrar en contacto con la fachada. (Toplicic, Jevtic, Grdic, Ristic, & Grdic, 2017)

Figura 2: “Dives in Misericordia” de Roma, Italia.

Fuente: Toplicic, Jevtic, Grdic, Ristic, & Grdic, 2017

Figura 3: Fotocatálisis: breve muestra histórica.

1995-1998	I+D de programas de fotocatálisis en sistemas basados en cemento. Primera patente italiana (1996) Primeras publicaciones Primeros ensayos en concreto
1999-2001	Primer proyecto: “Dives in misericordia”, iglesia, Roma- Italia. “Cité de la Musique et des Beaux Arts”, Chambéry - Francia. Test de rodamina – B (decoloración) (CSTB - Francia)
2002-2005	Inicio del Proyecto PICADA (2002-2005) Experiencia de cañón de calles. Test de descontaminación piloto en Segrate, Calusco, Bergame-Italia. Lanzamiento de la primera versión de cemento fotocatalítico (TX Millenium ®). Desarrollo de laboratorio de métodos de pruebas.
2006-2011	Lanzamiento de cementos TX Active ® (Italia, Francia, España, USA) Publicación del primer estándar UNI (Italia) Tunel “Umberto I” Roma – Italia (2007)

Fuente: Crispino, 2010

En Bélgica se aplicó el proceso fotocatalítico al concreto para pavimento con adición de TiO_2 mostrando buenos resultados y removiendo contaminantes de la superficie logrando de esta manera la purificación del aire. (Boonen & Beeldens, 2014)

Teniendo en cuenta estas investigaciones a continuación se mencionan algunas investigaciones realizadas en diferentes países sobre el efecto de la adición de dióxido de titanio (TiO_2) en el mortero, haciendo énfasis en la prueba de resistencia a la compresión.

Jiménez y Moreno concluyen en su ensayo realizado, que la compresión a los 28 días de su muestra, el mortero con 5% de TiO_2 reemplazado en el cemento obtuvo un incremento en la resistencia a la compresión de hasta 6%, mientras que los morteros con 7.5% y 8.5% mostraron

una disminución de su resistencia, también se encontró que al aumentar la cantidad de TiO_2 en la mezcla, esta tiende a volverse menos manejable, ya que su proceso de fraguado es bastante rápido. Define que al aumentar la cantidad en porcentaje de TiO_2 , se muestra un mortero más seco y se convierte menos trabajable, por lo cual se recomienda el uso de plastificantes para mejorar la mezcla. Teniendo en cuenta el análisis de costos, se encontró que la aplicación con uso de mortero con 5% de TiO_2 en reemplazo del cemento portland, es solo 3% más caro que el mortero tradicional. (Jimenez Cortez & Moreno Burbano, 2016)

Otro estudio menciona la efectividad de TiO_2 para reducir los contaminantes atmosféricos de NO_x cuando se mezcla con diferentes variables de TiO_2 adicionado con hormigón. Los resultados permitieron tendencias y preocupaciones con este desarrollo de tecnología a ser dirigida y probada. No todos los materiales de TiO_2 tienen capacidades fotocatalíticas para reducir los contaminantes de NO_x . El TiO_2 en la fase anatasa que se fabricó específicamente para ser fotocatalítico. fueron los únicos materiales de TiO_2 probados que tuvieron la capacidad de disminuir significativamente Concentraciones de contaminantes de NO_x . (Hanson, 2014)

En su investigación de fin de master Abella Rodríguez concluye, que la adición de TiO_2 a los materiales cementicos no afecta a su capacidad resistente. En cuanto a la resistencia a compresión, no solo no afecta, sino que se observa una ligera mejoría conforme se aumenta la adición de TiO_2 , también demuestra que tienen propiedades autolimpiantes, por degradación de partículas orgánicas, inducidas por el efecto fotocatalítico de TiO_2 . Así mismo le confiere propiedades humectantes que favorecen la limpieza de partículas sueltas con la propia agua de lluvia. Pero considera conveniente seguir investigando para tener un mejor conocimiento de las variables que controlan la fotocatálisis sobre los materiales a base de cemento y así poder incrementar el

rendimiento de los efectos de autolimpieza, descontaminación y bactericida. (Abella Rodriguez, 2015)

En otra investigación de fin de master, menciona que estamos ante una tipología de materiales, con un gran número de cualidades positivas, que hace falta promover para ir aumentando progresivamente su implantación y recomienda promover el interés de reducir los contaminantes mediante materiales de construcción con efectos descontaminantes. (Lisbona García, 2016)

Otro estudio destaca la aplicación del dióxido de titanio TiO_2 en materiales cementantes los cuales buscan la autolimpieza y la purificación del aire, con las investigaciones que se llevan a cabo en diferentes partes del mundo, para lo cual se deberá estandarizar los ensayos de fotodegradación de los colorantes químicos más empleados para poder obtener resultados comparables entre sí y evaluar de forma eficiente esta nueva tecnología. (Medina Medina, Torres rojas, Meza Girón, & Villota Grisale, 2016)

1.2 Realidad problemática

Según los datos registrados recientemente por la Organización Mundial de la Salud (OMS), los niveles de contaminación del aire se han mantenido peligrosamente altos en muchas partes del mundo. Los resultados de los controles realizados a más de 4300 ciudades en 18 países indican que 9 de cada 10 personas respiran aire conteniendo grandes niveles de contaminantes. Este estudio arrojó otra cifra alarmante, siete millones de muertes registradas cada año, son producidas por la exposición de las personas a las partículas finas contenidas en el aire contaminado. La OMS recomienda que los niveles de concentración medias anuales de partículas finas (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) se mantengan en valores anuales medios de $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. (OMS, 2018)

En Europa, donde se realizan más controles de datos, ya se están tomando medidas para reducir la emisión de partículas contaminantes. Como muestra de ello la Comunidad Europea ha financiado

un proyecto denominado Light2CAT el cual ha logrado, según su informe final, eliminar los óxidos de nitrógeno contaminantes del aire con la incorporación de un fotocatalizador denominado dióxido de titanio (TiO₂). (CORDIS, 2017)

Figura 4: Registro de emisiones medias anuales de partículas PM2.5 en el mundo

Fuente: Instituto de Salud Global Barcelona

En el Perú la contaminación atmosférica se da en gran medida por el aumento desproporcionado de nuestro parque automotor. Los gases emitidos por los vehículos de transporte público y privado (algunos con más de 15 años de antigüedad) contienen partículas que se relacionan, según las investigaciones realizadas, con el índice de mortalidad prematura de causa cardiovascular, respiratoria y cáncer pulmonar. Asimismo, producen daños estéticos como físicos en los materiales es así que se observa como los edificios, monumentos y obras de arte, que se encuentran alrededor de lugares con afluencia vehicular moderada, se ven perjudicadas por la deposición seca o Húmeda del material particulado. (MINAM, 2016).

En la ciudad de Lima se tienen evidencias de la disminución de la calidad estética de los materiales a base de cemento, al parecer a nadie parece importarle el aspecto de la ciudad incluso se observa, al transitar por diversas avenidas, los signos de evidentes de contaminación y deterioro de obras que con materiales adecuados deberían de mantener un buen aspecto.

Figura 5: Deterioro de los muros que dividen el la Av. Caquetá en el Centro de Lima.

Fuente: Propia

Figura 6: Repintado de muros en Av. Miguel Grau, Centro de Lima

Fuente: Propia

***Figura 7: Deterioro de muros en Av. Paseo de la Republica
Fuente: Propia***

En consecuencia, esta investigación centra su interés en estudiar si las propiedades mecánicas del mortero de cemento sufren alguna alteración al introducir un porcentaje de dióxido de titanio (TiO_2) y si este material fotocatalítico dota al mortero de la capacidad de autolimpieza.

1.3 Formulación del Problema

¿Se alteran las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiable del mortero de cemento portland tipo I modificándolo con dióxido de titanio (TiO_2), en la ciudad de lima?

1.4 Hipótesis

El mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO_2) no altera sus propiedades mecánicas y tiene la capacidad de autolimpieza, en la ciudad de lima.

1.5 Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiable del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO_2), en la ciudad de Lima.

1.6 Objetivos Específicos

- Evaluar la capacidad de fluidez del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO_2).

-
- Evaluar la resistencia a la compresión del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂).
 - Evaluar la capacidad de absorción del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂).
 - Evaluar la capacidad autolimpiable del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂).
 - Estimar el análisis de precios unitarios del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂).

1.7 Indicadores de logro de objetivos

- Determinar la máxima resistencia a la compresión del mortero de cemento adicionado con dióxido de titanio (TiO₂).
- Determinar la máxima fluidez del mortero adicionado con dióxido de titanio (TiO₂).
- Determinar el grado de autolimpieza del mortero adicionado dióxido de titanio (TiO₂).
- Determinar el costo del mortero del mortero adicionado con dióxido de titanio (TiO₂).

1.8 Descripción del contenido

En el desarrollo de esta investigación se iniciará con el capítulo del “Marco Teórico” donde se expondrán los diferentes soportes conceptuales que existen sobre el problema a investigar. En el capítulo de “Materiales y Métodos” se presentarán los materiales a usar para los diferentes ensayos, así mismo en base a las normas técnicas peruanas y la norma Italiana (determinación de la actividad fotocatalítica en morteros hidráulicos) se realizarán los experimentos que nos permitirán afirmar o no la hipótesis de esta investigación. Los datos obtenidos en nuestros ensayos se revisarán en el capítulo “Resultados” y en el capítulo “Discusión de los resultados” compararemos los resultados de los morteros según su porcentaje de reemplazo. En el capítulo “Conclusiones” indicaremos si

la hipótesis planteada es válida o no, para finalmente en el capítulo de “Recomendaciones” sugeriremos posibles cambios y futuras líneas de investigación del proceso seguido en el presente documento.

2. MARCO TEORICO

2.1 Cemento

Es una conglomerante hidráulica mezcla de componentes sólidos formados por silicatos y aluminatos de calcio. En presencia de agua, los cementos forman productos de hidratación o hidratos, que resultan en una masa firme y dura que se conoce como pasta endurecida de cemento.

Todos los cementos fabricados en el Perú son del tipo Portland que se rigen por la norma NTP 334.009. (Alfaro Arana & Laura Conza, 2014)

2.2 Tipos de Cemento

Podemos dividirlos en cementos comunes, de alta performance y puzolánicos, cada uno de los cuales se subdividen en los tipos que se muestran a continuación:

2.2.1 Cementos Portland comunes

Portland tipo I: Es el más común de todos los cementos se usan cuando no requiere de propiedades y características especiales.

Portland tipo II: se usa cuando hay presencia moderada de ataque de sulfatos y se requiere un calor moderado de hidratación. Contiene Aluminato (C3A) menor al 8% en su composición.

Portland tipo III: Cemento de endurecimiento rápido, obtiene elevadas resistencias en los primeros siete días de fraguado.

Portland tipo IV: cemento de bajo calor de hidratación, se usa en lugares donde se necesita que el proceso de fraguado sea más lento de lo normal. Contiene altos porcentajes de belita C2S

(Silicato bicálcico $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) y celita C_4AF (Ferrito aluminato tetracalcico $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_3$). Posee buena resistencia al agrietamiento.

Portland tipo V: cemento que se usa cuando se necesita una alta resistencia a la acción de los sulfatos. Contiene bajo contenido de Alita C_3A (Silicato tricálcico $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) en un porcentaje del 5% lo que le da esa cualidad.

2.2.2 Cementos Portland de alta performance.

Tipo GU: cemento que se usa en construcciones en general.

Tipo HE: cemento que logra alta resistencia en menores tiempos de fraguado, normalmente menos de una semana.

Tipo MS: Se usa para prevenir ataques moderados de sulfatos como en las estructuras de drenaje donde las aguas subterráneas presentan concentraciones moderadas de sulfatos.

Tipo HS: cemento que se usa en lugares donde el suelo o agua subterránea contienen alta concentración de sulfatos.

Tipo MH: cemento que se usa en lugares donde se necesite controlar la temperatura de hidratación.

Tipo LH: cemento que se usa donde la tasa y cantidad de calor generado por la hidratación deben ser minimizadas. Se ve su uso en la mayoría de casos en estructuras de concreto masivo.

2.2.3 Cemento portland puzolánico

Portland Puzolánico tipo IP: Contiene 40% de material puzolánico en su composición, se usan en estructuras en general.

Portland puzolánico tipo I (PM): Contiene al menos 15% de material puzolánico, se usan en estructuras en general.

Portland puzolánico tipo P: Contiene más de 40% de material puzolánico, se usan donde las construcciones donde no se necesiten resistencias a edades tempranas ni altas. (Alfaro Arana & Laura Conza, 2014).

2.3 Aditivos de morteros y concreto

Un aditivo es un producto que es adicionado al mortero o concreto en pequeña cantidad, con el propósito de mejorar o dar propiedades específicas a las mezclas, tanto para su estado fresco como para su estado endurecido. Un aditivo tiene por lo general una acción principal, aunque puede presentarse igualmente a ciertas acciones secundarias. Los aditivos se comercializan bajo la forma de polvos solubles o bien como líquidos, siendo estos los más aceptados y se venden bajo denominaciones correspondientes a una marca o sociedad. (Alanya Veli, 2017)

2.4 Mortero de cemento

Se define como la mezcla de pasta (cemento, agua y aire) y agregado fino (arena) la cual es utilizada para pega de ladrillos en muros de mampostería o en el recubrimiento de estos. Las condiciones de trabajabilidad varían de acuerdo a la proporción de cemento:arena usada. La confección de este mortero, se efectúa de modo continuo, haciendo que el tiempo entre amasado y colocación en obra sea el menor posible debido al rápido fraguado del cemento. Es así que se acostumbra en la práctica, mezclar el cemento y la arena para luego añadir agua. (Guzman, 2001)

Tabla 1: Tipo de mortero y principales usos

MORTERO	USOS
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos.
1:2	Para impermeabilizaciones y morteros de tanques subterráneos. Rellenos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos.
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosas. Pañetes fríos.
1:5	Pañetes exteriores, pega de ladrillos y baldosines, pañetes de mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: (Lopez, 2003)

2.4 Material Semiconductor

Definimos un material semiconductor como una sustancia que aumenta su conductividad eléctrica al aumentar la temperatura (Pérez, 2016). El silicio (Si), el germanio (Ge), el selenio (Se) y el dióxido de titanio (TiO₂) son elementos que poseen propiedades eléctricas intermedias entre los conductores y los aislantes eléctricos, por lo que debido a esa contradicción no se consideran ni lo uno ni lo otro. Sin embargo, al ser expuestos a determinadas condiciones estos elementos permiten la circulación de la corriente eléctrica por lo que adquieren la denominación de semiconductores. (Cortez & Burbano, 2016)

2.5 Fotocatálisis

Para definir el concepto de fotocatálisis tenemos que definir primero que es una reacción catalítica. Una reacción catalítica no es más que el proceso por el cual se acelera, mediante la participación de una sustancia llamada catalizador, una reacción química. Si el proceso de activación del

catalizador hace que este absorba luz, entonces esta reacción se le conoce como fotocátalisis. (Pérez, 2016)

La fotocátalisis es un fenómeno natural que ayuda a degradar los compuestos perjudiciales al medio ambiente como los óxidos de nitrógeno (NOx), dióxidos de carbono (CO2) y óxidos de azufre (SOx). (Rodriguez, 2015)

Es similar a la fotosíntesis en el mecanismo de las plantas, donde la clorofila actúa como un catalizador para producir oxígeno a partir de dióxido de carbono y agua. La clorofila es un fotocatalizador muy poderoso, el fotocatalizador en el proceso de fotocátalisis corresponde a la clorofila en el proceso de fotosíntesis. (Ohama & Van Gemmert, 2011)

Tabla 2 Comparación entre la fotocátalisis del TiO2 y la fotosíntesis en plantas.

Absorción de luz por la clorofila	Absorción de la luz por el fotocatalizador TiO ₂

Generación de Oxígeno (O ₂) a partir de CO ₂ y H ₂ O por fotosíntesis de la clorofila en las plantas.	Generación de O ₂ y H ₂ por Fotocatálisis de H ₂ O con fotocatalizador de TiO ₂	Generación de CO ₂ y H ₂ O por Fotocatálisis de materia orgánica con Fotocatalizador TiO ₂ .

Fuente: (Ohama & Van Gemmert, 2011)

2.6 Dióxido de Titanio TiO₂

El dióxido de titanio cuya forma molecular es TiO₂ es muy abundante en la naturaleza y no se encuentra en estado puro, sino en forma de óxidos. El óxido básico negro FeTiO₃, mineral llamado ilmenita se encuentra de forma natural y este es la fuente principal para obtener el Titanio de manera comercial. Se puede encontrar en tres modificaciones cristalinas del TiO₂: rutilo (estructura tetragonal), anatasa (estructura octaédrica) y brookita (estructura ortorrómbica), el rutilo es la más estable debido a que la anatasa y brookita se transforman en rutilo bajo calentamiento. El TiO₂ rutilo y el TiO₂ anatasa se producen en grandes cantidades de manera industrial en países como la India, Rusia y en países de Sudamérica, siendo el pigmento de color blanco inorgánico más abundante de producción mundial, relativamente barato y no tóxico, también tienen la mayor acción fotocatalizadora en presencia de la radiación solar. (Cortez & Burbano, 2016)

La cualidad principal del TiO₂ es su intenso color blanco y la capacidad de mantener su tono al paso del tiempo, esto por tener propiedades regenerativas, es por esto su amplio uso en la industria. (Medina Medina, Torres rojas, Meza Girón, & Villota Grisale, 2016)

2.7 Efectos del Dióxido de Titanio TiO₂

Al ser expuesto el dióxido de titanio (TiO₂) a la luz de los rayos UV, propiedades de purificación del aire, propiedades autolimpiantes y propiedades antimicrobianas tienden a generarse de manera espontánea y simultáneamente en la superficie del material con TiO₂, esto sucede por ser un material fotocatalítico que tiene una estructura electrónica compuesta por dos bandas, una banda de valencia que está llena de electrones y la otra banda de conducción que está sin electrones. (Maury & De Belie, 2010)

La acción fotocatalítica del TiO_2 actúa eliminando las moléculas orgánicas colorantes, pero, indirectamente, también permite reducir el efecto negativo de la suciedad que representa el polvo simple (partículas sólidas inorgánicas). La limpieza de estas partículas se basa en la degradación de la capa orgánica que normalmente estos materiales utilizan como adherente y posteriormente, en una completa remoción de las partículas remanentes con agua proveniente de precipitaciones. (Abella Rodriguez, 2015)

Para el caso del dióxido de Titanio (TiO_2), además de sus propiedades mecánicas y de su elevada resistencia a la corrosión, sus propiedades fotocatalíticas lo convierten en un material óptimo para fabricar superficies autolimpiables, este material absorbe rayos UV, y así se modifica su estructura electrónica mediante dopaje, la adición de TiO_2 a los revestimientos, es una alternativa atractiva debido a que los recubrimientos están en contacto directo con los contaminantes. (Hernández Rodríguez, 2015)

2.8 Materiales a base de cemento con TiO_2

Las adiciones de partículas con propiedades fotocatalíticas comprenden la fabricación de un amplio rango de materiales modificados, en donde los materiales a base de cemento con adiciones de partículas fotocatalizadoras buscan obtener un material con propiedades especiales. (Abella Rodriguez, 2015) . Sin embargo, se requiere un mayor conocimiento del fenómeno fotocatalítico en los materiales a base de cemento modificado con el dióxido de titanio (TiO_2), solamente hay un número limitado de productos que utilizan esta tecnología en el mercado de la construcción. (Maury & De Belie, 2010)

2.9 Mortero con TiO₂

Los morteros son mezclas de cemento, arena y agua, los cuales tienen la función de unir materiales de construcción como piedras o ladrillos. Según su dosificación puede ser usado para asentar ladrillo o para tarrajear las paredes y cielo rasos. (Medina Medina, Torres rojas, Meza Girón, & Villota Grisale, 2016)

El dióxido de titanio (TiO₂) se adiciona directamente al cemento que conforma el material. De esta manera con este cemento se pueden producir morteros con propiedades fotocatalíticas y autolimpiantes, su aplicación será más efectiva sobre determinado tipo de elementos constructivos, por lo que se deberá usar en su forma más adecuada. Siendo el mortero el más requerido. (Abella Rodrigez, 2015)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

Se presentan en esta sección los materiales a usar para el desarrollo de la presente investigación.

3.1.1 Cemento Sol

Es un cemento portland tipo I, obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso.

Tabla 3 Propiedades físicas y químicas del cemento Sol

Parámetro	Unidad	Cemento Sol	Requisitos NTP 334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	336	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.12	No especifica
Resistencia a la compresión			

Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	310	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	377	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	438	Mínimo 285 (opcional)
Tiempo de fraguado			
Fraguado Vicat Inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat Final	min	305	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.00	Máximo 3.5
Perdida al fuego	%	1.92	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.7	Máximo 1.5
Fases mineralógicas			
C ₂ S	%	11.9	No especifica
C ₃ S	%	54.2	No especifica
C ₃ A	%	10.1	No especifica
C ₄ AF	%	9.7	No especifica

Fuente: UNACEM.

3.1.2 Agregado Fino

La forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros de sección; esta distribución del tamaño de las partículas, es lo que se conoce con el nombre de GRANULOMETRÍA. (Rivera, 2015)

La fracción fina de los suelos gruesos, cuyas partículas tienen un tamaño inferior a 4,76 mm (tamiz No. 4) y no menor de 0,074 mm o 74µm (tamiz No. 200), es lo que comúnmente se denomina AGREGADO FINO; y la fracción gruesa, o sea aquellas partículas que tienen un tamaño superior a 4,76 mm (tamiz No. 4), es lo que normalmente se llama AGREGADO GRUESO. (Rivera, 2015)

En esta investigación se uso la arena fina Topex proveniente de la cantera de zapallal la cual cumple con los requisitos de la Norma Técnica Peruana 400.037 donde se establece que la gradación tendrá que cumplir los limites de la tabla 4.

Tabla 4 Granulometría 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)	05 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037

3.1.3 Agua

Según la Norma Técnica Peruana 339.088 el agua es el componente que se utiliza para generar las reacciones químicas en los cementantes del concreto hidráulico o del mortero de cemento portland.

Para la presente investigación se usará agua potable directamente del grifo del laboratorio.

3.1.4 Dióxido de Titanio

El pigmento de dióxido de titanio es un producto universal con las más altas propiedades ópticas y buena durabilidad para aplicaciones interiores y exteriores. En la investigación se usa el dióxido de titanio en polvo de procedencia americana de la marca Tronox CR828 distribuido por Insuquímica en bolsas de 1kg.

Tabla 5 Propiedades típicas del TiO₂ CR-828
(no deben ser consideradas especificaciones)

TiO ₂ contenido %	95
Densidad	
Gravedad específica	4.1
Volumen	0.8 kg/l
Absorción de aceite	18
pH	7.5
Resistencia específica (kohms-cm)	8
Promedio del tamaño de la partícula (µm)	0.19
Especificaciones	
ASTM D-476-00 (2005)	Tipo II, III, VI, VII
ISO 591-1:2000	R2
FDA	Aditivo alimenticio indirecto

Fuente: Ficha Técnica TRONOX CR828

Tabla 6 Materiales usados en la investigación.

Cemento Portland Tipo I bolsa de 42.5kg	Arena fina bolsa de 40kg

Dióxido de Titanio (bolsa de 1kg)	Rodamina B500 (bolsa de 0.100kg)

Fuente: Elaboración propia

3.2 Población

Morteros de cemento Portland y arena en proporción 1:5 con adición de diferentes porcentajes de dióxido de titanio elaborados en la ciudad de Lima.

3.3 Muestra

Se realizará 24 probetas prismáticas rectangulares de 5cm x 5cm x 5cm para ensayos de fluidez, elaborados de mortero de cemento: arena 1: 5 con adición de dióxido de titanio.

Se realizará 24 probetas prismáticas rectangulares de 5cm x 5cm x 5cm para ensayos a la compresión, elaborados de mortero de cemento: arena 1: 5 con adición de dióxido de titanio.

Se realizará 24 probetas prismáticas rectangulares de 5cm x 5cm x 5cm para ensayo de absorción, elaborados de mortero de cemento: arena 1: 5 con adición de dióxido de titanio.

Se realizará 16 probetas prismáticas rectangulares de 10cm x 10cm x 2.5cm para ensayo de decoloración con rodamina B, elaborados de mortero cemento: arena 1: 5 con adición de dióxido de titanio.

Tabla 7: Resumen muestras incluidas las normas para cada prueba.

Cantidad	Medidas (cm)	Pruebas	Normas
12	5x5x5	Ensayo de fluidez	NTP 334.057
54	5x5x5	Ensayo de compresión	NTP 334.051
12	5x5x5	Ensayo de absorción	NTP 399.361
16	10x10x2.5	Ensayo de decoloración del pigmento rodamina	UNI 11259

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Método

3.4.1 Nivel de Investigación

El nivel de esta investigación es descriptivo se usará el Método Cuantitativo. El uso de este método ayudará a medir las variables cuantitativas de la investigación de las probetas prismáticas que se elaboraran, y esto permitirá lograr medir los parámetros físicos y mecánicos de los materiales que se ensayen en el Laboratorio.

3.4.2 Diseño de Investigación

La investigación se basará en la determinación del porcentaje adecuado de sustitución de dióxido de titanio en la mezcla de proporción 1:5 de cemento y arena que cumpla con los

requisitos de las propiedades mecánicas del mortero. Luego de ello con el porcentaje adecuado se ensayará la propiedad autolimpiantes del mortero modificado.

3.4.3 Variables de estudio y Operacionalización

Presentamos nuestras variables que indicaran los resultados finales de nuestra investigación, las cuales se hallaran mediante ensayos en laboratorio y trabajo en gabinete.

Tabla 8: Variables de estudio y operacionalización

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumentos de recolección de datos
Fluidez	Ensayo de la fluidez de pastas de mortero	Grado de plasticidad del mortero.	Porcentaje (%)	Observación experimental
Resistencia a la compresión	Ensayos de resistencia a la compresión	Valor de la resistencia a la compresión.	kg/cm ²	Observación experimental
Absorción	Ensayo de absorción de morteros de albañilería.	Tasa de absorción de agua.	Absorción del agua en gramos/100 cm ²	Observación experimental
Capacidad Autolimpiable	Ensayo de decoloración del pigmento rodamina	Grado de autolimpieza.	Porcentaje (%)	Observación experimental
Costo por m ²	-	Costo del mortero.	Soles (S/.)	Observación experimental

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Se procedió con los siguientes pasos durante el desarrollo de la investigación:

-
- Revisión del material bibliográfico.
 - Revisión de las normas técnicas peruanas aplicadas a las propiedades del mortero
 - Revisión de la norma italiana aplicada a la determinación de actividad fotocatalítica de aglutinantes hidráulicos - Método Rodamina.
 - Análisis documental.
 - Observación experimental.
 - Para recopilar la información se utilizó el Método Cuantitativo el cual se utilizó para medir las variables cuantitativas de estudio de los tratamientos de mortero adicionado con dióxido de titanio (TiO₂); este método ayudara a medir los parámetros físicos y mecánicos de los materiales que se ensayen en el Laboratorio.

3.4.5 Técnicas de Procesamiento recolección y análisis de datos

La técnica usada fue el desarrollo y observación de los ensayos, posteriormente se recopilaron los resultados para analizarlos a fin de contrastar los mismos con las hipótesis planteadas al inicio de la investigación. Para todos los ensayos se tomaron las siguientes referencias normativas en sus versiones más actualizadas hasta el momento de la realización de estos.

- NTP 400.017:2011 (revisada el 2016) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009)
- NTP 399.607:2018 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Agregados para mortero de albañilería
- NTP 334.003:2017 CEMENTOS: Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.

-
- NTP 334.051 2013 (revisada el 2018) CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Pórtland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado.
 - NTP 334.057 2011 (revisada el 2016) CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland.
 - NTP 399.631 2010 (revisada el 2015) UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo normalizado para la tasa de absorción del agua de morteros de albañilería.
 - UNI 11259:2016 Fotocatálisis - Determinazione dell'attività fotocatalitica di leganti idraulici- Método della rodamina.
 - CAPECO Análisis de Precios Unitarios en Edificaciones – 2014: Costo del tarrajeo C:A 1:5 e=1.5cm.

3.4.6 Procedimiento para recolección de datos

- Para determinar la fluidez del mortero se realizaron las mezclas mecánicamente bajo la normativa NTP 334.003:2017 con la dosificación calculada previamente con los porcentajes de 0%, 5%, 7.5% y 10% de adición del dióxido de titanio TiO_2 . Según la normativa de la Norma Técnica Peruana 334.057 2011 (revisada el 2016) que establece el procedimiento del ensayo de fluidez de los cementos portland obtuvimos los % de nuestras mezclas para esta propiedad.
- Para determinar la resistencia de compresión se realizaron las mezclas mecánicamente bajo la normativa NTP 334.003:2017 con la dosificación calculada previamente con los porcentajes de 0%, 5%, 7.5% y 10% de adición del dióxido de titanio TiO_2 . Luego de ello se procedieron a elaborar 54 especímenes cúbicos de 50mm según lo establecido en NTP 334.051 2013 (revisada el 2018) las cuales se ensayaron a los 3, 14 y 28 días de curado.

-
- Para determinar la absorción del mortero se realizaron las mezclas mecánicamente bajo la normativa NTP 334.003:2017 con la dosificación calculada previamente con los porcentajes de 0%, 5%, 7.5% y 10% de adición del dióxido de titanio TiO_2 . Se procedió a elaborar 12 especímenes cúbicos de 50mm de lado los cuales se sumergieron en agua y fueron ensayados a los 28 días de curado según la norma NTP 399.631 2010 (revisada el 2015) para obtener el At (absorción del agua en gramos/100 cm^2).
 - Para el ensayo de autolimpieza (actividad fotocatalítica) se realizaron las mezclas mecánicas y la elaboración de los especímenes de 100mm x 100mm x 15mm según la norma UNI 11259:2016 delimitamos un área circular de $22 \pm 2 \text{cm}^2$ y aplicamos en ella 0.5ml de solución de rodamina 0.1g/l. Se toman muestras con el colorímetro en tres puntos diferentes de la muestra a las 0h, 4h y a las 24hs de exposición y se usa el valor del resultado de la media aritmética.

3.4.7 Recolección de datos y análisis de la información

Los resultados de todos los ensayos se recolectan en tablas de información realizadas en Excel siguiendo los lineamientos de las normas indicadas en punto 3.2.5 del presente documento.

Estos resultados se ingresan al programa estadístico SPSS y se realizan las pruebas de Kolmogórov-Smirnov, Shapiro-Wilk, el ajuste por Lilliefors para contrastar nuestra hipótesis y determinar la concordancia existente entre la distribución del conjunto de datos obtenidos (muestra) y una distribución teórica específica.

3.5 Ensayos de laboratorio

3.5.1 Granulometría

La granulometría de los agregados finos de acuerdo con la norma ASTM C 144-NTP 399.607, generalmente es satisfactoria para los morteros. La granulometría seleccionada deberá ser uniforme con valores retenidos en las mallas N°4 a N°200 de la Serie Tyler, que es la serie de tamices normalizada más usada en la determinación de partículas en el laboratorio.

3.5.2 Módulo de finura

El módulo de fineza es el índice del mayor o menor grosor del grupo de partículas de un agregado. Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3"; 1 ½"; ¾"; 3/8"; N° 4; N° 8; N° 16; N° 30; N° 50 y N° 100, divididas entre 100.

$$\text{Modulo de finura} = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Se contrastarán los valores con la tabla n°8 para ver nuestro agregado cumple con la clasificación indicada.

Tabla 9 Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura

Modulo de finura	Agregado Fino
Menor que 2,00	Muy fino o extrafino
2,00 – 2,30	Fino
2,30 – 2,60	Ligeramente fino
2,60 – 2,90	Mediano
2,90 – 3,20	Ligeramente grueso
3,20 – 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: (Rivera, 2015)

Figura 8: Secado de Arena Fina

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9: Inicio de Ensayo de Granulometría

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10: Peso de agregado por Tamiz

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Peso de Agregado Fino por Tamiz

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12: Llenado de Arena Fina a Tamiz

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13: Muestras finales

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10 Análisis granulométrico del agregado fino (arena fina Topex)

ENSAYO DE GRANULOMETRIA					
Tamiz N°	Diametro abertura (mm)	Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	9.525	0	0	0.00	100.00
N°4	4.750	0	0	0.00	100.00
N°8	2.360	20.26	2.026	2.03	97.97
N°16	1.180	186.51	18.651	20.68	79.32
N°30	0.600	204.49	20.449	41.13	58.87
N°50	0.300	268.91	26.891	68.02	31.98
N°100	0.150	182.01	18.201	86.22	13.78
Fondo		137.82	13.782	100.00	0.00
Peso Inicial Seco	1000	Módulo de finura	2.18

Fuente: Elaboración propia.

El valor hallado en el ensayo permite clasificarlo como agregado Fino pues su módulo de finura se encuentra en el rango de 2,00-2,30.

3.5.3 Peso unitario (masa por unidad de volumen)

Para hallar el peso unitario se siguen los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Peruana 400.017:2011 (revisada el 2016), se llena el recipiente cilíndrico a un tercio del total, y se nivela la superficie con los dedos, se apisona la capa de agregado con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido sobre la superficie. Se llena el recipiente a 2 tercios del total y se repite el proceso de nivelación y apisonado. Para terminar, se llena el recipiente por encima de su capacidad y se repite el proceso de apisonar y distribuir uniformemente el agregado. Se determina la masa del recipiente mas su contenido, la masa del recipiente vacío y se registran los valores con exactitud de 0.05kg.

Tabla 11 Densidad del agregado fino

DATOS INICIALES					
Recipiente	h (cm)	15.3	d (cm)	15.3	cm
Tamaño máximo Nominal	<1/2"		v	0.00281296	m3

DESCRIPCION	UND	MUESTRAS			RESULTADOS
		1	2	3	
Agregado fino compactado + peso del recipiente	kg	6.338	6.297	6.349	
Peso del recipiente	kg	1.558	1.558	1.558	
Peso del agregado fino compactado	kg	4.780	4.739	4.791	
Densidad del agregado compactado	kg/m3	1699.275	1684.700	1703.186	1695.720
Agregado fino suelto + Peso del recipiente	kg	5.904	5.895	5.901	
Peso del Agregado fino suelto	kg	4.346	4.337	4.343	
Densidad del agregado fino suelto	kg/m3	1544.990	1541.790	1543.923	1543.568

Fuente: Elaboración propia.

Luego del ensayo se obtienen los pesos unitarios de nuestras muestras siendo de 1696kg/m^3 para el agregado fino compactado y de 1544 kg/m^3 para el agregado fino suelto.

3.5.4 Peso específico y porcentaje de absorción de agregados finos

El peso específico es la relación del peso del material entre el volumen que ocupa sin considerar sus vacíos. La Norma Técnica Peruana NTP 400.022:2013 (revisada el 2018) indica el procedimiento a seguir para la obtención del peso específico seco, el peso específico húmedo saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado fino (cantidad de agua que puede absorber un agregado fino), a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como el control de uniformidad de sus características físicas.

Tabla 12 Peso específico y absorción de agregados finos

ID	DESCRIPCION	UND	MUESTRAS			RESULTADOS
			1	2	3	
A	Peso de la fiola con agua destilada	g	659.20	659.20	659.20	
B	Peso de la muestra SSS	g	500.00	500.00	500.00	
C	Peso fiola + agua + Muestra SSS	g	955.90	956.89	954.98	
D	Peso del agua C-A	g	296.70	297.69	295.78	
E	Volumen de la fiola	cm3	500.00	500.00	500.00	
G	Peso del recipiente	g	153.30	153.30	153.30	
H	Peso del recipiente + muestra secada al Horno	g	648.85	649.63	648.78	
I	Peso de la muestra secada al horno H-G	g	495.55	496.33	495.48	
J	Peso específico de la masa I/(E-D)	g/cm3	2.44	2.45	2.43	2.439
K	Peso específico SSS (base saturada) 500/(E-D)	g/cm3	2.46	2.47	2.45	2.460
L	Peso específico aparente (base seca) I/(E-D)-(500-I)	g/cm3	2.49	2.50	2.48	2.491
M	% Absorción (500-I)/I*100	%	0.90	0.74	0.91	0.850

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Contenido de humedad

En este ensayo evaluamos el porcentaje total de humedad evaporable de la muestra de agregado fino seco. Para este ensayo se sigue el procedimiento descrito en la Norma Técnica Peruana 339.185:2013 (revisada el 2018).

La fórmula para hallar el contenido de humedad total evaporable viene dada por:

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Donde

P: es el contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje

W: masa de la muestra húmeda original en gramos.

D: masa de la muestra seca en gramos

Tabla 13 Contenido de Humedad

ID	DESCRIPCION	UND	MUESTRAS		
			1	2	3
A	Peso del recipiente	g	26.8	26.8	26.8
B	Recipiente + suelo humedo	g	129.6	130.1	129.8
C	Recipiente + suelo seco	g	129.2	129.7	129.3
D	Peso del suelo humedo B-A	g	102.8	103.3	103.0
E	Peso del suelo seco C-A	g	102.4	102.9	102.5
G	W% Porcentaje de humedad D-E/E	%	0.43	0.42	0.47
H	Promedio	%	0.44		

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6 Diseño de mezcla cemento – arena

El uso del mortero se dosifica de acuerdo a la proporción de cemento y arena, debe ser hidráulico y debe prepararse teniendo en cuenta que haya el menor tiempo posible entre amasado y colocación: se acostumbra a mezclarlo en obra, revolviendo primer el cemento y arena y luego adicionando agua. En el mortero de cemento al igual que en el concreto, las características de la arena, tales como granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de la materia orgánica, inciden en su calidad.

Esta investigación centra su estudio en la evaluación de las propiedades del mortero 1:5 cuyo uso sirve para el tarrajeo de muros exteriores como lo muestra la tabla N°14.

Tabla 14 Proporción y usos del mortero de cemento

MORTERO	USOS
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones y rellenos.
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos.
1:3	Impermeabilizaciones menores y pisos
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines también para pañetes finos.
1:5	Pañetes exteriores, pega para ladrillos y baldosines, pañetes no muy finos y mampostería en general.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores, pega para ladrillos y baldosines, pañetes no muy finos y mampostería en general.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones

Fuente: (Lopez, 2003)

Una de las propiedades del mortero plástico es la manejabilidad que es una medida de la facilidad de manipulación de la mezcla, esta relacionada con la consistencia de la mezcla en cuanto a blanda

o seca, tal como se encuentra en estado plástico; depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y modulo de finura. (Lopez, 2003). La tabla N°15 recomienda una manejabilidad para diferentes tipos de mortero de acuerdo a los tipos de construcción y a los sistemas de colocación.

Tabla 15 Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación

Consistencia	Fluidez%	Condición de colocación	Ejemplo de tipos de estructura	Ejemplo de sistema de colocación.
Dura (seca)	80-100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Media (plástica)	100-120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos.	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120-150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos.	Manual, bombeo, inyección.

Fuente: (Lopez, 2003)

Por último, el contenido de agua del mortero tiene influencia en su resistencia; los morteros secos dan mayor resistencia que los morteros húmedos, porque pueden ser más densamente compactados. Para hallar la relación de A/C se necesitan ensayar con los materiales que se van a usar puesto que distintos cementos, aguas y agregados producen diferentes resistencias, para esta investigación se ha preparado un gráfico teniendo como base las ecuaciones del Ing. Gerardo A. Rivera L., las cuales se mencionan a continuación:

Para el límite superior

$$RC_{Mortero28d} = \frac{666.57}{6.59\bar{C}}$$

Para el límite inferior

$$RC_{Mortero28d} = \frac{851.12}{19.86\bar{C}}$$

Donde $RC_{Mortero28d}$: es la resistencia a la compresión del mortero a 28días en kg/cm²

A/C: Relación de Agua-Cemento en masa.

Para hallar la relación de A/C para esta investigación se gráfica la relación hallando los valores de $RC_{Mortero28d}$ usando los valores de A/C correspondientes, siendo para, el caso del mortero a diseñar y usando la función buscar objetivo del programa Microsoft Excel, un valor de 98 kg/cm² (según tabla N°16) la relación de A/C es de 0.72, este valor servirá para los cálculos posteriores del diseño del mortero.

Tabla 16 Resistencia de los morteros C:A según su proporción en volumen

Tipo de mortero	Proporción en volumen		Resistencia Kg/cm2
	Cemento	Arena	
Ricos	1	1	160
	1	2	
	1	3	
Ordinarios	1	4	130
	1	5	98
Pobres	1	6	75
	1	8	50
	1	10	30

Fuente: Cátedra de morteros de la universidad UCML

Figura 14 Relación Agua / Cemento vs Resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración Propia

Los moldes que se usan para evaluar la propiedad de compresión de mortero según la Norma Técnica Peruana NTP 334.051 2013 (revisada el 2018) tienen las siguientes dimensiones:

03 cubos primaticos de Ancho 50mm | Largo 50 mm | Altura 50mm

Con estas medidas se procederá a diseñar la mezcla del concreto y se usaran las especificaciones descritas en la tabla N°17.

Tabla 17 Especificaciones de los materiales a usar

Especificaciones de los materiales a usar	
Agregado Fino	
Peso específico	2.46 g/cm ³
PUSS	1543.57 kg/cm ³
Grado de absorción	0.85 %
Cantidad de aire incluido	1.00 %
Humedad	0.44 %
Cemento	
Peso específico	3120 kg/m ³
Dióxido de titanio	
Peso específico	800 kg/m ³
Dosificación	
Relación A/C	0.75
Relación C:A	1:5

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6.1 Diseño de Mortero

- Volúmenes Aparentes**

Cemento = 1 pie³

Agregado fino = 5 pie³

A/C = 0.72

- **Dosificación en volumen (1:5)**

Cemento	= 42.5kg
Agregado Fino	= $5 \times 1543.57 / 35.315 = 218.54$ kg
Agua	= 30.60kg
Total	= 291.64kg (Tanda)

- **Volúmenes absolutos**

Cemento	= $42.5 / 3120 = 0.0134$ m ³
Agregado Fino	= $218.54 / (2.46 \times 1000) = 0.0888$ m ³
Agua	= $30.60 / 1000 = 0.03060$ m ³
Subtotal	= 0.1329 m ³
Aire (1%)	= 0.0013291 m ³
Total	= 0.1342 m ³

- **Cantidad de materiales por m3**

$$N^{\circ} \text{ bolsas} = 0.1342 \times 3120 / 42.5 = 9.85 \text{ bol/m}^3$$

- **Materiales secos de diseño**

Cemento	= $9.85 \times 42.5 = 418.82$ kg
Agregado Fino	= $9.85 \times 218.54 = 2153.67$ kg
Agua de diseño	= $9.81 \times 30.60 = 301.55$ lts

- **Materiales corregidos por humedad**

Cemento = 422.86 kg

Agregado Fino = $2153.67 \times (1+0.44/100) = 2183.98 \text{ kg}$

Agua efectiva = $301.55 - ((0.85-0.44)/100) \times 2153.67 = 310.38 \text{ lts}$

- **Volumen requerido**

3 cubos prismáticos de 50mm de lado

Volumen=0.00375 m³

- **Materiales**

	Sin desperdicio		Con desperdicio (10%)
Cemento	0.1571 kg		0.1777 kg
Agregado Fino	0.8112 kg		0.8923 kg
Agua Efectiva	0.1164 kg		0.1280 kg

Tabla 18 Dosificaciones del mortero para ensayos

Especimen	TiO ₂		Cemento	Agregado Fino	Agua
	%	kg	Kg	Kg	lts
Mortero C/A 1:5	0	0.000	0.173	0.892	0.128
Mortero C/A 1:5 + 5% TiO ₂	5	0.009	0.164	0.892	0.128
Mortero C/A 1:5 + 7.5% TiO ₂	7.5	0.013	0.160	0.892	0.128
Mortero C/A 1:5 + 10% TiO ₂	10	0.017	0.155	0.892	0.128

Fuente: Elaboración propia.

3.5.7 Procedimiento para la obtención de pastas de morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.

Para la obtención de pasta de mortero usado para todos los ensayos se realizó el procedimiento descrito en la Norma Técnica Peruana NTP 334.003 2017, los que resumimos de la siguiente manera: Se colocan tanto la paleta y el recipiente secos en la posición de mezcla, se introducen los materiales para preparar una tanda, se vierte primero el agua de mezclado, luego se agrega cemento al recipiente y se inicia la mezcla durante 30s a velocidad lenta (140 ± 5 rpm), se agrega en un periodo de 30s la totalidad de la arena mientras se mezcla con la misma velocidad, es en este punto donde luego de obtener el mortero patrón se colocan los distintos porcentajes de dióxido de titanio TiO_2 . Detenemos la mezcladora y cambiamos a velocidad media (285 ± 10 rpm) durante 30s. Detenemos la mezcladora nuevamente y dejamos reposar la mezcla durante 90s, mientras esperamos con la espátula llevamos todo el mortero adherido a la pared hacia el fondo del recipiente seguidamente tapamos y esperamos hasta cumplir el lapso. Finalmente mezclamos durante 60s a velocidad media (285 ± 10 rpm), la mezcla obtenida ayudara con los ensayos de fluidez, compresión, absorción y a la preparación de los moldes indicados por la norma UNI 11259.

Figura 15 Pesaje de materiales a usar

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16 Materiales según dosificación de la tanda.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17 Mezclador mecánico según NTP 334.003 2017

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18 Obtención de mortero por mezcla mecánica.

Fuente: Elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados de la prueba de índice de fluidez de mortero cemento arena 1:5 para los diferentes tratamientos de adición de dióxido de Titanio.

Según la Norma Técnica Peruana 334.057 2011 (revisada el 2016) la fluidez es el incremento en promedio del diámetro base de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro de la base original, se realiza el procedimiento descrito en la iniciando con la limpieza y secado de la plataforma de la mesa de flujo, se coloca el molde de fluidez al centro. Se coloca una capa de mortero de aproximadamente 25 mm (1 pulg) de espesor en el molde y compactar 20 veces con el pisón. La presión de compactación será justo la suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde. Se llena el molde con una segunda capa de mortero y compactar conforme lo indicado en la primera capa. Se retira el exceso de mortero con un corte en una superficie plana y enrasarlo a nivel del borde superior del molde con la regla o la espátula y con un movimiento de aserrado en

el borde del molde. Se limpia y seca la mesa de flujos, teniendo especial cuidado de retirar cualquier residuo de mortero y agua que esté alrededor de la base del molde. Después de un minuto de terminada la operación de mezclado, quitar el molde por medio de un movimiento vertical y de inmediato dejar caer la mesa desde una altura de $12,7 \text{ mm} \pm 0,13 \text{ mm}$ ($\frac{1}{2} \text{ pulg} \pm 0,005 \text{ pulg}$) 25 veces en 15 s, a menos que otra sea la especificación.

Figura 19 Llenado de cono.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20 Fluidez del mortero patrón. C:A 1:5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19 Ensayo de fluidez morteros modificados

Especimen	ID	Diametro (mm)				Promedio (mm)	Diametro inicial cono	% Fluidez	Fluidez promedio (%)	Consistencia
		1	2	3	4					
Mortero C/A 1:5	F 1-1	213	214	215	214	214.00	102.01	109.78%	109.87%	Media
	F 1-2	214	215	214	215	214.50	102.01	110.27%		
	F 1-3	214	213	214	214	213.75	102.01	109.54%		
Mortero C/A 1:5 + 5% TiO ₂	F 2-1	204	204	206	205	204.75	102.01	100.72%	100.80%	Media
	F 2-2	205	205	206	205	205.25	102.01	101.21%		
	F 2-3	205	204	204	205	204.50	102.01	100.47%		
Mortero C/A 1:5 + 7.5% TiO ₂	F 3-1	198	199	197	198	198.00	102.01	94.10%	93.61%	Dura
	F 3-2	198	197	198	198	197.75	102.01	93.85%		
	F 3-3	197	196	196	198	196.75	102.01	92.87%		
Mortero C/A 1:5 + 10% TiO ₂	F 4-1	189	190	189	190	189.50	102.01	85.77%	84.87%	Dura
	F 4-2	189	188	189	189	188.75	102.01	85.03%		
	F 4-3	187	188	187	188	187.50	102.01	83.81%		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21 Fluidez de los morteros modificados

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Análisis estadístico de la prueba de fluidez

Para evaluar los datos obtenidos mediante análisis de varianza (ANOVA) nuestros resultados tienen que cumplir previamente los requisitos de normalidad, igualdad de varianzas, aleatoriedad de datos e independencia de poblaciones.

Haciendo uso del software Minitab ® se procede primero a evaluar la normalidad y la igualdad de varianzas, luego se usa la prueba de rango múltiple de Tukey la cual permite observar la diferencia estadística entre los tratamientos.

Se ingresan los datos al programa Minitab® y realizamos el estudio de la normalidad de nuestra variable.

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Adición TiO2	Fijo	4	0.00%; 5.00%; 7.50%; 10.00%

Análisis de varianza de Fluidez

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Adición TiO2	3	1014.70	338.232	804.18	0.000
Error	8	3.36	0.421		
Total	11	1018.06			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0.648530	99.67%	99.55%

De estos resultados interesa conocer el valor de Fisher ($F=804.18$) y los grados de libertad del tratamiento (Adición de $TiO_2=3$) y grados de libertad del error ($Error=8$).

Figura 22 Gráficas estadísticas Fluidez

Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica de probabilidad normal se observa que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad.

Para evaluar la homogeneidad de las medias vamos a comparar el valor F obtenido en Minitab® con el valor obtenido en Microsoft Excel® que es el F crítico de la prueba, para ello se usara la siguiente fórmula:

$\text{DISTR.F.INV}(\text{PROBABILIDAD}, \text{GRADOS DE LIBERTAD 1}, \text{GRADOS DE LIBERTAD 2})$

Donde probabilidad = 0.05

Grados de libertad 1 = Grados de libertad del tratamiento = 3

Grados de libertad 2 = Grados de libertad del error = 8

F crítico = 4.07

Planteamos nuestras hipótesis

H_0 : Todas las medias son iguales

H_1 : Al menos una media no es igual

Se rechaza H_0 si F calculado (Minitab) $\geq F$ crítico (Excel)

Entonces como $804.18 \geq 4.07$ rechazamos la hipótesis nula por tanto alguna de las medias es diferente, lo que permite usar la prueba de Tukey.

En Minitab® ingresamos al menú estadísticas->Análisis de varianza de un solo factor, colocamos en los campos Respuesta la variable a evaluar y en el factor los tratamientos, elegimos comparaciones y marcamos Turkey, se muestran a continuación los resultados:

Método de TUKEY

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles Valores
Adición TiO ₂	4 0.00%; 5.00%; 7.50%; 10.00%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Adición TiO ₂	3	1014.70	338.232	804.18	0.000
Error	8	3.36	0.421		
Total	11	1018.06			

Resumen del modelo

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.648530	99.67%	99.26%

Medias

Adicion

TiO2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0.00%	3	109.863	0.372	(109.000; 110.727)
5.00%	3	100.800	0.376	(99.937; 101.663)
7.50%	3	93.607	0.650	(92.743; 94.470)
10.00%	3	84.870	0.990	(84.007; 85.733)

Desv.Est. agrupada = 0.648530

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Adicion

TiO2	N	Media	Agrupación
0.00%	3	109.863	A
5.00%	3	100.800	B
7.50%	3	93.607	C
10.00%	3	84.870	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 23 Intervalos de confianza simultáneos

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24 Gráfica de intervalos de las medias de la fluidez

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el valor p obtenido ($0.000 < 0.05$) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa que indica que al menos una media es diferente, lo que significa que todos los tratamientos son significativamente diferentes entre sí, se puede corroborar gráficamente revisando la figura 24.

4.2 Análisis de los resultados de evaluar la resistencia a la compresión del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂).

Para estos ensayos nos alinearemos a lo contenido en la Norma Técnica Peruana NTP334.051 2013 (revisada el 2018) el cual establece el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión en morteros de cemento portland usando para ello cubos prismáticos de 50mm de lado.

El procedimiento establece llevar a rotura especímenes de 50mm de lado, los cementos son mezclados a una relación agua-cemento especificado, la cantidad de agua de amasado deberá producir una fluidez de 110 ± 5 luego de 25 golpes en la mesa de flujo. Los especímenes son compactados en dos capas por apisonado del compactador, se curan un día en su molde y luego son inmersos en agua hasta su ensayo.

Para los ensayos se hicieron 36 cubos los cuales se distribuyeron de la siguiente manera

Tabla 20 Morteros para ensayar según % de adición TiO_2

Especimen	Código	Cantidad (und)
Mortero C/A 1:5	M1.1 a M1.3	9
Mortero C/A 1:5 + 5% TiO_2	M2.1 a M2.3	9
Mortero C/A 1:5 + 7.5% TiO_2	M3.1 a M3.3	9
Mortero C/A 1:5 + 10% TiO_2	M4.1 a M4.3	9
	Total	36

Fuente: Elaboración propia.

Se preparan mecánicamente los morteros según norma, se adiciona el dióxido de titanio de acuerdo al porcentaje de diseño del mortero, a las 24 horas se desmoldan los cubos y se humedecen hasta el día de su ensayo (3, 14, 28 días)

Figura 25 Molde prismático para ensayos de compresión

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26 Humedecimiento de especímenes

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27 Se enumeran las muestras para su ensayo

Fuente: Elaboración propia.

Figura 28 Se procede a ensayar los especímenes

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29 Especímenes luego del ensayo (28 días)

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 Resumen de los resultados obtenidos

Tabla 21 Resistencia a la compresión a los 3 días

Porcentajes	Motero 1:5			
	0.0%	5.0%	7.5%	10.0%
CODIGO	M1	M 2	M3	M4
1	47.784	47.784	41.350	36.906
2	48.647	48.647	40.616	36.839
3	49.208	49.208	41.095	36.657
Resistencia				
promedio (fm)	48.546	44.998	41.020	36.801
Cantidad de datos	3.000	44.200	3.000	3.000
Desviación				
estándar	0.718	0.948	0.948	0.000
Resistencia (fm)	47.829	44.051	40.073	36.801

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30 Resistencia a la compresión a los 3 días

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22 Resistencia a la compresión a los 14 días

Motero 1:5				
Porcentajes	0.0%	5.0%	7.5%	10.0%
CODIGO	M1	M 2	M3	M4
1	80.763	77.649	69.884	62.119
2	80.616	79.051	71.967	63.854
3	78.425	79.964	71.481	62.851
Resistencia				
promedio (fm)	79.935	78.888	71.111	62.941
Cantidad de datos	3.000	3.000	3.000	3.000
Desviación				
estándar	1.310	1.166	1.090	0.871
Resistencia (fm)	78.625	77.722	70.021	62.070

Fuente: Elaboración propia.

Figura 31 Resistencia a la compresión a los 14 días

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32 Resistencia a la compresión a los 28 días

Motero 1:5				
Porcentajes	0.0%	5.0%	7.5%	10.0%
CODIGO	M1	M 2	M3	M4
1	124.178	118.265	105.256	93.429
2	126.421	120.401	107.157	95.117
3	127.881	121.791	108.394	96.215
Resistencia				
promedio (fm)	126.160	120.152	106.936	94.920
Cantidad de datos	3.000	3.000	3.000	3.000
Desviación				
estándar	1.865	1.776	1.581	1.403
Resistencia (fm)	124.295	118.376	105.355	93.517

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33 Resistencia a la compresión a los 28 días

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Análisis estadístico de la prueba de compresión

Haciendo uso del software Minitab ® se procede primero a evaluar la normalidad y la igualdad de varianzas, para luego usar la prueba de rango múltiple de Tukey la cual permite observar la diferencia estadística entre los tratamientos.

Se ingresan los datos al programa Minitab® y realizamos el estudio de la normalidad de nuestra variable que en este caso será el resultado de la resistencia a la compresión de los especímenes a los 28 días de curado.

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Adicion TiO2	Fijo	4	0.0%; 5.0%; 7.5%; 10.0%

Análisis de varianza de fc (kg/cm2)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Adicion TiO2	3	1752.96	584.322	210.54	0.000

Error	8	22.20	2.775
Total	11	1775.17	

Resumen del modelo

	R-	R-cuad.
S	cuad. (ajustado)	
1.66596	98.75%	98.28%

De estos resultados interesa conocer el valor de Fisher ($F=210.54$) y los grados de libertad del tratamiento (Adición de $\text{TiO}_2=3$) y grados de libertad del error (Error=8).

Figura 34 *Graficas estadísticas Compresión*

Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica de probabilidad normal se observa que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad.

Para evaluar la homogeneidad de las medias vamos a comparar el valor F obtenido en Minitab® con el valor obtenido en Microsoft Excel® que es el F crítico de la prueba, resolviendo la formual descrita en el punto 4.1.1 obtenemos:

F crítico= 4.07

Planteamos nuestras hipótesis

H0: Todas las medias son iguales

H1: Al menos una media no es igual

Se rechaza H0 si $F \text{ calculado (Minitab)} \geq F \text{ critico (Excel)}$

Entonces como $210.54 \geq 4.07$ rechazamos la hipótesis nula por tanto alguna de las medias es diferente, lo que permite usar la prueba de Tukey.

En Minitab® ingresamos al menú estadísticas->Análisis de varianza de un solo factor, colocamos en los campos Respuesta la variable a evaluar y en el factor los tratamientos, elegimos comparaciones y marcamos Turkey, se muestran a continuación los resultados:

Método de Tukey

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Adición TiO2	4	0.0%; 5.0%; 7.5%; 10.0%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Adición TiO2	3	1752.96	584.322	210.54	0.000
Error	8	22.20	2.775		
Total	11	1775.17			

Resumen del modelo

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.66596	98.75%	98.28%

Medias

Adición TiO ₂	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0.0%	3	126.16	1.87	(123.94; 128.38)
5.0%	3	120.15	1.78	(117.93; 122.37)
7.5%	3	106.936	1.581	(104.718; 109.154)
10.0%	3	94.920	1.403	(92.702; 97.138)

Desv.Est. agrupada = 1.66596

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Adición TiO ₂	N	Media	Agrupación
0.0%	3	126.16	A
5.0%	3	120.15	B
7.5%	3	106.936	C
10.0%	3	94.920	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 35 Intervalos de confianza simultáneos

Fuente: Elaboración propia.

Figura 36 Gráficos de confianza de las medias de compresión

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el valor p obtenido ($0.000 < 0.05$) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa que indica que al menos una media es diferente, lo que significa que todos los tratamientos son significativamente diferentes entre sí, se puede corroborar gráficamente revisando la figura 36.

4.3 Análisis de los resultados de evaluar la capacidad de absorción del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio TiO₂.

La absorción depende de la estructura capilar del material, por cuanto más compacto sea un mortero, menor será la red capilar y menor absorción presentará, su importancia radica en que la

absorción determina la permeabilidad del mortero, de forma tal que, si el mortero es permeable al agua, se transmite esta hacia su interior originando la aparición de humedades por filtración.

Para la Norma Técnica Peruana 399.631 los datos generados a partir de este método de ensayo pueden ser útiles para determinar la efectividad de los aditivos resistentes al agua o el efecto de otros aditivos o componentes de mortero en su resistencia al agua.

El procedimiento descrito en la norma indica un tratamiento especial para la preparación de los especímenes a ensayar, pasados 28 días $\pm$ 12h de su vaciado en los moldes, se retiran los mismos de la bolsa de plástico, se secan en un horno (110°C a 115°C) por un periodo no menor de 24h, se pesan por lo menos 2 veces en intervalos de 2 horas y se dejan enfriar en condiciones ambientales por un tiempo de 2 horas y hasta que alcancen la temperatura ambiental. Pasadas las 24 horas del procedimiento anterior se calculan las superficies de ensayo para cada espécimen a partir del largo y ancho de la superficie de ensayo (L1 promedio de 3 mediciones de la longitud de superficie en mm, L2 promedio de 3 mediciones del ancho de la superficie en mm), se registra como W0 el peso inicial en gramos antes de ensayar, se colocan los especímenes en el contenedor de absorción en contacto con los soportes tal cual se ilustra en la figura 31. Se añade agua a temperatura del cuarto al contenedor de modo que los especímenes se sumerjan parcialmente en 3,0 $\pm$ 0.5mm de agua, se cubre el contenedor de absorción para minimizar la evaporación. Se miden a las 0,25 h, 1,4h y 24h, los pesos de cada espécimen y se registran como WT donde T es la medida del tiempo en horas. Después de cada pesada se reemplazan los especímenes en contenedor de absorción y se añade agua para mantener la profundidad descrita anteriormente.

Siendo AT la absorción del agua en gramos/100cm², en cada periodo de tiempo, T, para cada espécimen su valor se calcula de la siguiente manera:

$$A_T = \frac{W_T - W_0 \times 10000}{L_1 \times L_2}$$

W_T : peso del espécimen en el tiempo T en gramos con una aproximación de 0.1g

W_0 : peso inicial del espécimen en gramos con una aproximación de 0.1g

L1: la longitud promedio de la superficie del ensayo del tubo del espécimen del mortero en mm, con una aproximación de 0.5mm.

L2: el ancho promedio de la superficie del ensayo del cubo del espécimen del mortero en mm, con una aproximación de 0.5mm.

Figura 37 Configuración del espécimen en el contenedor para ensayo de absorción

Fuente: NTP 399.631

Para los ensayos se evalúan 3 cubos por cada porcentaje de adición de dióxido de titanio y por cada lapso estipulado en la norma.

Figura 38 Disposición de especímenes en el contenedor hermético

Fuente: Elaboración propia.

Figura 39 Especímenes codificados para prueba de absorción

Fuente: Elaboración propia.

Figura 40 Secado de especímenes

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41 Pesaje de especímenes

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23 Resultados tasa de absorción de la muestra a 0.25h

Especimen	CODIGO	L1 (mm)	L2 (mm)	W0 (gr)	WT(gr)	Absorcion (gr/100cm2)	Absorcion Promedio (gr/100cm2)
Mortero C/A 1:5	M1-1	50	49	237.58	241.98	17.96	15.95
	M1-2	49	50	238.17	241.86	15.07	
	M1-3	50	49	235.28	238.91	14.81	
Mortero C/A 1:5 + 5% TiO2	M2-1	50	49	236.98	240.05	12.55	12.74
	M2-2	49	50	237.16	239.88	11.12	
	M2-3	50	49	235.79	239.36	14.55	
Mortero C/A 1:5 + 7.5% TiO2	M3-1	50	49	240.16	242.48	9.47	9.11
	M3-2	48	50	238.16	240.26	8.77	
	M3-3	50	49	236.15	238.38	9.09	
Mortero C/A 1:5 + 10% TiO2	M4-1	50	50	240.16	242.01	7.40	6.50
	M4-2	49	50	239.89	241.51	6.60	
	M4-3	50	49	241.09	242.44	5.51	

Inicio de ensayo

9:30am

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42 Absorción promedio a las 0.25h

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24 Resultados tasa de absorción de la muestra a 1.4h

Especimen	CODIGO	L1 (mm)	L2 (mm)	W0 (gr)	WT(gr)	Absorcion (gr/100cm2)	Absorcion Promedio (gr/100cm2)
Mortero C/A 1:5	M1-1	50	49	238.56	246.55	32.61	29.79
	M1-2	50	49	238.72	246.00	29.72	
	M1-3	50	49	239.17	245.79	27.04	
Mortero C/A 1:5 + 5% TiO2	M2-1	50	49	236.98	243.07	24.85	25.69
	M2-2	50	50	240.19	246.91	26.88	
	M2-3	50	49	238.61	244.81	25.33	
Mortero C/A 1:5 + 7.5% TiO2	M3-1	50	49	238.19	244.42	25.41	23.19
	M3-2	50	49	238.24	243.70	22.27	
	M3-3	50	49	238.19	243.55	21.89	
Mortero C/A 1:5 + 10% TiO2	M4-1	50	49	239.03	243.80	19.46	20.88
	M4-2	49	50	239.19	244.56	21.91	
	M4-3	50	49	240.06	245.27	21.25	

Inicio de ensayo

10:24am

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43 Absorción promedio a las 1.4h

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25 Resultados tasa de absorción de la muestra a 24h

Especimen	CODIGO	L1 (mm)	L2 (mm)	W0 (gr)	WT(gr)	Absorcion (gr/100cm2)	Absorcion Promedio (gr/100cm2)
Mortero C/A 1:5	M1-1	49	49	238.56	270.85	134.47	131.35
	M1-2	49	50	239.62	271.25	129.11	
	M1-3	49	49	238.57	269.89	130.46	
Mortero C/A 1:5 + 5% TiO2	M2-1	50	49	239.58	267.39	113.51	113.63
	M2-2	49	50	237.61	265.42	113.51	
	M2-3	49	49	238.56	265.90	113.86	
Mortero C/A 1:5 + 7.5% TiO2	M3-1	50	49	238.65	265.48	109.52	109.72
	M3-2	49	50	239.64	266.45	109.41	
	M3-3	50	49	238.66	265.67	110.24	
Mortero C/A 1:5 + 10% TiO2	M4-1	49	50	240.65	267.95	111.45	108.91
	M4-2	49	50	242.72	268.63	105.75	
	M4-3	50	49	242.83	269.66	109.52	

Inicio de ensayo

9:05am

Fuente: Elaboración propia.

Figura 44 Absorción promedio a las 24h

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Análisis estadístico de la prueba de absorción

Haciendo uso del software Minitab ® se procede primero a evaluar la normalidad y la igualdad de varianzas, para luego usar la prueba de rango múltiple de Tukey la cual permite observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Se ingresan los datos al programa y se realiza la comprobación de la normalidad de la variable que en este caso será el resultado del porcentaje de absorción a las 24hrs.

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Adición de TiO2	Fijo	4	0.00%; 5.00%; 7.50%; 10.00%

Análisis de varianza de %Absorción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Adición de TiO2	3	992.48	330.825	80.59	0.000
Error	8	32.84	4.105		
Total	11	1025.32			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
2.02613	96.80%	95.60%

Estos resultados que se muestran directamente del Minitab® nos da a conocer el valor de Fisher ($F=80.59$) y los grados de libertad del tratamiento (Adición de $TiO_2=3$) y grados de libertad del error (Error=8).

Asimismo, se observa de la gráfica de probabilidad normal (figura 43) que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad.

Figura 45 Gráficas de normalidad variable absorción

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar la homogeneidad de las medias vamos a comparar el valor F obtenido en Minitab® con el valor obtenido en Microsoft Excel® que es el F crítico de la prueba, resolviendo la fórmula descrita en el punto 4.1.1 obtenemos:

F crítico= 4.07

Planteamos nuestras hipótesis

H0: Todas las medias son iguales

H1: Al menos una media no es igual

Se rechaza H0 si $F \text{ calculado (Minitab)} \geq F \text{ critico (Excel)}$

Entonces como $80.59 \geq 4.07$ rechazamos la hipótesis nula por tanto alguna de las medias es diferente, lo que permite usar la prueba de Tukey.

En Minitab® ingresamos al menú estadísticas->Análisis de varianza de un solo factor, colocamos en los campos Respuesta la variable a evaluar y en el factor los tratamientos, elegimos comparaciones y marcamos Turkey.

Método Turkey

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Adición de TiO2	4	0.00%; 5.00%; 7.50%; 10.00%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Adición de TiO2	3	992.48	330.825	80.59	0.000
Error	8	32.84	4.105		
Total	11	1025.32			

Resumen del modelo

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.02613	96.80%	95.60% 92.79%

Medias

Adición de TiO2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0.00%	3	131.35	2.79	(128.65; 134.04)
5.00%	3	113.627	0.202	(110.929; 116.324)
7.50%	3	109.723	0.451	(107.026; 112.421)
10.00%	3	108.91	2.90	(106.21; 111.60)

Desv.Est. agrupada = 2.02613

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Adición de TiO ₂	N	Media	Agrupación
0.00%	3	131.35	A
5.00%	3	113.627	B
7.50%	3	109.723	B
10.00%	3	108.91	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 46 Intervalos de confianza simultáneos Absorción

Fuente: Elaboración propia.

Figura 47 Gráficos de confianza de las medias de absorción

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el valor p obtenido ($0.000 < 0.05$) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa que indica que al menos una media es diferente, lo que significa que todos los tratamientos son significativamente diferentes entre sí, aunque en la agrupación del método Turkey las medias de 5%, 7.5% y 10% de adición de TiO₂ son bastante parecidas.

4.4 Análisis de los resultados de Evaluar la capacidad autolimpiante del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂).

Para el ensayo de la capacidad autolimpiante se seguirán los lineamientos establecido en la norma UNI 11259:2016 la que establece el procedimiento para la determinación de la actividad fotocatalítica para especímenes hidráulicos usando el método de la rodamina.

Según esta norma se prepararon probetas prismáticas de 8x8x1.5cm, se preparan 04 muestras para cada prueba (en total se harán 16 especímenes de los cuales 4 serán mezcla patrón y el resto juegos de 4 cada cual con porcentajes de adición de 5%, 7.5% y 10% respectivamente). Se realiza el desmoldeo de las probetas a las 24 horas, se marcan los especímenes y se marca el ara de prueba que es de 64cm². Se sumergen las muestras en agua (20°±1°C) encima de rejillas para que todas las caras de las muestras se humedezcan por igual, se mantienen en el depósito durante 7 días y luego se las deja al aire libre otros 7 más.

Al cumplir con los requisitos descritos en el párrafo anterior delimitamos la zona donde se colocara la rodamina (área circular de 22±2cm²) y aplicamos a los especímenes una solución de 0.5ml de rodamina 0.1 g/l.

Se realizan 03 mediciones con el colorímetro, a las 0hrs, a las 4hrs y a las 24hrs de exposición a la lampara UV (en esta investigación se usaron 8 focos UV marca Philips de 18W). Se repiten los pasos para las demás muestras durante el ensayo.

El resultado de la prueba se define como la media aritmética de las mediciones colorimétricas realizadas en una serie de un mínimo de 3 muestras. Si dentro de las mediciones un resultado supera el ± 10% del valor medido, este resultado debe descartarse y el procedimiento debe repetirse en una cuarta pieza de prueba. Si la cuarta muestra también tiene resultados que exceden ± 10%, el conjunto de resultados debe descartarse.

El espécimen (mortero hidráulico) se considera fotocatalítico de la rodamina solo si se cumplen los siguientes requisitos:

$$R_4 > 20\% \text{ y } R_{24} > 50\%$$

Donde

$$R_4 = \frac{a * (0h) - a * (4h)}{a(0h)} \times 100 \quad R_{24} = \frac{a * (0h) - a * (24h)}{a(0h)} \times 100$$

Figura 48 Dispositivo usado para en ensayo UNI 11259

Fuente: Elaboración propia.

Figura 49 Ensayo 4 especímenes 0hrs

Fuente: Elaboración propia.

Figura 50 Ensayo 4 especímenes 4hrs

Fuente: Elaboración propia.

Figura 51 Toma de valor a^ con colorímetro portátil.*

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26 Prueba de Rodamina en especímenes rectangulares medido a las 4 horas.

Especimen	CODIGO	a*(0h)	a*(4h)	R4 (%)	R4PROM
Mortero C/A 1:5	R1-1	17.96	16.75	6.737194	6.94
	R1-2	17.98	16.59	7.730812	
	R1-3	17.95	16.81	6.350975	
Mortero C/A 1:5 + 5% TiO2	R2-1	17.92	10.17	43.24777	43.95
	R2-2	17.95	9.97	44.45682	
	R2-3	17.98	10.04	44.16018	
Mortero C/A 1:5 + 7.5% TiO2	R3-1	17.97	11.50	36.00445	36.48
	R3-2	17.95	11.37	36.65738	
	R3-3	17.94	11.34	36.7893	
Mortero C/A 1:5 + 10% TiO2	R4-1	17.97	9.66	46.24374	47.04
	R4-2	17.98	9.42	47.60845	
	R4-3	17.94	9.46	47.26867	

Inicio de ensayo

10:30am

Fuente: Elaboración propia.

Figura 52 Evaluación índice R4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27 Prueba de Rodamina en especímenes rectangulares medido a las 24 horas.

Especimen	CODIGO	a*(0h)	a*(4h)	R24 (%)	R4PROM
Mortero C/A 1:5	R1-1	17.96	14.55	18.98664	19.60
	R1-2	17.98	14.29	20.5228	
	R1-3	17.95	14.49	19.27577	
Mortero C/A 1:5 + 5% TiO2	R2-1	17.92	5.79	67.68973	67.50
	R2-2	17.95	5.91	67.07521	
	R2-3	17.98	5.8	67.74194	
Mortero C/A 1:5 + 7.5% TiO2	R3-1	17.97	3.29	81.69171	82.21
	R3-2	17.95	3.11	82.67409	
	R3-3	17.94	3.18	82.27425	
Mortero C/A 1:5 + 10% TiO2	R4-1	17.97	2.91	83.80634	84.19
	R4-2	17.98	2.86	84.09344	
	R4-3	17.94	2.75	84.67113	

Inicio de ensayo

10:35am del día siguiente

Fuente: Elaboración propia.

Figura 53 Evaluación índice R24

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Resultado del análisis de precios unitarios del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂).

Se elaboran nos plantillas de análisis de precios unitarios para evaluar la diferencia de costos de usar el concreto modificado con la adición de 5% de dióxido de titanio que es a lo largo de los ensayos descritos anteriormente el candidato para ser usado como el porcentaje adecuado en la dosificación del mortero.

4.5.1 Análisis de precios unitario tarrajeo exterior con mortero C:A 1:5 e=1.5cm (fuente Constructivo Julio 2019)

Partida	01.00.00	Tarrajeo exterior con mortero C:A 1:5 e=1,5 cm					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 15.0000	EQ. 15.0000	Costo unitario directo por : m2		19.79	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0147030001	MO: Capataz incluye leyes sociales	h	0.1000	0.0533	25.82	1.38	
0147060001	MO: Operario incluye leyes sociales	h	1.0000	0.5333	19.86	10.59	
0147100001	MO: Peón incluye leyes sociales	h	0.5000	0.2667	14.66	3.91	
						15.88	
Materiales							
0204010001	Arena fina	m3		0.0160	35.40	0.57	
0221010102	Cemento portland I	bol		0.1170	15.13	1.77	
0231160001	Agua, incluye transporte a pie de obra (Camión cisterna y Motobomba)	m3		0.0040	10.00	0.04	
						2.38	
Equipos							
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO		3%	23.36	0.70	
0348010001	Andamio de metal y/o de madera (alquiler)	h	1.0000	0.5333	1.56	0.83	
						1.53	

4.5.2 Análisis de precios unitario tarrajeo exterior con mortero C:A 1:5 e=1.5cm adicionado

5% TiO2 (Elaboración propia)

Partida	01.00.00	Tarrajeo exterior con mortero C:A 1:5 e=1,5 cm +5% TiO2				
Rendimiento	m2/DIA	MO. 15.0000	EQ. 15.0000	Costo unitario directo por : m2		31.40
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147030001	MO: Capataz incluye leyes sociales	h	0.1000	0.0533	25.82	1.38
0147060001	MO: Operario incluye leyes sociales	h	1.0000	0.5333	19.86	10.59
0147100001	MO: Peón incluye leyes sociales	h	0.5000	0.2667	14.66	3.91
						15.88
Materiales						
0204010001	Arena fina	m3		0.0160	35.40	0.57
0221010102	Cemento portland I	bol		0.1110	15.13	1.68
0221010115	Dióxido de titanio (TiO2)	kg		0.5209	25.42	13.24
0231160001	Agua, incluye transporte a pie de obra (Camión cisterna y Motobomba)	m3		0.0040	10.00	0.04
						15.53
Equipos						
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO		3%	23.36	0.70
0348010001	Andamio de metal y/o de madera (alquiler)	h	1.0000	0.5333	1.56	0.70

Tabla 28 Resumen de costos por m2

Descripción Partida	Costo Unitario m2 (S/)
Tarrajeo exterior con mortero C:A 1:5 e=1,5 cm	19.79
Tarrajeo exterior con mortero C:A 1:5 e=1,5 cm +5% TiO2	31.40

Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

- En el ensayo de fluidez se observó que para morteros adicionados con porcentajes de TiO_2 afectan su fluidez, solo el mortero adicionado con 5% se sitúa en el rango de consistencia media lo que indica que una mezcla con este porcentaje de adición sería de fácil manejabilidad por tener consistencia plástica. La muestra patrón (0% adición de dióxido de titanio) tiene la mayor tasa de fluidez 109.78% y la menor le corresponde al espécimen con adición de 10% de fotocatalizador. El realizar las mezclas según norma no permite observar saber si un trabajador normal de la pasta en campo podría trabajar con esta puesto que en el ensayo se hace con una mezcladora mecánica. Con respecto a la fluidez, los porcentajes de disminución de esta propiedad del mortero fueron de 8.26%, 14.51%, 21.65% según la adición de dióxido de titanio en porcentajes de 5%, 7.5% y 10% respectivamente.
- La adición del fotocatalizador hizo que la resistencia del mortero disminuya, era algo previsible de observar pues la adición del dióxido de titanio se hace en perjuicio de la cantidad de kilogramos de cemento por tanda de mortero. Podemos notar que si bien las resistencias disminuyeron con todos los porcentajes de adición tanto el mortero con 5% (118.38kg/cm) y 7.5% (105.36) de adición de TiO_2 a 28 días de curado se mantuvieron por encima del límite de la resistencia teórica (98kg/cm²). Se puede anotar que los porcentajes de disminución de la compresión del mortero fueron de 4.76%, 15.24%, 24.76% según la adición de dióxido de titanio en porcentajes de 5%, 7.5% y 10% respectivamente.
- Con respecto a la tasa de absorción también se observó una disminución en comparación con el mortero patrón en el rango de 13.49%, 16.46% y 17.09% según las adiciones de 5%, 7.5% y 10% de dióxido de titanio. Aquí también el mortero adicionado con 5% presenta una ligera ventaja contra el resto de porcentajes se puede decir que el mortero modificado tiene la capacidad de retener una cierta cantidad de agua que puede ayudar en el enlucido de las fachadas de ladrillos cerámicos.

-
- Para el resultado de la evaluación de la actividad fotocatalítica en nuestro mortero patrón y los modificados podemos observar en los resultados que el mortero patrón no está en el rango para ser considerado fotocatalítico de la rodamina, pero si los morteros adicionados con 5%, 7.5% y 10% siendo el que mejor índice de actividad es el último con 84.19%, se pudo observar durante la experiencia como el compuesto rodamina se iba desapareciendo de los especímenes, aunque podemos agregar que la exposición a los rayos UV no es del todo grata.
 - El costo de 1 m² de Tarrajeo exterior con mortero C:A 1:5 e=1,5 cm +5% TiO₂ es 58% más que el costo de la misma partida sin adición del dióxido de titanio. Se puede entender que la adición de un compuesto orgánico incrementa el valor de la partida de tarrajeo pues como todo aditivo su uso encarece el presupuesto normal de una edificación, sin embargo, si se establecen diferencias entre fachadas autolimpiables con las que no lo son (necesitan mantenimiento, limpieza, uso de andamios, requerimientos de seguridad) veríamos su real costo/beneficio. Se entiende además que al no ser comercial su uso, el precio por kilogramo del dióxido de titanio todavía es elevado.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas de campo y ver la acción del sol directamente en una fachada prototipo, se sugiere comenzar con la adición de 5%, pues esta investigación demuestra que su uso es el que mejor se adapta a las propiedades mecánicas del mortero.
- Realizar pruebas con otros materiales fotocatalíticos alternativos y evaluar su diferencia con el dióxido de titanio TiO₂.
- Como la consistencia de los morteros adicionados con 7.5% y 10% era dura (poca plasticidad) evaluar su uso como mortero proyectado.
- Se sabe que los compuestos fotocatalíticos tienen incidencia en la descontaminación del aire, el ámbito de esta investigación escapa de evaluar este beneficio y recomienda su estudio y ensayo.
- Se recomienda evaluar otro método para evaluar el efecto de autolimpieza y buscar su estandarización pues el evaluar según la norma italiana no contempla otras fuentes UV, colorantes y concentraciones, condiciones ambientales y demás.
- Dar a conocer los beneficios de este compuesto fotocatalítico a proyectistas, arquitectos e ingenieros para que puedan ser usados en proyectos puntuales en el mediano plazo y proyectos promovidos por municipalidades en el largo plazo.

8. REFERENCIAS

- Abella Rodriguez, G. (2015). *Mejora de las propiedades de materiales a base de cemento que contienen TiO₂: Propiedades Autolimpiables*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid .
- Alanya Velí, J. W. (2017). *Comportamiento del mortero con aditivo expansivo para resanes en obras de ingeniería Civil*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Alfaro Arana, T. G., & Laura Conza, L. J. (2014). *Estudio comparativo para la sustitución de un cemento portland tipo V entre un cemento puzolánico con especificaciones de la performance Tipo HS en la fábrica de cemento Yura S.A.* Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Atala, P. (4 de 11 de 2017). Puente Piedra respira el aire más contaminado de todo Lima. (E. Noticias, Entrevistador)
- Boonen, E., & Beeldens, A. (2014). Recent Photocatalytic Applications for Air Purification in Belgium. *Coatings*.
- CORDIS. (08 de 05 de 2017). *Cordis Europa*. Obtenido de <https://cordis.europa.eu/project/rcn/102057/reporting/es>
- Cortez, D. J., & Burbano, J. J. (2016). *Efecto del reemplazo de cemento portland por el dióxido de titanio en las propiedades mecánicas del mortero*. Cali: Pontificia Universidad Javeriana.
- Crispino. (Enero de 2010). *International Sustainable Pavements Workshop*. Obtenido de Inovative photocatalytic Pavements.
- Exitosa. (4 de 11 de 2017). *ExitosaNoticias*. Obtenido de <https://exitosanoticias.pe/puente-piedra-respira-aire-mas-contaminado-lima/>

-
- Fujishima, A., & Honda, K. (Julio de 1972). *Grupo editorial de naturaleza*. Obtenido de Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode.
- Guzman, D. S. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Bhandar Editores.
- Hanson, S. (2014). *Evaluation of concrete containing photocatalytic titanium dioxide*. Utah: The University of Utah.
- Hernández Rodríguez, M. (2015). *Estudio de las propiedades físicas de Concreto modificado con TiO₂ Para Obtención de superficies Fotocatalíticas*. Mexico: Centro Universitario de Querétaro.
- Jimenez Cortez, D., & Moreno Burbano, J. J. (2016). *Efecto del reemplazo de cemento portland por el dióxido de titanio en las propiedades mecánicas del mortero*. Cali: Pontificia universidad javeriana.
- Linde, P. (2 de 5 de 2018). *WEFORUM*. Obtenido de <https://es.weforum.org/agenda/2018/05/nueve-de-cada-diez-personas-respiran-aire-contaminado-asi-afecta-a-su-salud>
- Lisbona García, L. E. (2016). *Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Maury, A., & De Belie, N. (2010). *State of art of TiO₂ containing cementitious materials: self-cleaning properties*.
- Medina Medina, A. F., Torres rojas, D. F., Meza Girón, G., & Villota Grisale, R. A. (2016). *Diseño de un sistema para generar purificación del aire y autolimpieza en las superficies del túnel de la Avenida Colombia (Cali)*. Cali: Pontificia Universidad Javeriana.
- MINAM. (2016). *Informe Nacional de la calidad del aire 2013-2014*. Lima: Ministerio del Ambiente.

-
- OMS, C. d. (2 de 5 de 2018). *ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD*. Obtenido de ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD: <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
- Pérez, R. S. (2016). *Nuevos materiales de construcción con propiedades autolimpiantes y descontaminantes*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Razon, L. (30 de 5 de 2018). *Larazon.pe*. Obtenido de <http://larazon.pe/2018/05/30/lima-es-la-segunda-ciudad-mas-contaminada-de-latinoamerica/>
- Rodriguez, G. A. (2015). *Mejora de las propiedades de materiales a base de cemento que contienen TiO₂: propiedades autolimpiantes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- TioCem. (Noviembre de 2010). *Innovative building materials - reduction of pollution with TioCem*. Obtenido de <http://www.lehighpermanente.com/tiocem-new>
- Toplicic, G., Jevtic, D., Grdic, D., Ristic, N., & Grdic, Z. (2017). *Photocatalytic Concrete - Environment Friendly material*. Serbia: 5th International Conference.

9. ANEXOS

Figura 54 Solicitud de laboratorio UPC Monterrico

AP 01

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE USO DEL LABORATORIO

Nosotros Bernuy Chavez Giancarlo con DNI 44791642 y Flores Gomez Howard con DNI 40373209 alumnos EPE de la Carrera de Ingeniería Civil de la sede Monterrico, mediante este documento nos hacemos responsables del préstamo de equipos e instrumentos del laboratorio asignados por el Técnico responsable para el cumplimiento de nuestras actividades, las cuales serán desarrolladas exclusivamente por nosotros. Para lo cual nos comprometemos a devolver éstos en las mismas condiciones de operatividad y funcionamiento.

En calidad de Asesor(a) confirmo que los alumnos tienen el nivel de conocimiento adecuado para la realización de los ensayos programados.

Atentamente, Monterrico 16 de Marzo del 2019

Nombre: Bernuy Chavez
Giancarlo
DNI: 44791642

Nombre: Flores Gomez
Howard
DNI: 40373209

Nombre: Carlos Alberto Huarte
DNI: 09313271

NOTA: Es responsabilidad de los alumnos traer el material a emplear, y si se requiere el uso de materiales por parte de la Carrera será coordinado con el Técnico responsable de cada sede según el stock existente.

DISPONIBILIDAD SEMESTRAL DEL LABORATORIO				
SEDE	MONTERRICO			
	Sábado	Sábado	Sábado	Sábado
HORARIO	<u>23,03/19</u>	<u>30,03/19</u>	<u>06,04/19</u>	<u>27,04/19</u>
07:00				
10:00				
10:00	X	X	X	X
13:00				

Fuente: Formato UPC

Figura 55 Ficha técnica cementos 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.

Fuente: UNACEM.

Figura 56 Ficha técnica cementos sol (cont)

Requisitos mecánicos

Comparación resistencias NTP-334.009 / ASTM C-150 vs. Cemento Sol

Propiedades físicas y químicas

Parámetro	Unidad	Cemento Sol	Requisitos NTP-334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	m²/kg	336	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.12	No específica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm²	296	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm²	357	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm²	427	Mínimo 285*
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.00	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.7	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C ₂ S	%	11.9	No específica
C ₃ S	%	54.2	No específica
C ₃ A	%	10.1	No específica
C ₄ AF	%	9.7	No específica

*Requisito opcional

Figura 57 Figura 36 Ficha técnica 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 Properties¹

TiO ₂ 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 ² (µm).	0.19
Specification	
ASTM D-476-00 (2005)	Type II, III, VI, VII
ISO 591-1:2000	R2
FDA	Indirect food additive ³

¹Typical properties not to be construed as specifications
²By electron microscope
³Limitations 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

05/13

Fuente: INSUQUIMICA

Figura 58 Ficha técnica Rodamina

FICHA TECNICA
COLOR RHODAMINA

NOMBRE DEL PRODUCTO / DESCRIPCION

RHODAMINA / Violeta Básico 10 $C_{20}H_{12}ClN_2O_4$ / 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.

COMPOSICION

Rhodamina .

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y MICROBIOLOGICAS

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 mas de 0.2 %
MICROBIOLOGICO:	NO APLICA

TRATAMIENTO DE CONSERVACION

Acidificación con ácido clorhídrico.

PRESENTACION - 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.

FICHA TECNICA RODAMINA

Página 1 de 2

AV PROCERES DE LA INDEPENDENCIA 1150 – URB. ASCARRUZ – SJL
TELÉFONO: 719 – 6949 – NEXTEL: 418*1371
Email: ventas@insuquimica.com / Web site: www.insuquimica.com

Fuente: INSUQUIMICA.