

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Efecto del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en el comportamiento del  
mortero de Cemento Pórtland tipo I para fachadas -Lima  
Metropolitana (2018)**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**Bach. Martínez Zuasnábar, Karen Romina**

**Asesor: Mg. Ing. Huerta Campos, Carlos Alberto**

**LIMA-PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres por su apoyo incondicional, comprensión y constante motivación.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi alma máter y docentes por la formación universitaria brindada. De especial consideración a mi asesor de tesis, Mg. Ing. Carlos Huerta Campos, por la orientación y apoyo constante durante el proceso de elaboración de este proyecto de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos.....	2
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temático .....	3
1.4. Justificación e Importancia.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Marco Histórico .....	5
2.1.1. Fenómeno fotocatalítico .....	5
2.1.2. Asociación Ibérica de Fotocatálisis (AIF).....	5
2.1.3. Edificaciones fotocatalíticas .....	6
2.2. Antecedentes del estudio de investigación.....	7
2.3. Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio .....	8
2.3.1. Mortero .....	8
2.3.2. Lesiones físicas en fachadas .....	9
2.3.3. Fotocatálisis .....	10
2.3.4. Catalizador dióxido de titanio TiO <sub>2</sub> .....	10
2.3.5. Efectos fotocatalíticos del TiO <sub>2</sub> .....	11
2.3.6. Hidrofilicidad en materiales con TiO <sub>2</sub> .....	12
2.3.7. Calidad del aire en Lima.....	13
2.4. Definición de términos básicos .....	13
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS.....	16
3.1. Hipótesis.....	16
3.1.1. Hipótesis general .....	16
3.1.2. Hipótesis específicos .....	16
3.2. Variables .....	16
3.2.1. Definición conceptual de las variables .....	16
3.2.2. Operacionalización de las variables .....	16

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO .....	18
4.1. Tipo y Nivel .....	18
4.2. Diseño de investigación .....	18
4.3. Población y muestra .....	18
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	19
4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos.....	19
4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	20
4.4.3. Procedimiento para la recolección de datos .....	20
4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información .....	21
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
5.1 Propiedades de los materiales utilizados.....	22
5.1.1. Cemento Pórtland Tipo I.....	22
5.1.2. Agua .....	23
5.1.3. Dióxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> ).....	24
5.1.4. Agregado fino.....	24
5.1.4.1. Granulometría y módulo de finura.....	25
5.1.4.2. Peso unitario .....	29
5.1.4.3. Peso específico y absorción .....	33
5.1.4.4. Contenido de humedad .....	37
5.1.4.5. Material que pasa el tamiz N°200.....	39
5.2 Diseño de mezcla de mortero.....	40
5.2.1. Diseño de mezcla patrón .....	43
5.2.1. Diseño de mezcla de mortero con TiO <sub>2</sub> .....	49
5.3 Ensayos de mortero fresco y endurecido .....	52
5.3.1. Ensayo de fluidez .....	52
5.3.2. Ensayo de resistencia a la compresión .....	53
5.3.3. Ensayo de absorción .....	60
5.3.4. Ensayo de rodamina .....	67
5.3.5. Intemperismo .....	73
5.4 Análisis de costos unitarios.....	77
5.5 Contrastación de hipótesis.....	84
CONCLUSIONES .....	116
RECOMENDACIONES.....	118

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	119
ANEXO .....	124

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	17
Tabla 2. Población muestral.....	19
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del Cemento Sol Tipo I.....	23
Tabla 4. Clasificación del agregado fino según el módulo de finura .....	25
Tabla 5. Análisis granulométrico del agregado fino- Muestra N°1 .....	26
Tabla 6. Análisis granulométrico del agregado fino- Muestra N°2.....	27
Tabla 7. Análisis granulométrico del agregado fino- Muestra N°3.....	28
Tabla 8. Módulo de finura agregado fino promedio .....	29
Tabla 9. Peso unitario del agregado fino – Muestra N°1 .....	30
Tabla 10. Peso unitario del agregado fino – Muestra N°2.....	31
Tabla 11. Peso unitario del agregado fino – Muestra N°3.....	32
Tabla 12. Peso unitario suelto promedio del agregado fino .....	33
Tabla 13. Peso unitario compactado promedio del agregado fino.....	33
Tabla 14. Peso específico y absorción del agregado fino – Muestra N°1 .....	34
Tabla 15. Peso específico y absorción del agregado fino – Muestra N°2 .....	35
Tabla 16. Peso específico y absorción del agregado fino – Muestra N°3 .....	36
Tabla 17. Peso específico y absorción del agregado fino promedio.....	37
Tabla 18. Contenido de humedad del agregado fino .....	38
Tabla 19. Material que pasa la malla N°200.....	40
Tabla 20. Usos del mortero de cemento .....	41
Tabla 21. Resistencia de morteros cemento y arena según su proporción en volumen .....	41
Tabla 22. Fluidez del mortero.....	42
Tabla 23. Resumen de las propiedades de los componentes del mortero.....	43
Tabla 24. Proporciones en volumen y peso .....	45
Tabla 25. Peso unitario de la mezcla patrón de mortero.....	46
Tabla 26. Ajuste de mezcla patrón de mortero .....	47
Tabla 27. Diseño de mezcla patrón de mortero .....	48
Tabla 28. Diseño de mezcla de mortero con 5% TiO <sub>2</sub> .....	49
Tabla 29. Diseño de mezcla de mortero con 7.5% TiO <sub>2</sub> .....	50
Tabla 30. Diseño de mezcla de mortero con 10% TiO <sub>2</sub> .....	51
Tabla 31. Ensayo de fluidez para las muestras con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> .....	52

Tabla 32. Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de 24 horas .....	55
Tabla 33. Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de 3 días .....	56
Tabla 34. Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de 7 días .....	57
Tabla 35. Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de 28 días .....	58
Tabla 36. Porcentaje de f´m 28 según edad del mortero .....	59
Tabla 37. Tasa de absorción de agua de especímenes de mortero (0.25 horas) .....	63
Tabla 38. Tasa de absorción de agua de especímenes de mortero (1.4 horas) .....	64
Tabla 39. Tasa de absorción de agua de especímenes de mortero (24 horas) .....	65
Tabla 40. Porcentaje de tasa de absorción de agua 24h del mortero .....	66
Tabla 41. Factor de fotodegradación de color R4 del mortero .....	70
Tabla 42. Factor de fotodegradación de color R26 del mortero .....	71
Tabla 43. Costo unitario de la partida tarrajeo muros exteriores (mortero 0% TiO2).....	77
Tabla 44. Costo unitario de la partida tarrajeo muros exteriores (mortero 5% TiO2).....	78
Tabla 45. Costo unitario de la partida tarrajeo muros exteriores (mortero 7.5% TiO2) .....	79
Tabla 46. Costo unitario de la partida tarrajeo muros exteriores (mortero 10% TiO2).....	80
Tabla 47. Resumen de costos unitarios de tarrajeo de las distintas mezclas de mortero .....	81
Tabla 48. Costo unitario de la partida pintura en muros exteriores .....	82
Tabla 49. Resumen de costos unitarios de tarrajeo (acabado pintado en mortero convencional) .....	83
Tabla 50. Datos de resistencia a la compresión ingresados al programa SPSS V23 .....	84
Tabla 51. Pruebas de normalidad de los datos de resistencia a la compresión.....	85
Tabla 52. Pruebas de homogeneidad de varianzas de los datos de resistencia a la compresión .....	86
Tabla 53. Anova de un factor de los datos de resistencia a la compresión.....	87



Tabla 54. Comparaciones múltiples de los distintos grupos de resistencia a la compresión .....	87
Tabla 55. Coeficiente de la ecuación de resistencia a la compresión (24 horas).....	89
Tabla 56. Suma de cuadrados del modelo de resistencia a la compresión (24 horas) ....	89
Tabla 57. Resumen del modelo de resistencia a la compresión (24 horas) .....	90
Tabla 58. Coeficiente de la ecuación de resistencia a la compresión (3 días).....	91
Tabla 59. Suma de cuadrados del modelo de regresión de resistencia a la compresión (3 días) .....	92
Tabla 60. Resumen del modelo de resistencia a la compresión (3 días) .....	92
Tabla 61. Coeficiente de la ecuación de resistencia a la compresión (7 días).....	93
Tabla 62. Suma de cuadrados del modelo de regresión de resistencia a la compresión (7 días) .....	94
Tabla 63. Resumen del modelo de resistencia a la compresión (7 días) .....	94
Tabla 64. Coeficiente de la ecuación de resistencia a la compresión (28 días).....	95
Tabla 65. Suma de cuadrados del modelo de resistencia a la compresión (28 días) .....	96
Tabla 66. Resumen del modelo de resistencia a la compresión (28 días) .....	96
Tabla 67. Datos de resistencia a la compresión ingresados al programa SPSS V23 .....	98
Tabla 68. Pruebas de normalidad de los datos de tasa de absorción de agua .....	99
Tabla 69. Pruebas de homogeneidad de varianzas de los datos de tasa de absorción de agua.....	99
Tabla 70. Anova de un factor de los datos de tasa de absorción de agua .....	100
Tabla 71. Comparaciones múltiples de los distintos grupos de tasa de absorción de agua.....	101
Tabla 72. Coeficiente de la ecuación de tasa de absorción de agua (0.25 horas) .....	102
Tabla 73. Suma de cuadrados del modelo de tasa de absorción de agua (0.25 horas).....	102
Tabla 74. Resumen del modelo de tasa de absorción de agua (0.25 horas).....	103
Tabla 75. Coeficiente de la ecuación de tasa de absorción de agua (1.4 horas) .....	104
Tabla 76. Suma de cuadrados del modelo de tasa de absorción de agua (1.4 horas) ...	104
Tabla 77. Resumen del modelo de tasa de absorción de agua (1.4 horas).....	104
Tabla 78. Coeficiente de la ecuación de tasa de absorción de agua (24 horas) .....	106
Tabla 79. Suma de cuadrados del modelo de tasa de absorción de agua (24 horas) ....	106
Tabla 80. Resumen del modelo de tasa de absorción de agua (24 horas).....	106
Tabla 81. Datos de fotodegradación de color ingresados al programa SPSS V23 .....	108

Tabla 82. Pruebas de normalidad de los datos de fotodegradación de color .....	109
Tabla 83. Pruebas de homogeneidad de varianzas de los datos de fotodegradación de color .....	109
Tabla 84. Anova de un factor de los datos de fotodegradación de color .....	110
Tabla 85. Comparaciones múltiples de los distintos grupos de fotodegradación de color .....	111
Tabla 86. Coeficiente de la ecuación del factor R4 .....	112
Tabla 87. Suma de cuadrados del modelo del factor R4 .....	112
Tabla 88. Resumen del modelo del factor R4.....	112
Tabla 89. Coeficiente de la ecuación del factor R26 .....	114
Tabla 90. Suma de cuadrados del modelo del factor R26 .....	114
Tabla 91. Resumen del modelo del factor R26.....	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Certificado de Análisis del TiO <sub>2</sub> .....	24
Figura 2. Resistencia a la compresión del mortero vs A/C.....	42
Figura 3. Fluidez de cada tratamiento de mortero según porcentaje de TiO <sub>2</sub> .....	53
Figura 4. Adherencia y resistencia a la compresión de mortero.....	53
Figura 5. Mezclado y moldeado de especímenes de mortero. ....	54
Figura 6. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes de mortero.....	54
Figura 7. Resistencia a la compresión del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> (24 h).....	55
Figura 8. Resistencia a la compresión del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> (3 días) .....	56
Figura 9. Resistencia a la compresión del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> (7 días) .....	57
Figura 10. Resistencia a la compresión del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> (28 días) .....	58
Figura 11. Resistencia a la compresión del mortero según los distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> .....	59
Figura 12. Porcentaje de f <sub>m</sub> 28 según edad del mortero para distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> .....	60
Figura 13. Configuración del espécimen durante el ensayo .....	61
Figura 14. Secado, enfriado y pesado inicial de muestra de mortero para ensayo de absorción .....	62
Figura 15. Ensayo de absorción de espécimen de mortero.....	62
Figura 16. Tasa de absorción de agua del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> (0.25 h).....	63
Figura 17. Tasa de absorción de agua del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> (1.4 h).....	64
Figura 18. Tasa de absorción de agua del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> (24 h).....	65
Figura 19. Tasa de absorción de agua del mortero según los distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> .....	66
Figura 20. Porcentaje de tasa de absorción de agua 24h del mortero .....	67
Figura 21. Aplicación de Rodamina B en los especímenes de mortero. ....	68

Figura 22. Exposición de especímenes de mortero a rayos UV durante 4 horas.....	69
Figura 23. Exposición de especímenes de mortero a rayos UV durante 26 horas.....	69
Figura 24. Fotodegradación de color del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> (4 horas) .....	70
Figura 25. Fotodegradación de color del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> (26 horas) .....	71
Figura 26. Fotodegradación de color del mortero con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> ....	72
Figura 27. Exposición de especímenes de morteros a rayos UV durante 48 horas. ....	72
Figura 28. Actuación del par viento y lluvia sobre edificios. ....	73
Figura 29. Mezclado manual de morteros con distintos porcentajes de TiO <sub>2</sub> .....	74
Figura 30. Tarrajeo de paneles de 1.5 cm de espesor .....	74
Figura 31. Exposición de paneles a la intemperie (1er mes) .....	75
Figura 32. Exposición de paneles a la intemperie (2do mes) .....	76
Figura 33. Exposición de paneles a la intemperie (3er mes) .....	76
Figura 34. Costo unitario de tarrajeo según mezcla de mortero .....	82
Figura 35. Costo unitario de tarrajeo (acabado pintado en mortero convencional).....	83
Figura 36. Regresión lineal simple de resistencia a la compresión (24 horas).....	91
Figura 37. Regresión lineal simple de resistencia a la compresión (3 días) .....	93
Figura 38. Regresión lineal simple de resistencia a la compresión (7 días) .....	95
Figura 39. Regresión lineal simple de resistencia a la compresión (28 días) .....	97
Figura 40. Regresión lineal simple de tasa de absorción de agua (0.25 horas) .....	103
Figura 41. Regresión lineal simple de tasa de absorción de agua (1.4 horas) .....	105
Figura 42. Regresión lineal simple de tasa de absorción de agua (24 horas) .....	107
Figura 43. Regresión cuadrática del factor R <sub>4</sub> .....	113
Figura 44. Regresión cuadrática del factor R <sub>26</sub> .....	115

## RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo determinar la influencia de la adición del dióxido de titanio en el mortero de cemento Pórtland Tipo I para mejorar su comportamiento en Lima Metropolitana. Para esto se elaboró una mezcla patrón de mortero sin contenido de  $\text{TiO}_2$  con una proporción de materiales en peso 1:3.815/39.76 lts/bolsa y tres mezclas de mortero con contenido de  $\text{TiO}_2$  en 5%, 7.5% y 10% como reemplazo en volumen absoluto del cemento. De estas cuatro mezclas de mortero se estudiaron las propiedades mecánicas mediante los ensayos de fluidez, resistencia a la compresión y absorción; y para las propiedades autolimpiantes se realizó el ensayo de rodamina e intemperismo. Asimismo, se calcularon los precios unitarios de cada muestra de mortero en estudio. Los resultados obtenidos fueron que la incorporación de dióxido de titanio disminuyó la resistencia a la compresión, el porcentaje de fluidez y la tasa de absorción de agua conforme se aumentó los porcentajes de  $\text{TiO}_2$ ; la prueba de rodamina dio como resultado que el único mortero sin actividad fotocatalítico fue el que no contenía  $\text{TiO}_2$  ya que, no cumplió con los valores mínimos estipulados para los factores de fotodegradación R4 y R26 y mediante la exposición de paneles al intemperismo, se verificó la propiedad autolimpiante de los morteros con adición de  $\text{TiO}_2$ . Finalmente, analizando los estudios realizados se concluyó que el tratamiento adecuado para la ejecución del mortero en fachadas es el que tiene 5% de contenido de  $\text{TiO}_2$  debido a que el efecto en las propiedades mecánicas del mortero son favorables, manteniendo su trabajabilidad y reduciendo su tasa de absorción de agua para mejorar la durabilidad del mismo, es fotocatalítico y autolimpiante; y además el precio de fabricación no es muy elevado, tiene un aumento del 23.40% con respecto al tratamiento sin  $\text{TiO}_2$ .

**Palabras Claves:** Dióxido de titanio, autolimpiante, fotocatalísis, propiedad mecánica, mortero.

## ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine the influence of the addition of titanium dioxide in the Portland Type I cement mortar to improve its performance in Lima Metropolitana. For this, a mixture of mortar without TiO<sub>2</sub> content was developed with a material proportion by weight of 1: 3.815 / 39.76 liters / bag and three mixtures of mortar with TiO<sub>2</sub> content in 5%, 7.5% and 10% as volume replacement absolute of the cement. Of these four mortar mixtures, the mechanical properties were studied through the tests of fluidity, resistance to compression and absorption; and for the self-cleaning properties rhodamine and weathering test was carried out. Likewise, the unit prices of each sample of mortar under study were calculated. The results obtained were that the incorporation of titanium dioxide decreased the compressive strength, the percentage of fluidity and the water absorption rate as TiO<sub>2</sub> percentages were increased; the rhodamine test showed that the only mortar without photocatalytic activity was the one that did not contain TiO<sub>2</sub>, since it did not meet the minimum values stipulated for photodegradation factors R4 and R26 and by means of the exposure of panels to weathering, the self-cleaning property of mortars with the addition of TiO<sub>2</sub>. Finally, analyzing the studies carried out, it was concluded that the adequate treatment for the execution of the mortar in facades is that which has 5% TiO<sub>2</sub> content because the effect on the mechanical properties of the mortar is favorable, maintaining its workability and reducing its rate of water absorption to improve its durability, it is photocatalytic and self-cleaning; and also the manufacturing price is not very high, it has an increase of 23.40% with respect to the treatment without TiO<sub>2</sub>.

**Keywords:** Titanium dioxide, self-cleaning, photocatalysis, mechanical property, mortar.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad dar a conocer la influencia del uso del dióxido de titanio en el mortero de cemento Pórtland Tipo I para revestimiento de fachadas en cuanto a sus propiedades mecánicas y autolimpiantes para evaluar su posibilidad de uso en Lima Metropolitana.

La tesis se desarrolla en cinco capítulos. Los cuatro primeros capítulos abarcan la presentación del problema, definición de los objetivos, marco teórico, planteamiento de hipótesis y la metodología de estudio. El quinto capítulo constituye el diseño de mezcla de las muestras de mortero con 0%, 5%, 7.5% y 10% de  $TiO_2$ , la presentación de resultados de los ensayos de fluidez, resistencia a la compresión, absorción, prueba de rodamina e intemperismo; asimismo, se elabora el análisis de costos unitarios y contrastación de hipótesis. Finalmente, se desarrolla las conclusiones a base de un riguroso estudio comparativo y crítico de los resultados obtenidos y se plantean las recomendaciones para futuras investigaciones.

Los resultados obtenidos pueden aplicarse directamente en el ámbito práctico de la construcción mediante el uso del mortero como acabado final de la fachada, en el ámbito académico, como un aporte al conocimiento en cuanto al avance tecnológico y por último en el ámbito normativo.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos

El nivel de contaminación atmosférica en Lima registra una media anual de 38 microgramos de PM 2,5 por metro cúbico superando desde hace varios años al máximo establecido por la Organización Mundial de la Salud siendo el permitido 10 microgramos, debido a este indicador Lima es considerada una de las ciudades con peores indicadores de calidad de aire en América Latina. Estos contaminantes atmosféricos no sólo provocan daños a la salud o al medio ambiente, sino que también contribuyen al deterioro de las fachadas de las construcciones, aumentando los costos de mantenimiento y rehabilitación.

En la búsqueda de colaboración del sector de construcción hacia la preservación del medio ambiente se vienen desarrollando materiales con propiedades autolimpiantes y descontaminantes otorgados por adiciones de fotocatalizadores como es el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>). Asimismo, existen investigaciones donde se ha demostrado la degradación de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el aire en materiales a base de cemento con adición de TiO<sub>2</sub>.

El uso de morteros de cemento con adición de dióxido de titanio puede ser una alternativa para prolongar el tiempo de vida de las fachadas y a su vez contribuir con la reducción de la contaminación atmosférica en Lima Metropolitana. Sin embargo, al ser una tecnología nueva existe cierto desconocimiento en el efecto que produce esta adición en las propiedades del mortero, así como también su porcentaje adecuado a utilizar y falta de información sobre la normativa que la rige.

### **Problema General**

¿De qué manera la adición de dióxido de titanio influye en el comportamiento del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana?



## **Problemas Específicos**

- a) ¿De qué manera el diseño de mezcla usando dióxido de titanio influye en las propiedades mecánicas del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana?
- b) ¿De qué manera un mayor porcentaje de dióxido de titanio influye en las propiedades autolimpiantes del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana?

## **1.2. Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar la influencia de la adición del dióxido de titanio en el mortero de cemento Pórtland Tipo I para mejorar su comportamiento en Lima Metropolitana.

### **Objetivos específicos**

- a) Determinar diseños de mezcla con distintos porcentajes de dióxido de titanio para definir su influencia en las propiedades mecánicas del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana.
- b) Determinar los porcentajes de dióxido de titanio para optimizar las propiedades autolimpiantes del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana.

## **1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temático**

El desarrollo de la tesis fue viable ya que, se contó con los materiales y equipos necesarios para realizar la presente investigación. Asimismo, los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Ricardo Palma durante cuatro (4) meses, tiempo que se encontró dentro del plazo estipulado.

## **1.4. Justificación e Importancia**

La necesidad de nuevos materiales de construcción comprometidos con el medio ambiente ha dado lugar al uso de morteros fotocatalíticos, los cuales tienen un buen desempeño ante el deterioro de fachadas causado por intemperismo. Este tipo de morteros están siendo utilizados y evaluados en distintos países europeos debido a los resultados positivos que se están obteniendo.

En el ámbito ambiental, el proceso de fotocatalisis en morteros adicionados con TiO<sub>2</sub> permite reducir un determinado rango de compuestos orgánicos (COVs) e inorgánicos (NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>) presentes en el aire. Su uso en fachadas contribuirá con la purificación del aire de Lima Metropolitana.

En el ámbito económico, este tipo de mortero reduce los costos de mantenimiento prolongando la vida útil de las fachadas. Asimismo, su elaboración no demanda un alto costo.

En el ámbito académico, ante la escasa información en casos peruanos, la investigación realizada servirá de referencia para futuras investigaciones y de esta manera contribuir con el conocimiento académico mediante información real y confiable.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Marco Histórico**

#### **2.1.1. Fenómeno fotocatalítico**

Fujishima y Honda en 1967 descubrieron el fenómeno de descomposición fotocatalítica del agua a través de la exposición de un electrodo de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) a una luz intensa, dando como resultado propiedades de auto-limpieza.

A partir de los 80s, se comenzó a usar el TiO<sub>2</sub> para descomponer las partículas contaminantes del agua a través de la exposición de luz ultravioleta. En la década de los 90s una vez que Hoffman y Fujishima afirmaron que la fotocatalisis era afectiva tanto para descontaminar el agua y al aire, se comenzó a realizar investigaciones para el tratamiento de aire contaminado (Lisbona, 2016).

Asimismo, Maury (2010) afirma que según otros autores el uso de las propiedades fotocatalíticas del TiO<sub>2</sub> en los materiales a base de cemento degrada un rango determinado de compuestos orgánicos (COVs) e inorgánicos (NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>) siendo estos agresivos para el medio ambiente y para las propiedades del material expuesto.

#### **2.1.2. Asociación Ibérica de Fotocatálisis (AIF)**

La AIF es una asociación creada en España, que agrupa a empresas que aportan materiales de la construcción tratados con fotocatalisis, teniendo actualmente como finalidad la creación de “islas fotocatalíticas” dentro de las grandes urbes contaminadas. Este concepto puede ser aplicado en calles o barrios ya existentes, a nivel de conservación y mantenimiento, o sobre nuevas urbanizaciones.

Por otro lado, esta asociación continuamente está realizando investigaciones in-situ para demostrar la efectividad de este método como por ejemplo el ensayo Piloto en Guerville, Francia en el año 2004, donde se construyó un modelo que reprodujera las condiciones ambientales de una calle situada entre dos edificios en un contexto urbano.

Las dimensiones de estas calles fueron de 18 m de largo, 2.44 m de ancho y 5,18 m de altura. Las paredes de estas calles estaban revestidas, una cubierta con elementos a base de TX Active, es un cemento con principios fotocatalíticos de la marca italiana Italcementi Group, y la otra con otros elementos a base de cemento tradicional (AIF, 2012).

En cuanto a la simulación de contaminación generada por el tráfico urbano, se instaló una tubería perforada que emitía gases contaminantes a lo largo de toda la longitud de las paredes.

Para la monitorización, se hizo uso de sensores en diferentes alturas y distanciados regularmente para realizar mediciones de humedad, temperatura, radiación solar. Asimismo, se instaló anemómetros para medir velocidad y dirección del viento; así como también, medidores de NOx. Por otro lado, se utilizó un modelo de cálculo tridimensional para reproducir flujos de aire y partículas en distintas condiciones atmosféricas (CONAMA, 2012).

Los resultados fueron una comparación entre la pared revestida con TX Active y la pared no tratada, donde se concluyó que hubo una reducción de partículas de NOx entre el 20% y el 80% dependiendo de las condiciones de viento.

### **2.1.3. Edificaciones fotocatalíticas**

En 1996, se dio la oportunidad de utilizar cementos fotocatalíticos en la construcción de la Iglesia Dives in Misericordia en Roma realizado por el arquitecto Richard Meier, quien ganó el concurso promovido por el vicariato de Roma.

La edificación está conformada por tres estructuras de paneles prefabricados de hormigón blanco que simulan tres velas blancas con un peso de 12 toneladas cada una y la más alta mide 26 m (TX Active, 2014).

Este proyecto exigía el uso de un hormigón extraordinario que no sea solo capaz de brindar durabilidad sino también una capacidad de mantener su aspecto estético a

través del paso del tiempo y es por esta razón que se utilizó el cemento TX Active por sus propiedades de autolimpieza, antibacteriano y descontaminante.

En el año 2007 se construyó la Iglesia Lesu, esta iglesia está ubicada en el barrio de Riberas de Loyola en San Sebastián, España; la cual tiene la típica distribución en planta de cruz griega; en el interior el techo se desprende de forma irregular para dejar paso a la luz cenital y así generar una sensación de ingravidez. El arquitecto Rafael Moneo diseñó esta parroquia cuya construcción es base de bloques de hormigón, con mortero proyectado y cubierto un mortero capafina TX Active basado en los principios autolimpiante y descontaminante, logrando mantener limpia la fachada y reducir el nivel de contaminación en los alrededores del barrio donde se encuentra.

## **2.2. Antecedentes del estudio de investigación**

Medina (2017) cuya tesis tuvo como objetivo determinar la influencia del uso del dióxido de titanio en las propiedades del mortero de cemento blanco y la variación de los costos de su elaboración en la ciudad de Cajamarca.

La investigación se basó en un estudio experimental sobre cuatro tratamientos de morteros con distintos porcentajes de dióxido de titanio en 0%,5%, 10% y 15%, para evaluar sus propiedades mecánicas. Los ensayos realizados fueron de absorción, fluidez, resistencia a la compresión, propiedad autolimpiable y costos.

Concluyó que, el uso del dióxido de titanio disminuye el porcentaje de absorción del mortero, su resistencia a la compresión y el porcentaje de fluidez. El porcentaje óptimo elegido fue el tratamiento con 5% de  $TiO_2$ . Además, recomendó el uso de un aditivo plastificante para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Abella (2015) realizó el estudio de los mecanismos de activación fotocatalítica en concentraciones de  $TiO_2$  de 1% y 5% en los materiales a base de cemento., su comportamiento hidrófobo, rendimientos autolimpiantes y descontaminantes; y su influencia en las propiedades mecánicas.

Para la etapa experimental usaron probetas de morteros de cemento convencional Tipo I y cemento blanco TX Aria de Intalcementi con el fin de realizar ensayos de

resistencia, porosimetría, análisis térmico diferencial, ángulo de escurrimiento, ángulo de contacto y autolimpieza.

Finalmente, concluyó que la adición de  $\text{TiO}_2$  no disminuye su resistencia y proporciona al mortero propiedades autolimpiantes mediante la exposición a la radiación UV; asimismo, los morteros de cemento convencional presentaron reducción de porosidad.

Jiménez (2016) tuvo como objetivo en su tesis la evaluación del efecto en la resistencia a la compresión y a la flexión del mortero con reemplazo del cemento Portland por cemento gris con  $\text{TiO}_2$ .

En la campaña experimental realizaron ensayos de laboratorio con cubos y viguetas de morteros con 0%, 5%, 7.5%, 8.5% y 10% de dióxido de titanio en base al peso del cemento para evaluar sus propiedades mecánicas y comparar los costos directos de las muestras con y sin dióxido de titanio. Asimismo, realizaron un diseño de un muro usando como revestimiento mortero fotocatalítico que cumpla con la normativa sísmica colombiana.

Concluyeron que, la resistencia a la compresión a los 28 días en el mortero con 5% de  $\text{TiO}_2$  se incrementa hasta en 6%, mientras que en las muestras de 7.5% y 8.5% disminuye por el aumento de porosidad; según el análisis de costos, el mortero con 5% de  $\text{TiO}_2$  es 3% más caro que el mortero tradicional.

## **2.3. Bases teóricas vinculadas a las variables de estudio**

### **2.3.1. Mortero**

En Egipto elaboraban el mortero con yeso quemado y arena, en Grecia y Roma los morteros eran de distintos materiales como la cal quemada, toba volcánica y arena. A principio del siglo XX, se comenzó a utilizar el cemento Pórtland como material cementante del mortero para que este sea mucho más resistente.

Los morteros son mezclas homogéneas de un cementante, agregado fino y agua, según el requerimiento se incluye un aditivo. Para lograr el desarrollo de las propiedades del mortero se deberá realizar cuidadosamente las tareas de manejo,

colocación y curado ya que, estas influyen en el desempeño del mortero, así como también depende de la dosificación de sus componentes (ASOCRETO, 2010).

Los morteros de cemento son fabricados con cemento Pórtland. Generalmente son usados cuando se necesitan altas resistencias. La relación cemento: agregado fino altera en la trabajabilidad de la mezcla, a comparación de los morteros con cal, la mezcla es menos plástica y trabajable. El mortero de cemento Portland tiene un fraguado rápido, es por esta razón que su fabricación en obra debe hacerse en forma continua, optimizando el tiempo entre el mezclado y colocación. No es conveniente el uso de morteros con mucho porcentaje de cemento en albañilería, ya que pueden ser demasiado resistentes con una baja retención de agua, agrietándose fácilmente.

### **2.3.2. Lesiones físicas en fachadas**

La problemática patológica se basa en hechos físicos cuya evolución dependerá solo de procesos físicos debido a agentes atmosféricos que actúan sobre el edificio y sobre todo a sus fachadas y cubiertas.

La lluvia causa humedad en materiales muy porosos o de gran capacidad capilar de ensuciamiento por lavado diferencial. El viento direcciona el agua de lluvia modificando el nivel de exposición de las fachadas. La contaminación atmosférica es agente directo del ensuciamiento de fachadas por depósito y por lavado diferencial (Fiol, 2014).

#### **Suciedad**

Es el depósito de partículas presentes en el aire que están en suspensión sobre las fachadas exteriores por efecto de la gravedad, este proceso es denominado ensuciamiento por depósito. El ensuciamiento por lavado diferencial es cuando las partículas penetran en los poros superficiales de las fachadas o estas son quitadas por acumulación puntual del agua de lluvia formándose manchas sucias en distintas zonas de las fachadas.

Por otro lado, las fachadas también son afectadas por lesiones químicas que afectan la integridad del revestimiento, así como también su durabilidad. Los microorganismos producen ataques más directos, los mohos se desarrollan en

materiales porosos y húmedos provocando cambios de coloración y aspecto. Los hongos afectan a las maderas pudriéndolas y producen erosión en materiales pétreos debido al desprendimiento de sustancias químicas (Fiol, 2014).

### **2.3.3. Fotocatálisis**

La fotocatalisis se basa en el principio natural de descontaminación de la fotosíntesis, con la ayuda de la luz solar elimina los contaminantes habituales. Esta reacción fotoquímica transforma la energía solar en energía química sobre la superficie de un catalizador, que consiste en un material semiconductor que acelera la velocidad de reacción de oxidación y reducción.

Mediante la fotocatalisis la mayor parte de gases contaminantes presentes en el aire como son el NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, compuestos orgánicos volátiles (VOCs), compuestos orgánicos clorados, CO, compuestos poli aromáticos, son transformados en nitritos y nitratos inocuos que pueden ser evacuados por la lluvia. Entre los fotocatalizadores más comunes se encuentra el dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) y los derivados de este (Maury, 2010).

### **2.3.4. Catalizador dióxido de titanio TiO<sub>2</sub>**

El titanio abunda en la naturaleza, no se encuentra en estado puro sino en forma de óxidos, un ejemplo de ello es el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>).

Existen tres modificaciones cristalinas de dióxido de titanio: rutilo (tetragonal), anatasa (tetragonal) y brookita (ortorómbica). El rutilo es la más estable ya que, la anatasa y la brookita cuando están sometidos a calor se transforman en rutilo. La estructura cristalina brookita se encuentra escasamente y no presenta alguna actividad fotocatalítica significativa cuando está expuesta a luz visible. Entonces, las modificaciones de rutilo y anatasa son usados con mayor frecuencia en aplicaciones comerciales (Maury, 2010).

### **Usos**

A partir del siglo XX, la modificación cristalina rutilo fue usado como pigmento para cosméticos, pinturas y otros. Debido a su alta capacidad para degradar compuestos orgánicos, el rutilo destruía los adhesivos orgánicos produciendo el fenómeno denominado efecto tiza. Actualmente, para contrarrestar este efecto, los



pigmentos de dióxido de titanio son recubiertos con distintos óxidos como sílice, alúmina y zirconio, los cuales reducen la cantidad de óxidos producidos. En 1972, debido a la investigación de Fujishima y Honda sobre la separación fotocatalítica del agua usando electrodos de dióxido de titanio tipo anastasa impulsó el uso de las propiedades fotocatalíticas con otras aplicaciones (Aguilar, 2013).

Inicialmente, el  $\text{TiO}_2$  fue utilizado para sistema de purificación de aire y agua debido a sus propiedades antibacteriales. Posteriormente, se elaboraron baldosas cerámicas recubiertas con  $\text{TiO}_2$  para adquirir propiedades antisépticas en hospitales, colegios, baños y cocinas. En la actualidad, la adición de metales como Ag y Cu al  $\text{TiO}_2$  ha incrementado sus propiedades antibacterianas. En 1995, se descubrió que los recubrimientos de  $\text{TiO}_2$  que contenían un porcentaje de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) al estar expuestos a luz y en contacto con el agua, desarrollaban un comportamiento hidrofílico y además este se mantiene activo por un largo periodo así no se encuentre expuesto a rayos UV (Maury, 2010).

Actualmente, debido al comportamiento hidrofílico del  $\text{TiO}_2$ , este es aplicado con mucha frecuencia en espejos y vidrios para mantener sus propiedades ópticas en condiciones atmosféricas desfavorables que son adecuadas para la condensación del vapor de agua y además este catalizador está siendo usado en materiales a base de cemento.

### **2.3.5. Efectos fotocatalíticos del $\text{TiO}_2$**

- Efecto Autolimpiante

Las superficies expuestas a la intemperie experimentan el depósito de compuestos orgánicos pigmentados como son los gases producidos por el parque automotor, moho, agentes contaminantes orgánicos procedentes de actividades domésticas e industriales, etc. La acción fotocatalítica del  $\text{TiO}_2$  elimina las moléculas orgánicas colorantes e indirectamente permite reducir la suciedad que es producido por las partículas sólidas inorgánicas. La limpieza de estas partículas se basa en la degradación de la capa orgánica adherida a las superficies y posteriormente, en la eliminación total de las partículas restantes con agua proveniente de precipitaciones.

Mediante la fotocatalisis se eliminan los componentes orgánicos descomponiéndolos en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O), los inorgánicos se disuelven, son destruidos parcialmente y removidos por el agua de riego o de lluvia. (Abella, 2015).

- Efecto Descontaminante.

A falta de unos ensayos normalizados, las pruebas de laboratorio desarrolladas fueron realizadas mediante métodos de evaluación de características descontaminantes de materiales a base de cemento con aparatos especiales. Existen registros de laboratorio de reducción de NO<sub>2</sub> de hasta el 91% en condiciones determinadas. En definitiva, los contaminantes gaseosos quedan atrapados en las superficies de los morteros y concretos fabricados con TiO<sub>2</sub>. Las reacciones de oxidación y reducción realizadas por la fotocatalisis transforman los óxidos de nitrógeno en sales solubles de nitrato de calcio que son removidos y eliminados por las precipitaciones o por agua de riego.

- Efecto Antibacteriano.

Las condiciones ambientales con alta humedad y poca disponibilidad de luz solar permiten el establecimiento y crecimiento de microorganismos como las algas, hongos y cianobacterias sobre los materiales a base de cemento siendo un fenómeno común en dichos materiales debido a su alta porosidad, rugosidad y rica composición mineral.

El dióxido de titanio tiene la capacidad para descomponer los compuestos orgánicos de la parte exterior de la membrana celular de algunos microorganismos causando la muerte de la célula. (Abella, 2015).

### **2.3.6. Hidrofilicidad en materiales con TiO<sub>2</sub>**

En 1995, se descubrió accidentalmente la superhidrofilicidad mediante el experimento de adicionar un pequeño porcentaje de SiO<sub>2</sub> en una lámina delgada de dióxido de titanio demostrando que tras ser iluminada con luz ultravioleta adquiere propiedades superhidrofílicas. En este caso, los pares electrón-hueco son generados normalmente, pero reaccionan en una forma diferente expulsando los átomos de

oxígeno y dejando huecos electrónicos que pueden ser ocupados por moléculas de agua produciendo grupos OH adsorbidos logrando que la superficie sea hidrofílica.

Entonces, el agua de precipitaciones, no se acumula como gotas sobre los materiales sino forma láminas en las superficies. El ángulo de contacto del agua disminuye cuando hay mayor tiempo de irradiación de luz UV; después de media hora aproximadamente de exposición, el ángulo de contacto se aproxima a cero, lo cual indica que el agua se extiende completamente sobre la superficie (Abella, 2015).

### **2.3.7. Calidad del aire en Lima**

SENAMHI es un organismo meteorológico que realiza distintos estudios dentro de los cuales se encuentra el análisis anual de la calidad del aire en Lima. Durante el año 2013, las concentraciones medias mensuales de PM10 en las estaciones de Santa Anita, Ate y Villa María del Triunfo presentaron concentraciones más elevadas que las del Campo de Marte y San Borja. Esta diferencia se podría deber a que las primeras estaciones se encuentran más próximas a fuentes contaminantes importantes como son las actividades industriales y vías vehiculares principales, así como al transporte horizontal de contaminantes debido a la presencia de vientos predominantes del suroeste y/o al estancamiento de las masas de aire en los distritos del noreste y del este (SENAMHI, 2013).

Asimismo, todos los distritos analizados según SENAMHI sobrepasan los 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; lo cual evidentemente afecta la salud de sus habitantes, basados en los límites permitidos según la OMS. Realizando una comparación con los valores de PM10 de Madrid existe una similitud en las concentraciones ya que, superan el límite permitido de la OMS hasta llegar a valores mayores de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Madrid está utilizando la tecnología fotocatalítica para reducir su contaminación atmosférica teniendo resultados totalmente favorables.

## **2.4. Definición de términos básicos**

- Cemento Pórtland

El cemento Pórtland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que

contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda. Son aquellos aptos para aplicaciones estructurales y que, además, pueden utilizarse para aplicaciones no estructurales en la construcción. (NTP 334.001).

- Aditivo

Es una sustancia química, generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento, distinta del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o del concreto, y se agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas, de tal manera que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o las necesidades de la construcción. Puede ser usado para concreto estructural, mortero o acabados (Rivera, 2015).

- Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)

Es el óxido natural del titanio con característica opaco, estable, incombustible y no tóxico, que se suele comercializar en forma de polvo blanco. Tiene tres modificaciones cristalinas rutilo (tetragonal), anatasa (tetragonal) y brookita (ortorómbica). De estas tres formas cristalinas del TiO<sub>2</sub>, el rutilo es la más estable, ya que la anatasa y la brookita se transforman en rutilo bajo calentamiento. Los tipos rutilo y anatasa tienen más aplicaciones industriales (Maury, 2010).

- Fotocatálisis

La fotocatálisis es una reacción fotoquímica que convierte la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador o sustrato, consistente en un material semiconductor que acelera la velocidad de reacción. Durante el proceso tienen lugar reacciones tanto de oxidación como de reducción. De esta forma se promueve la eliminación de la mayor parte de los contaminantes en las ciudades. (Lisbona, 2016).

- Material semiconductor

Un material semiconductor es aquel que presenta propiedades eléctricas intermedias entre los conductores y los aislantes eléctricos. Los semiconductores se

clasifican generalmente por su resistividad eléctrica a temperatura ambiente, con valores comprendidos entre  $10^{-2}$  y  $10^9$  ohm-cm, es decir, que conducen electricidad a temperatura ambiente, siendo la conductividad fuertemente dependiente de la temperatura (Abella, 2015).

- Calidad del aire

Es denominado a las concentraciones de componentes en el aire, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en cantidad suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias que no interfieran con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente. Los tipos de contaminación del aire son: Físicos (ruido, vibraciones, radiaciones); químicos (partículas de plomo y cadmio, por ejemplo), primarios (monóxido de carbono), orgánicos (metano, propano) e inorgánicos (plomo, ácidos y óxidos); y biológicos (virus, bacterias, mohos, polen) (MINAM, 2013).

## CAPÍTULO III: HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis general

- Al adicionar el dióxido de titanio en el mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas mejora su comportamiento en Lima Metropolitana.

#### 3.1.2. Hipótesis específicos

- Al diseñar mezclas con distintos porcentajes de dióxido de titanio mejora las propiedades mecánicas del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana.
- Al determinar el porcentaje adecuado de dióxido se optimiza las propiedades autolimpiantes del mortero de cemento Portland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana.

### 3.2. Variables

#### 3.2.1. Definición conceptual de las variables

- **Variable independiente**  
Adición de dióxido de titanio.
- **Variable dependiente**  
Comportamiento del mortero de cemento Portland Tipo I.

#### 3.2.2. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables describe la variable dependiente e independiente con sus respectivos indicadores de evaluación, como se muestra en la Tabla N°1.

Tabla 1. Operacionalización de variables

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			
VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES	INSTRUMENTOS
V.I.ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO	DISEÑO DE MEZCLA	*Recopilar información relacionada al tema de investigación.	*Tesis, fuentes documentales, libros, revistas y fichas técnicas.
	PORCENTAJE DE DIÓXIDO DE TITANIO	*Realizar distintas mezclas de morteros de cemento Pórtland Tipo I con diferentes porcentajes de dióxido de titanio.  *Evaluar el comportamiento del dióxido de titanio en la mezcla.	*Equipos de Laboratorio de Ensayo de Materiales.
V.D. COMPORTAMIENTO DEL MORTERO	PROPIEDADES MECÁNICAS	*Ensayo de fluidez.	*NTP 334.057
		*Ensayo de absorción del mortero.  *Ensayo de resistencia a la compresión.  * Realizar cuadros y gráficos de los resultados.	*NTP 399.631  *NTP 334.051  *Software Excel.
	PROPIEDADES AUTOLIMPIANTES	*Ensayo de rodamina.  *Intemperismo	*UNI 11259  *Seguimiento continuo documentado.

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO**

### **4.1. Tipo y Nivel**

El tipo de investigación es experimental de nivel descriptivo ya que, analiza el fenómeno de fotocatalisis en las propiedades y características del mortero; y correlacional porque mide la relación que existe entre las variables de estudio de una población.

### **4.2. Diseño de investigación**

El diseño de investigación es experimental de tipo cualitativo y cuantitativo debido a que la descripción de las propiedades del mortero fotocatalítico fue en base a la observación y a los resultados de los ensayos. Además, se realizaron cálculos, cuadros estadísticos y gráficos para el análisis de la investigación con el fin de contrastar las hipótesis planteadas anteriormente.

### **4.3. Población y muestra**

#### **○ Población de estudio**

La población de estudio son todas las mezclas de mortero de cemento Pórtland Tipo I con distintos porcentajes de dióxido de titanio en Lima Metropolitana.

#### **○ Diseño muestral**

La técnica de muestreo de la presente investigación fue representativa ya que, no existen criterios estadísticos ni racionales para el análisis y diseño de morteros fotocatalíticos. Se elaboró cuatro tipos de mezcla con 0%, 5%, 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub>.

Para el ensayo de absorción se elaboraron 9 cubos de 50 mm de lado por cada mezcla de mortero de cemento Pórtland Tipo I.

Para el ensayo de resistencia a la compresión se elaboraron 12 cubos de 50 mm de lado de mortero de cemento Portland Tipo I, por cada mezcla de los cuales se ensayarán 3 testigos a 1 día, 3 días, 7 días y 28 días.



Para el ensayo de rodamina se elaboraron 3 cubos de 50 mm de lado por cada mezcla de mortero de cemento Pórtland Tipo I.

Para la prueba de intemperismo se tarrajearon 4 paneles de 0.50m x 0.60m con las distintas mezclas de mortero de cemento Pórtland Tipo I.

La Tabla N°2 indica el resumen de la cantidad, tipo y especificación de la muestra.

Tabla 2. Población muestral

CANTIDAD	TIPO	ESPECIFICACIÓN
36	Cubos de 50mm	Para ensayos de absorción
48	Cubos de 50mm	Para ensayos de resistencia a la compresión
12	Cubos de 50mm	Para ensayos de rodamina
4	Paneles de 0.50 m x 0.60 m	Para exposición al medio ambiente

Fuente: Elaboración propia

#### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos**

La técnica de investigación se basó en la observación del fenómeno y la recopilación de datos para su posterior análisis. Los principales instrumentos se desarrollaron mediante la realización de ensayos de laboratorio:

- NTP 399.631 Método de ensayo normalizado para la tasa de absorción del agua de morteros de albañilería.
- NTP 334.003 Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.

- NTP 334.057 Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland.
- NTP 334.051 Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Pórtland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado.
- UNI 11259 Determinazione dell'attività fotocatalitica di liganti idraulici. Metodo della rodamina.
- Seguimiento continuo documentado fotográficamente para prueba de intemperismo.

#### **4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos**

Los ensayos de laboratorio fueron determinados por las normas técnicas peruanas, las cuales definen las características de los equipos a utilizar. El laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Ricardo Palma cuenta con equipos calibrados de acuerdo a norma, es por esta razón que los instrumentos son confiables.

#### **4.4.3. Procedimiento para la recolección de datos**

- El ensayo de absorción se desarrolló según la norma NTP 399.631, se moldearon 9 cubos de 50 mm de lado de cada diseño de mezcla, el cual fue curado durante 28 días para luego proceder con el ensayo de absorción. Se registró el peso seco de los cubos, luego se introdujeron dentro del recipiente con agua y se tomaron los pesos de la muestra ensayada en los intervalos de 0.25 h, 1.4 h y 24 h para hallar su absorción total en gr/100cm<sup>2</sup>.
- El ensayo de fluidez se basó en la norma NTP 334.057, se realizaron mezclas de mortero según diseño, dichas mezclas fueron ensayadas en la mesa de flujo para obtener su porcentaje de fluidez.

- El ensayo de resistencia a la compresión se desarrolló según la norma NTP 334.0521, se moldearon 12 cubos de 50 mm de lado de cada diseño de mezcla, donde cada 3 cubos fueron curados durante 24 horas, 3, 7 y 28 días respectivamente para luego ser ensayados y obtener los valores de resistencia del mortero a la compresión ( $f'_m$ ) según edades de curado.
- El ensayo de Rodamina B se realizó según la norma italiana UNI 11259 donde se impregnó una cara de los cubos de 50mm de mortero con rodamina b y fueron expuestas a una lámpara de rayos UV, se registraron los valores  $a^*$  del sistema de color CIE mediante el uso de un colorímetro. Las mediciones se realizaron a las 4 horas y a las 26 horas para determinar el porcentaje de degradación de color.

#### **4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

El procesamiento de información fue de acuerdo a lo indicado en cada norma respectiva a cada ensayo ya que, cada uno tiene sus índices de medición. Los análisis de datos y comparación fueron obtenidos estadísticamente y, además se realizaron comparaciones fotográficas.

Para la contrastación de hipótesis se realizó la prueba estadística de normalidad de Shapiro Wilk de cada una de las muestras para verificar la fiabilidad de los resultados de la prueba de ANOVA la cual determina si existen diferencias significativas en los resultados de los distintos tratamientos de  $TiO_2$  y la prueba de regresión para definir la relación entre las variables mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) así como también la obtención de los coeficientes de una ecuación lineal para predecir futuras proyecciones.

# CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

## 5.1 Propiedades de los materiales utilizados

### 5.1.1. Cemento Pórtland Tipo I

El cemento Pórtland se fabrica a partir de materiales calcáreos (caliza) y arcillosos con alto contenido de sílice y alúmina, adicionalmente se agrega óxido de hierro para mejorar la composición química. Estas materias primas son procesadas a altas temperaturas formándose el clinker constituido por Silicato Tricálcico C3S (30% a 60%) responsable del inicio del fraguado y de la resistencia inicial, Silicato Dicálcico C2S (15% a 37%) cuya hidratación y endurecimiento es lento lo cual contribuye con el aumento de resistencia en edades mayores a 7 días, Aluminato Tricálcico C3A (7% a 15%) libera calor durante los primeros días de hidratación y es vulnerable a los sulfatos; y Aluminio-Férrico Tetracálcico C4AF (8% a 10%) resultante del uso de materiales con contenido de hierro y aluminio para la reducción de temperatura del proceso de clinkerización . Luego, el clinker es enfriado y triturado para ser mezclado posteriormente con yeso y así obtener el producto final que tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua durante el proceso de hidratación.

La norma ASTM C-150 clasifica en cinco tipos el cemento Pórtland los cuales son denominados Tipo I (normal), Tipo II (resistencia moderada a los sulfatos), Tipo III (alta resistencia inicial), Tipo IV (bajo calor de hidratación) y Tipo V (resistencia elevada a los sulfatos).

El cemento Pórtland Tipo I es de uso general, usado en obras de concreto que no requieran características especiales del cemento o que no estén expuestos a factores agresivos como la presencia de sulfatos en el suelo o en el agua. El cemento usado en la presente investigación es el **Cemento Sol** siendo de Tipo I destinado a usos como fabricación de concretos de mediana y alta resistencia a la compresión, preparación de concretos para elementos estructurales, fabricación de morteros para tarrajeos, etc. Este cemento cumple con la NTP 334.009 y con la norma ASTM C-150 cuyas propiedades físicas y químicas se muestran en la Tabla N°3.

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del Cemento Sol Tipo I

Parámetro	Unidad	Cemento Sol Tipo I
Contenido de aire	%	6.62
Expansión autoclave	%	0.08
Superficie específica	cm <sup>2</sup> /g	3361
Densidad	g/ml	3.12
<b>Resistencia a la compresión</b>		
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm <sup>2</sup>	296
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm <sup>2</sup>	357
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm <sup>2</sup>	427
<b>Tiempo de Fraguado</b>		
Fraguado Vicat inicial	min	127
Fraguado Vicat final	min	305
<b>Composición Química</b>		
MgO	%	2.93
SO <sub>3</sub>	%	3.08
Pérdida al fuego	%	2.25
Residuo insoluble	%	0.68
<b>Fases Mineralógicas</b>		
C <sub>2</sub> S	%	13.15
C <sub>3</sub> S	%	53.6
C <sub>3</sub> A	%	9.66
C <sub>4</sub> AF	%	9.34

Fuente: Ficha Cemento Sol - UNACEM

### 5.1.2. Agua

El agua de mezclado es adicionada junto al cemento y agregados para la obtención de una pasta hidratada con una determinada fluidez que asegure la trabajabilidad de la mezcla, por lo tanto, a mayor cantidad de agua mayor fluidez de la pasta. Una cantidad fija de agua formará parte de la estructura y la otra permanecerá como agua libre la cual está ligada con la porosidad ya que, esta fracción de agua se evapora con el tiempo dejando pequeños conductos en el concreto endurecido dándole un grado de permeabilidad al material y además si los vacíos capilares aumentan la resistencia disminuye (ASOCRETO, 2010).

Según la norma NTP 339.088, el agua debe ser de preferencia potable y bebible. Está prohibido el uso de aguas ácidas, aguas provenientes de relaves o minas, aguas

con residuos minerales o industriales, aguas de desagüe, etc. Se pueden usar aguas naturales no potables que estén limpias y que cumplan con los requisitos de la norma. El agua usada en la realización de la presente tesis es potable.

### 5.1.3. Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)

Se ha empleado dióxido de titanio en fase anatasa distribuido por AQCIATEX en proporciones de 5%, 7.5% y 10% del volumen del cemento cuyas características se muestran en la Figura 1.

TEST	SPECIFICATIONS	TEST RESULTS
CHARACTERISTICS	WHITE TO SLIGHTLY COLORED POWDER	WHITE POWDER
IDENTIFICATION SOLUBILITY	INSOLUBLE IN WATER AND ORGANIC SOLVENTS DISSOLVES SLOWLY IN HYDROFLUORIC ACID AND IN HOT CONCENTRATED SULPHURIC ACID	CONFORMS
LOSS ON DRYING(105°C, 3 HOURS)	0.5% MAX	0.26%
LOSS ON IGNITION A VOLATILE MATTER FREE BASIS(800°C)	1.0% MAX	0.28%
WATER SOLUBLE SUBSTANCE	0.5% MAX	0.22%
ACID SOLUBLE SUBSTANCE(0.5N HCl) ALUMINA / SILICA FREE	0.5% MAX	0.29%
ACID SOLUBLE SUBSTANCE(0.5N HCl) CONTAINING ALUMINA / SILICA	1.5% MAX	NOT APPLICABLE
LEAD (0.5N HCl SOLUBLE)	10 PPM MAX	3.72
ARSENIC (0.5N HCl SOLUBLE)	1 PPM MAX	0.64
ANTIMONY (0.5N HCl SOLUBLE)	2 PPM MAX	0.58
MERCURY (0.5N HCl SOLUBLE)	1 PPM MAX	<0.01
CADMIUM (0.5N HCl SOLUBLE)	1 PPM MAX	<0.01
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> AND/OR SiO <sub>2</sub>	2.0% MAX	<0.02%
ASSAY(TiO <sub>2</sub> ) ALUMINA / SILICA FREE	99.0% MIN	99.32%

Figura 1. Certificado de Análisis del TiO<sub>2</sub>

Fuente: AQCIATEX

### 5.1.4. Agregado fino

El agregado fino son arenas de origen natural o artificial que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8") quedando retenido en el tamiz 0.075mm (N°200). Este material ocupa la mayor parte del volumen constituyente del mortero cuya fracción depende del diseño de acuerdo al uso que se le dará.

Según la NTP 400.011, el agregado fino debe estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas. Asimismo, las normas que regulan las características del agregado fino para morteros de albañilería son la ASTM-C144 y la NTP 399.607.

El mortero para revestimiento está conformado por arena fina, material cementante, agua y a veces algún tipo de aditivo. La arena fina es usada para lograr un mejor acabado en el muro revestido. Para la presente investigación, se utilizó arena fina de marca UNICON proveniente de la cantera privada de UNICON.

#### 5.1.4.1. Granulometría y módulo de finura

La granulometría del agregado fino es la distribución de las partículas que la conforman según su tamaño, la masa del agregado es separada en fracciones mediante el proceso de tamizado, cuyo material queda retenido en las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 de la serie de Tyler.

Los límites granulométricos dados por la NTP 399.607 no son aplicables para la arena fina. Sin embargo, se realizó el ensayo para conocer el módulo de finura del agregado cuyos resultados con mostrados en la Tabla N°5 hasta la Tabla N°7 para luego clasificarlo según la Tabla N°4.

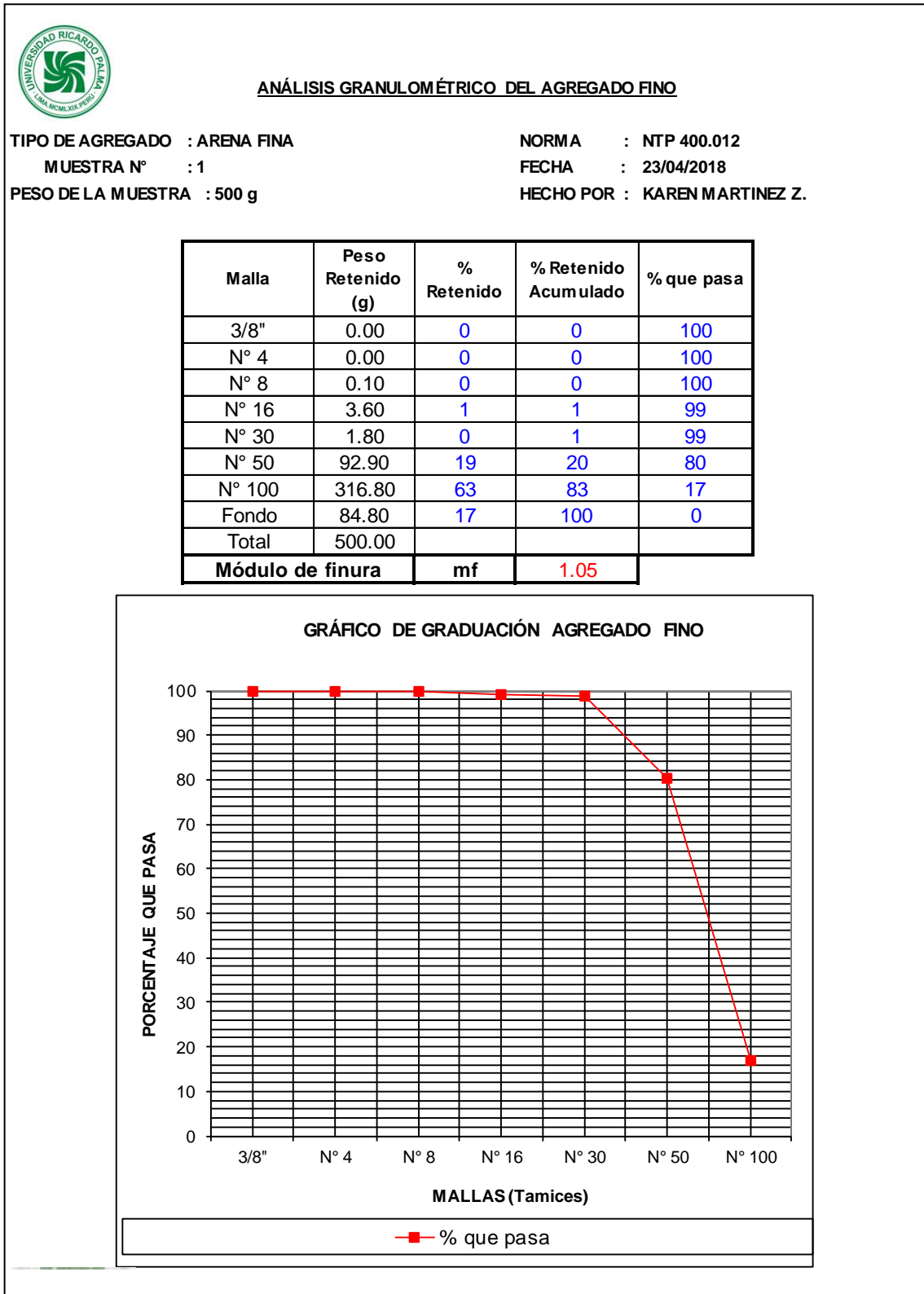
$$\text{Módulo de finura} = mf = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado}}{100}$$

Tabla 4. Clasificación del agregado fino según el módulo de finura

<b>MÓDULO DE FINURA</b>	<b>AGREGADO FINO</b>
Menor que 2.00	Muy fino o extra fino
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, G. (2015). Concreto Simple.

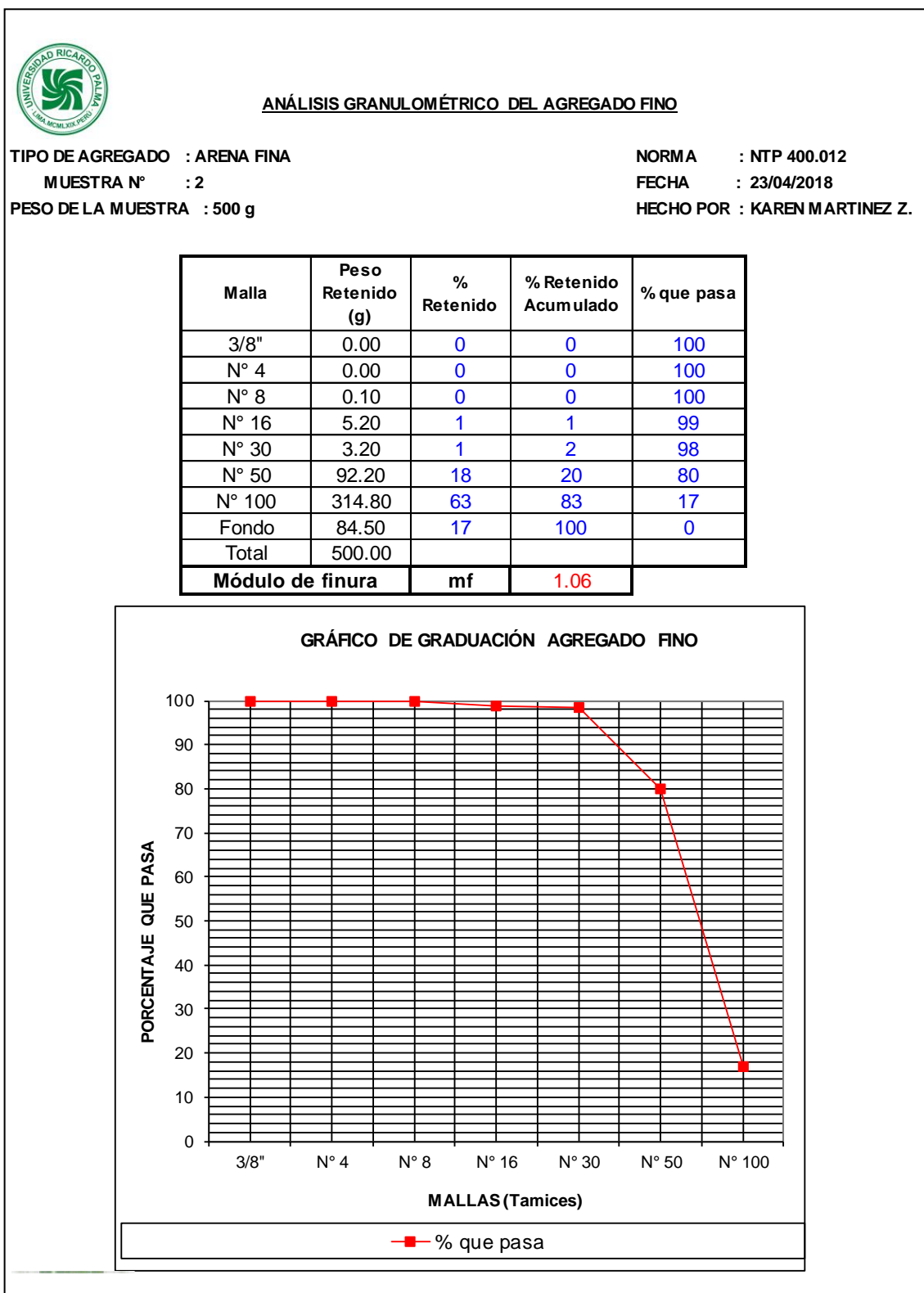
Tabla 5. Análisis granulométrico del agregado fino- Muestra N°1



Fuente: Elaboración propia

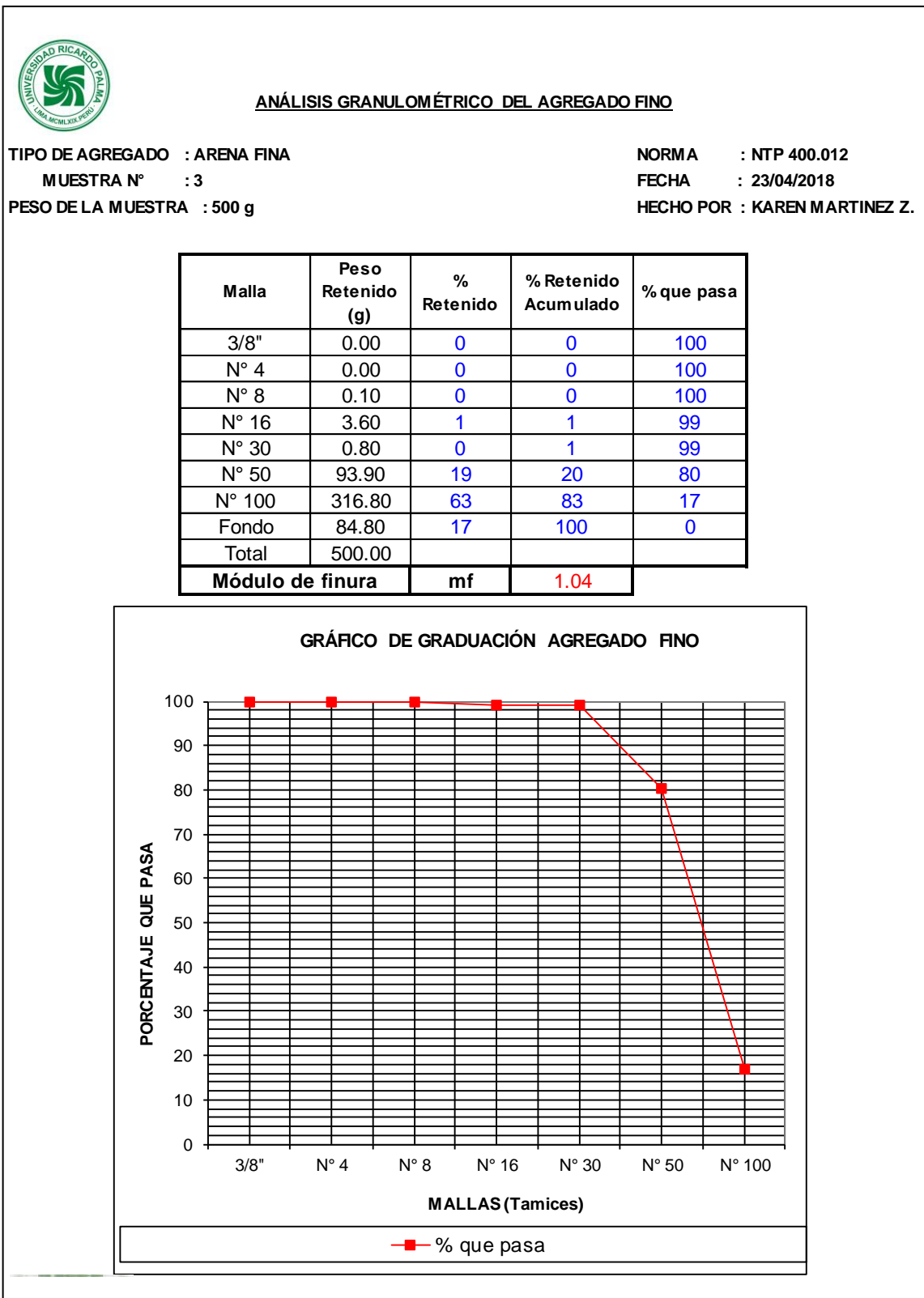


Tabla 6. Análisis granulométrico del agregado fino- Muestra N°2



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Análisis granulométrico del agregado fino- Muestra N°3



Fuente: Elaboración propia

El módulo de finura fue obtenido del promedio de los tres ensayos de granulometría dando un valor de **1.05** como se muestra en la Tabla N°8 clasificado como agregado fino muy fino de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 8. Módulo de finura agregado fino promedio

DESCRIPCIÓN	ENSAYO			PROMEDIO
	N°1	N°2	N°3	
Módulo de finura	1.05	1.06	1.04	<b>1.05</b>

Fuente: Elaboración propia


#### 5.1.4.2. Peso unitario

Según la ASTM-C29, el peso unitario o densidad de masa es el peso de un volumen unitario de agregado. Este valor se determina dividiendo la masa de un agregado en estado seco y el volumen que este ocupa incluyendo los vacíos entre las partículas.

El ensayo es aplicable para los agregados que no excedan los 125 mm y se realizan en la condición compactada y suelta. Para el caso de la arena fina, al no exceder el tamaño máximo nominal de 12.5 mm, la capacidad mínima del depósito a utilizar es de 1/10 pie<sup>3</sup>.


El procedimiento del ensayo fue realizado según la norma NTP 400.017. En la condición suelta, la arena fina es soltada suavemente al interior del recipiente mediante un cucharón que se encuentra a 5 cm de altura del borde superior, una vez lleno el depósito es enrasado para luego ser pesado. El llenado del recipiente en la condición compactada está dividido en tres capas, cada una es compactada con 25 golpes de penetración de una varilla de metal de 5/8” de diámetro con la punta redondeada, terminando la última capa se enrasa y se pesa. Los resultados obtenidos en este ensayo mostrados desde la Tabla N°9 hasta la Tabla N°11 son necesarios para el proporcionamiento de la mezcla de mortero.

Tabla 9. Peso unitario del agregado fino – Muestra N°1

 <p style="text-align: center;"><b><u>PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO</u></b></p>			
TIPO DE AGREGADO	: ARENA FINA	NORMA	: NTP 400.017
MUESTRA N°	: 1	FECHA	: 24/04/2018
Medida del recipiente	: 1/10 pie <sup>3</sup>	HECHO POR	: KAREN MARTINEZ Z.
<b>A) PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO (PUS)</b>			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA SUELTA + RECIPIENTE		5.77	kg
PESO DEL RECIPIENTE		1.75	kg
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	Ws	4.02	kg
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		4.56	kg
PESO DEL AGUA	Wa	2.82	kg
FACTOR DE CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE	f	355.05	m <sup>-3</sup>
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	<b>PUS</b>	<b>1428</b>	<b>kg/ m<sup>3</sup></b>
$f = 1000 / Wa$ $PUS = f \times Ws$			
<b>B) PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (PUC)</b>			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA + RECIPIENTE		6.13	kg
PESO DEL RECIPIENTE		1.75	kg
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	Wc	4.39	kg
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		4.56	kg
PESO DEL AGUA	Wa	2.82	kg
FACTOR DE CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE	f	355.05	m <sup>-3</sup>
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	<b>PUC</b>	<b>1558</b>	<b>kg/ m<sup>3</sup></b>
$PUC = f \times Wc$			


Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Peso unitario del agregado fino – Muestra N°2

 <p style="text-align: center;"><b>PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO</b></p>			
TIPO DE AGREGADO	: ARENA FINA	NORMA	: NTP 400.017
MUESTRA N°	: 2	FECHA	: 24/04/2018
Medida del recipiente	: 1/10 pie <sup>3</sup>	HECHO POR	: KAREN MARTINEZ Z.
<b>A) PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO (PUS)</b>			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA SUELTA + RECIPIENTE		5.78	kg
PESO DEL RECIPIENTE		1.75	kg
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	Ws	4.03	kg
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		4.56	kg
PESO DEL AGUA	Wa	2.82	kg
FACTOR DE CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE	f	355.05	m <sup>-3</sup>
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	<b>PUS</b>	<b>1431</b>	<b>kg/ m<sup>3</sup></b>
$f = 1000 / Wa$ $PUS = f \times Ws$			
<b>B) PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (PUC)</b>			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA + RECIPIENTE		6.14	kg
PESO DEL RECIPIENTE		1.75	kg
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	Wc	4.39	kg
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		4.56	kg
PESO DEL AGUA	Wa	2.82	kg
FACTOR DE CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE	f	355.05	m <sup>-3</sup>
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	<b>PUC</b>	<b>1560</b>	<b>kg/ m<sup>3</sup></b>
$PUC = f \times Wc$			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Peso unitario del agregado fino – Muestra N°3

 <p style="text-align: center;"><b><u>PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO</u></b></p>			
<b>TIPO DE AGREGADO</b>	: ARENA FINA	<b>NORMA</b>	: NTP 400.017
<b>MUESTRA N°</b>	: 3	<b>FECHA</b>	: 24/04/2018
<b>Medida del recipiente</b>	: 1/10 pie <sup>3</sup>	<b>HECHO POR</b>	: KAREN MARTINEZ Z.
<b>A) PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO (PUS)</b>			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA SUELTA + RECIPIENTE		5.76	kg
PESO DEL RECIPIENTE		1.75	kg
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	Ws	4.01	kg
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		4.56	kg
PESO DEL AGUA	Wa	2.82	kg
FACTOR DE CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE	f	355.05	m <sup>-3</sup>
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>	<b>PUS</b>	<b>1425</b>	<b>kg/ m<sup>3</sup></b>
$f = 1000 / Wa$ $PUS = f \times Ws$			
<b>B) PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (PUC)</b>			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA + RECIPIENTE		6.13	kg
PESO DEL RECIPIENTE		1.75	kg
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	Wc	4.38	kg
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		4.56	kg
PESO DEL AGUA	Wa	2.82	kg
FACTOR DE CALIBRACIÓN DEL RECIPIENTE	f	355.05	m <sup>-3</sup>
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	<b>PUC</b>	<b>1556</b>	<b>kg/ m<sup>3</sup></b>
$PUC = f \times Wc$			

Fuente: Elaboración propia

El peso unitario suelto y compactado fue obtenido del promedio de los tres ensayos dando un valor de **1428 kg/ m<sup>3</sup>** y **1558 kg/ m<sup>3</sup>** respectivamente según la Tabla N°12 y la Tabla N°13.

Tabla 12. Peso unitario suelto promedio del agregado fino

<b>MUESTRA</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO (PUS)</b>	<b>UNIDAD</b>
N°1	1428	kg/ m <sup>3</sup>
N°2	1431	kg/ m <sup>3</sup>
N°3	1425	kg/ m <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1428</b>	<b>kg/ m<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Peso unitario compactado promedio del agregado fino

<b>MUESTRA</b>	<b>PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)</b>	<b>UNIDAD</b>
N°1	1558	kg/ m <sup>3</sup>
N°2	1560	kg/ m <sup>3</sup>
N°3	1556	kg/ m <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1558</b>	<b>kg/ m<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia

#### **5.1.4.3. Peso específico y absorción**

El peso específico del agregado fino es la relación de la masa de una unidad de volumen del agregado con respecto a una masa de agua de igual volumen a una temperatura indicada. El método de ensayo de la ASTM-C128 determina el peso específico de la masa seca, el peso específico de la masa superficialmente seca, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción.

Según la norma NTP 400.022, la absorción es el aumento de la masa del agregado debido a la penetración del agua durante un tiempo determinado, este valor no incluye el agua que se adhiere a la superficie exterior. El porcentaje de absorción es expresado como porcentaje de la masa seca.

El peso específico de la arena fina fue utilizado para el cálculo del volumen que ocupa el agregado fino en la mezcla de mortero en base a un volumen absoluto y el porcentaje de absorción influye en el cálculo del agua efectiva. Se realizó el ensayo

de tres muestras obteniendo los resultados que se indican desde la Tabla N° 14 hasta la Tabla N° 16.

Tabla 14. Peso específico y absorción del agregado fino – Muestra N°1

 <b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>			
TIPO DE AGREGADO	: ARENA FINA	NORMA	: NTP 400.022
MUESTRA N°	: 1	FECHA	: 25/04/2018
Peso de la muestra	: 500 gr	HECHO POR	: KAREN MARTINEZ Z.
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA FIOLA		149.9	g
PESO DE LA ARENA S S S +PESO DE LA FIOLA		649.9	g
PESO DE LA ARENA SSS+PESO DE LA FIOLA+PESO DEL AGUA		961.7	g
PESO DEL AGUA	W	311.8	g
PESO DE LA ARENA SECA	A	497.9	g
VOLUMEN DE LA FIOLA	V	500.0	ml
1.- PESO ESPECÍFICO DE MASA			
$\frac{A}{(V - W)} = 2.65 \quad \text{g/cm}^3 = \mathbf{2646 \quad \text{kg/m}^3}$			
2.- PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO			
$\frac{500}{(V - W)} = 2.66 \quad \text{g/cm}^3 = \mathbf{2657 \quad \text{kg/m}^3}$			
3.- PESO ESPECÍFICO APARENTE			
$\frac{A}{(V - W) - (500 - A)} = 2.68 \quad \text{g/cm}^3 = \mathbf{2675 \quad \text{kg/m}^3}$			
4.-PORCENTAJE DE ABSORCIÓN			
$\frac{(500 - A)}{A} \times 100 = \mathbf{0.42 \%}$			

Fuente: Elaboración propia



Tabla 15. Peso específico y absorción del agregado fino – Muestra N°2

 <b><u>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</u></b>			
<b>TIPO DE AGREGADO</b>	: ARENA FINA	<b>NORMA</b>	: NTP 400.022
<b>MUESTRA N°</b>	: 2	<b>FECHA</b>	: 25/04/2018
<b>Peso de la muestra</b>	: 500 gr	<b>HECHO POR</b>	: KAREN MARTINEZ Z.
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA FIOLA		149.9	g
PESO DE LA ARENA S S S +PESO DE LA FIOLA		649.9	g
PESO DE LA ARENA SSS+PESO DE LA FIOLA+PESO DEL AGUA		961.9	g
PESO DEL AGUA	W	312.0	g
PESO DE LA ARENA SECA	A	498.0	g
VOLUMEN DE LA FIOLA	V	500.0	ml
1.- PESO ESPECÍFICO DE MASA			
$\frac{A}{(V - W)} = 2.65 \quad \text{g/cm}^3 = \mathbf{2649 \quad \text{kg/m}^3}$			
2.- PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO			
$\frac{500}{(V - W)} = 2.66 \quad \text{g/cm}^3 = \mathbf{2660 \quad \text{kg/m}^3}$			
3.- PESO ESPECÍFICO APARENTE			
$\frac{A}{(V - W) - (500 - A)} = 2.68 \quad \text{g/cm}^3 = \mathbf{2677 \quad \text{kg/m}^3}$			
4.-PORCENTAJE DE ABSORCIÓN			
$\frac{(500 - A)}{A} X100 = \mathbf{0.40 \%}$			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Peso específico y absorción del agregado fino – Muestra N°3

 <b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>			
TIPO DE AGREGADO	: ARENA FINA	NORMA	: NTP 400.022
MUESTRA N°	: 3	FECHA	: 25/04/2018
Peso de la muestra	: 500 gr	HECHO POR	: KAREN MARTINEZ Z.
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA FIOLA		149.9	g
PESO DE LA ARENA S S S +PESO DE LA FIOLA		649.9	g
PESO DE LA ARENA SSS+PESO DE LA FIOLA+PESO DEL AGUA		961.6	g
PESO DEL AGUA	W	311.7	g
PESO DE LA ARENA SECA	A	497.8	g
VOLUMEN DE LA FIOLA	V	500.0	ml
1.- PESO ESPECÍFICO DE MASA			
$\frac{A}{(V - W)} = 2.64 \quad \text{g/cm}^3 = \mathbf{2644 \quad \text{kg/m}^3}$			
2.- PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO			
$\frac{500}{(V - W)} = 2.66 \quad \text{g/cm}^3 = \mathbf{2655 \quad \text{kg/m}^3}$			
3.- PESO ESPECÍFICO APARENTE			
$\frac{A}{(V - W) - (500 - A)} = 2.67 \quad \text{g/cm}^3 = \mathbf{2675 \quad \text{kg/m}^3}$			
4.-PORCENTAJE DE ABSORCIÓN			
$\frac{(500 - A)}{A} \times 100 = \mathbf{0.44 \%}$			

Fuente: Elaboración propia

Los pesos específicos de masa, masa saturada superficialmente seco y aparente fueron obtenidos del promedio de los tres ensayos al igual que el porcentaje de absorción como se muestra en la Tabla N° 17.

ENSAYO	MUESTRA			PROMEDIO	UNIDAD
	N°1	N°2	N°3		
Peso específico de masa	2646	2649	2644	2646	kg/ m <sup>3</sup>
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	2657	2660	2655	2657	kg/ m <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2675	2677	2675	2676	kg/ m <sup>3</sup>
Porcentaje de absorción	0.42	0.40	0.44	0.42	kg/ m <sup>3</sup>

Tabla 17. Peso específico y absorción del agregado fino promedio

Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.4.4. Contenido de humedad


El contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en una muestra representativa de agregado en su condición natural. El método de ensayo de la ASTM-C566 y la norma NTP 339.185 determinan el porcentaje total de humedad evaporable, el cual incluye la humedad superficial y la humedad en los poros del árido. El procedimiento consiste en determinar el porcentaje de humedad de la muestra en base a su peso seco.

La fórmula es la siguiente:

$$w\% = \frac{\text{Peso húmedo de la muestra} - \text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100$$

Esta característica del agregado fino es importante para la corrección de las proporciones de los componentes del mortero e influye en la cantidad de agua efectiva a utilizar en la mezcla. La Tabla N°18 muestra los resultados obtenidos del ensayo realizado en el laboratorio.

Tabla 18. Contenido de humedad del agregado fino

 <b>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO</b>			
TIPO DE AGREGADO : ARENA FINA		NORMA : NTP 339.185	
		FECHA : 26/04/2018	
PESO DE LA MUESTRA : 500 gr		HECHO POR : KAREN MARTINEZ Z.	
<b>MUESTRA N° 1</b>			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	A	500	g
PESO DE LA MUESTRA SECA	B	498.8	g
CONTENIDO DE AGUA	A - B	1.2	g
CONTENIDO DE HUMEDAD	H	0.24	%
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		$H=(A-B)/B$	
<b>MUESTRA N° 2</b>			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	A	500	g
PESO DE LA MUESTRA SECA	B	498.7	g
CONTENIDO DE AGUA	A - B	1.3	g
CONTENIDO DE HUMEDAD	H	0.26	%
<b>MUESTRA N° 3</b>			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA	A	500	g
PESO DE LA MUESTRA SECA	B	498.9	g
CONTENIDO DE AGUA	A - B	1.1	g
CONTENIDO DE HUMEDAD	H	0.22	%
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO =</b>		<b>0.24</b>	<b>%</b>

Fuente: Elaboración propia

#### **5.1.4.5. Material que pasa el tamiz N°200**

La norma ASTM-C117 y la NTP 400.018 determinan la cantidad de polvo o material más fino que la malla N°200 por lavado presente en el agregado, expresado en porcentaje del peso inicial de la muestra. Este ensayo es importante ya que, una cantidad elevada de finos en el árido altera las propiedades de la mezcla en el mortero o concreto. El resultado obtenido del ensayo está indicado en la Tabla N°19.



**MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°200 DEL AGREGADO FINO**

TIPO DE AGREGADO : ARENA FINA

NORMA : NTP 400018

FECHA : 27/04/2018

PESO DE LA MUESTRA : 500 gr

HECHO POR : KAREN MARTINEZ Z.

**MUESTRA N° 1**

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA	P1	500	g
PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA	P2	490.7	g
MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°200	(P1-P2)	9.3	g
% QUE PASA LA MALLA N°200	A	1.86	%

**PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N°200**  $A = 100( P1 - P2 ) / P1$

**MUESTRA N° 2**

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA	P1	500	g
PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA	P2	490.5	g
MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°200	(P1-P2)	9.5	g
% QUE PASA LA MALLA N°200	A	1.90	%

**MUESTRA N° 3**

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA	P1	500	g
PESO DE LA MUESTRA LAVADA Y SECADA	P2	490.4	g
MATERIAL QUE PASA LA MALLA N°200	(P1-P2)	9.6	g
% QUE PASA LA MALLA N°200	A	1.92	%

**PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA N°200 = 1.89 %**

Tabla 19. Material que pasa la malla N°200

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Diseño de mezcla de mortero

Los morteros pueden clasificarse según su uso, el mortero de pega es aquel que tiene suficiente resistencia a la compresión usado en la mampostería estructural, otro tipo de mortero es el usado como relleno, también se tiene el mortero de inyección y finalmente el mortero de revestimiento utilizado como recubrimiento de paredes dando como resultado una superficie lisa y uniforme.

Siendo el mortero de recubrimiento el objeto de estudio de esta investigación, al no tener una función estructural, no se requiere de una resistencia determinada, pero si el acabado final que tendrá.

Para el diseño de mezcla patrón de mortero se eligió la dosificación en volumen de cemento-arena 1:4 con el fin de obtener un acabado fino según la Tabla N° 20.

Tabla 20. Usos del mortero de cemento

DOSIFICACIÓN	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 y estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: Rivera, G. (2015). Concreto Simple.

La relación agua/cemento (a/c) de 0.85 fue obtenido de la Figura N°2 según la resistencia de compresión del mortero a los 28 días que para una proporción de 1:4 es de 130 kg/cm<sup>2</sup> de acuerdo a lo indicado en la Tabla 21.

Tabla 21. Resistencia de morteros cemento y arena según su proporción en volumen

TIPO DE MORTERO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN		RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>
	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

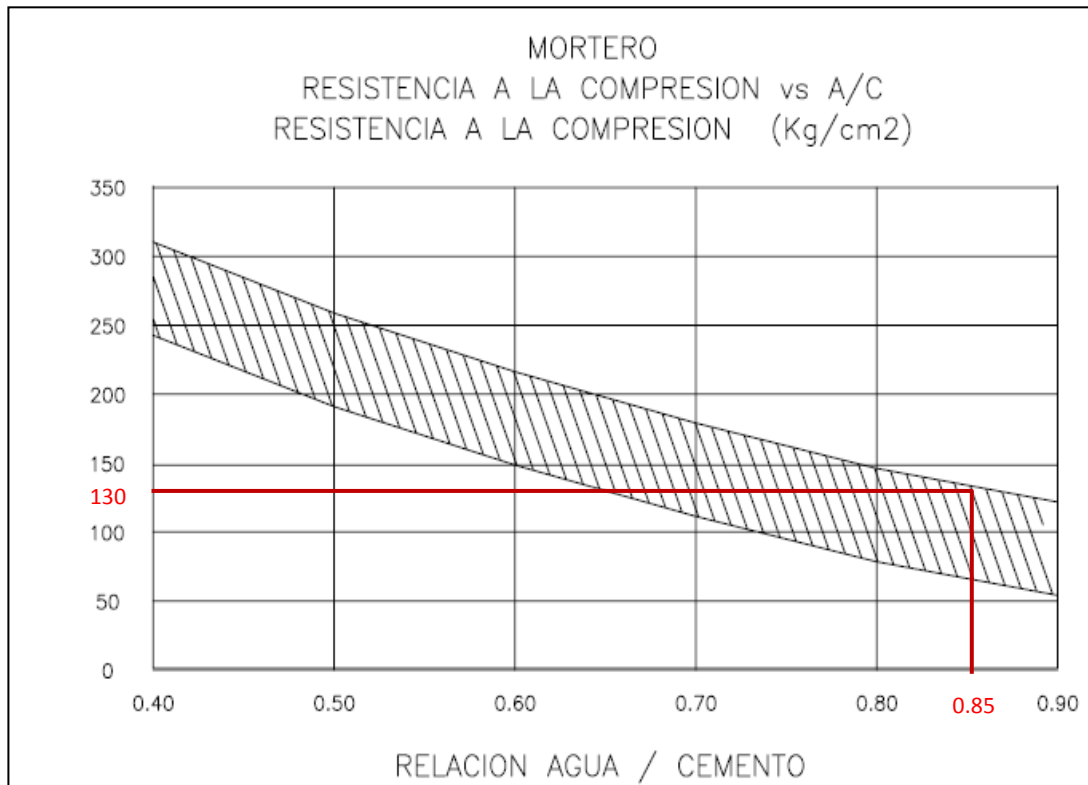


Figura 2. Resistencia a la compresión del mortero vs A/C

Fuente: Rivera, G. (2015). Concreto Simple.

La trabajabilidad del mortero depende de los requerimientos de la obra como el tipo de construcción y el sistema de colocación. Esta propiedad del mortero en estado fresco está relacionada con la consistencia de la mezcla que es evaluado por el porcentaje de fluidez obtenido del ensayo de la mesa de flujo. La consistencia de la presente investigación es plástica según la Tabla N°22. El resumen de las propiedades de los componentes del mortero de investigación está indicado en la Tabla N°23.

Tabla 22. Fluidez del mortero

% FLUIDEZ	CONSISTENCIA	TIPO DE ESTRUCTURA	CONDICIÓN DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN
Z			N	N



80-100	Dura (seca)	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos.	Secciones sujetas a vibración.	Proyección neumática con vibradores de formaleta.
100-120	Media(plástica)	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos.	Sin vibración.	Manual con palas y palustres.
120-150	Fluida(húmeda)	Rellenos de mampostería estructural.	Sin vibración.	Manual, bombeo, inyección.

Fuente: Rivera, G. (2015). Concreto Simple.

Tabla 23. Resumen de las propiedades de los componentes del mortero

AGREGADO FINO	
Peso específico de masa seca:	2646 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico de masa sss:	2657 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente:	2676 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario suelto seco:	1428 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario suelto compactado:	1558 kg/m <sup>3</sup>
Humedad:	0.24%
Absorción:	0.42%
Módulo de finura:	1.05
Material que pasa el tamiz N°200:	1.89%
CEMENTO SOL	
Tipo:	Tipo I
Peso específico:	3120 kg/m <sup>3</sup>
DIÓXIDO DE TITANIO	
Fase:	Anatasa
Peso específico:	4000 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.1. Diseño de mezcla patrón

#### 1) Dosificación en volumen 1:4 – A/C=0.85

- **Cemento= 1 pie<sup>3</sup> = 42.5 kg**
- **Arena fina = 4 pies<sup>3</sup>**

$$\text{Arena fina} = 4 \text{ pies}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pies}^3} \times \text{Peso unitario suelto}$$

$$\text{Arena fina} = 4 \text{ pies}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pies}^3} \times 1428$$

$$\text{Arena fina} = 161.74 \text{ kg}$$

- **Agua = 42.5 x 0.85 = 36.125 litros**

- **Aire atrapado = 7.5%**

## 2) Rendimiento de mezcla

- **Cemento =  $\frac{\text{Peso de bolsa de cemento}}{\text{Peso específico del cemento}}$**

$$\text{Cemento} = \frac{42.5 \text{ kg}}{3120 \text{ kg/m}^3} = 0.01362179 \text{ m}^3$$

- **Arena fina =  $\frac{\text{Peso de arena fina}}{\text{Peso específico de la arena fina}}$**

$$\text{Arena fina} = \frac{161.74 \text{ kg}}{2646 \text{ kg/m}^3} = 0.06112623 \text{ m}^3$$

- **Agua =  $\frac{\text{Peso bolsa de cemento} \times \text{relacion A/C}}{\text{Peso específico del agua}}$**

$$\text{Agua} = \frac{42.5 \text{ kg} \times 0.85}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.036125 \text{ m}^3$$

- **Subtotal = 0.11087302 m<sup>3</sup>**

- **Aire atrapado = 0.00831548 m<sup>3</sup> (7.5% del subtotal)**

- **Total = 0.1191885 m<sup>3</sup> (Rendimiento)**

## 3) Cálculo de cantidad de material por metro cúbico

- **Cemento (bolsa) =  $\frac{1}{\text{Rendimiento}} = \frac{1}{0.1191885} = 8.39$  bolsas**

$$\text{Cemento} = 42.5 \times 8.39 = 356.575 \text{ kg}$$

- **Arena fina = Cemento (bolsas) x Peso arena fina**

$$\text{Arena fina} = 8.39 \times 161.74 = 1356.999 \text{ kg}$$

- **Agua = Cemento (kg) x Relación A/C**

$$\text{Agua} = 356.575 \times 0.85 = 303.089 \text{ litros}$$

- **Aire atrapado = 7.5%**

#### 4) Materiales corregidos por humedad y absorción

- **Arena fina húmeda = Arena seca x  $(1 + \frac{w\%}{100})$**

$$\text{Arena fina húmeda} = 1356.999 \times (1 + \frac{0.24\%}{100})$$

$$\text{Arena fina húmeda} = 1360.256 \text{ kg}$$

- **Agua efectiva = Agua -  $(\frac{w\% - \text{abs}\%}{100}) \times \text{Arena fina}$**

$$\text{Agua efectiva} = 303.089 - (\frac{0.24\% - 0.42\%}{100}) \times 1356.999$$

$$\text{Agua efectiva} = 303.089 - (\frac{0.24\% - 0.42\%}{100}) \times 1356.999$$

$$\text{Agua efectiva} = 305.53 \text{ litros}$$

Las proporciones en volumen y peso de los materiales de la mezcla patrón del motero se indica en la Tabla N°24.

Tabla 24. Proporciones en volumen y peso

MATERIAL	PROPORCIÓN	
	VOLUMEN	PESO
Cemento	1 m <sup>3</sup>	1 kg
Arena fina	4 m <sup>3</sup>	3.815 kg
Agua efectiva	36.42 lt/bolsa	36.42 lt/bolsa

Fuente: Elaboración propia


#### 5) Materiales para un volumen de 0.003 m<sup>3</sup>

- **Cemento = 0.003 x 356.575 = 1.069 kg**
- **Arena fina = 0.003 x 1360.256 = 4.081 kg**
- **Agua = 0.003 x 305.53 = 0.916 litros**

El ensayo de fluidez realizado en la mesa de flujo de la mezcla de mortero dio como resultado 83 % que según la Tabla N° 22 la consistencia es dura, es por esta razón que se agregó 84 ml obteniendo así una fluidez de 115%, el cual cumple con la consistencia de diseño (plástica). En la Tabla N° 25 se muestra el resultado obtenido del ensayo de peso unitario de la mezcla patrón de mortero.

Tabla 25. Peso unitario de la mezcla patrón de mortero


DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE		7.50	kg
PESO DEL RECIPIENTE		1.75	kg
PESO DE LA MUESTRA	Ws	5.7583	kg
PESO DEL AGUA + RECIPIENTE		4.53	kg
PESO DEL AGUA	Wa	2.78	kg
CALIBRACIÓN DEL	f	359.71	m <sup>-3</sup>
<b>PESO UNITARIO DEL MORTERO</b>	<b>PU</b>	<b>2071</b>	<b>kg/ m<sup>3</sup></b>



Fuente: Elaboración propia


Se realizó un ajuste del diseño de la mezcla patrón cuyo cálculo se encuentra en la Tabla N°26 y las proporciones finales en la Tabla N°27. El diseño de las mezclas de mortero con 5%, 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub> se muestran en la Tabla N°28, Tabla N°29 y Tabla N°30.

Tabla 26. Ajuste de mezcla patrón de mortero

 <b>AJUSTE DE MEZCLA PATRÓN DE MORTERO</b>			
<b>DATOS DE LABORATORIO:</b>			
Agua adicional:	84 ml		
	VOLUMEN		FRACCIÓN DE TANDA
	P.U (1/10 pie <sup>3</sup> )	TOTAL + AGUA ADICIONAL	
PESO DE MUESTRA (kg)	5.76	6.4	0.8997
<b>MATERIALES USADO PARA UN VOLUMEN DE 1/10 pie<sup>3</sup></b>			
	Cemento= 1.069 x 0.8997 =	0.962 kg	
	Arena humeda= 4.081 x 0.8997 =	3.672 kg	
	Agua efectiva= 1.000 x 0.8997 =	0.900 lt	
<b>AGUA DE MEZCLA</b>			
	HUMEDAD SUPERFICIAL DE LA ARENA = (0.24% - 0.42%)/100 =	-0.0018	
	APORTE DE HUMEDAD DE LA ARENA = 3.672 X -0.0018 =	-0.0066 lt	
	AGUA DE MEZCLA PARA 1/10 pie <sup>3</sup> = 0.900-0.0066 =	0.893 lt	
<b>MATERIALES POR m<sup>3</sup></b>			
	RELACIÓN A/C =	0.93	
	AGUA DE MEZCLA =	319.16 lt	
	CEMENTO=	343.70 KG	
	# BOLSAS DE CEMENTO =	8.09 bolsas	
	ARENA FINA SECA =	1308.01 kg	
	AIREA=	7.63%	

Fuente: Elaboración propia


Tabla 27. Diseño de mezcla patrón de mortero

 <b>DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN DE MORTERO</b>																					
Fecha : <b>29/05/2018</b> Diseño : <b>PATRÓN</b> Relación a/c : <b>0.93</b>				Hecho por : <b>KAREN MARTINEZ Z.</b> Código de mezcla : <b>0% TiO2</b> Hora de vaciado : <b>10 a.m.</b> Volumen de tanda : <b>0.002 m<sup>3</sup></b>																	
MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (kg)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	CANTIDAD DE MATERIAL POR TANDA														
Cemento	3120			343.70	0.110	343.70	0.6874 kg														
Arena fina	2646	0.24	0.42	1308.01	0.494	1311.15	2.6223 kg														
Agua	1000			319.16	0.319	321.51	0.6430 lt														
Aire				0	0.076																
<b>TOTAL</b>				<b>1970.87</b>	<b>1.000</b>																
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">MATERIAL</th> <th colspan="2">PROPORCIÓN</th> </tr> <tr> <th>VOLUMEN</th> <th>PESO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cemento</td> <td>1 m<sup>3</sup></td> <td>1 kg</td> </tr> <tr> <td>Arena fina</td> <td>4 m<sup>3</sup></td> <td>3.815 kg</td> </tr> <tr> <td>Agua efectiva</td> <td>39.76 lt/bolsa</td> <td>39.76 lt/bolsa</td> </tr> </tbody> </table>						MATERIAL	PROPORCIÓN		VOLUMEN	PESO	Cemento	1 m <sup>3</sup>	1 kg	Arena fina	4 m <sup>3</sup>	3.815 kg	Agua efectiva	39.76 lt/bolsa	39.76 lt/bolsa
MATERIAL	PROPORCIÓN																				
	VOLUMEN	PESO																			
Cemento	1 m <sup>3</sup>	1 kg																			
Arena fina	4 m <sup>3</sup>	3.815 kg																			
Agua efectiva	39.76 lt/bolsa	39.76 lt/bolsa																			

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.1. Diseño de mezcla de mortero con TiO<sub>2</sub>

Tabla 28. Diseño de mezcla de mortero con 5% TiO<sub>2</sub>

 DISEÑO DE MEZCLA DE MORTERO CON 5% TiO <sub>2</sub>							
Fecha	: 18/06/2018			Hecho por	: KAREN MARTINEZ Z.		
Diseño	: Adición 5% TiO <sub>2</sub>			Código de mezcla	: 5% TiO <sub>2</sub>		
Relación a/c	: 0.93			Hora de vaciado	: 10 a.m.		
				Volumen de tanda	: 0.002 m <sup>3</sup>		
MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (kg)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	CANTIDAD DE MATERIAL POR TANDA
Cemento	3120			326.52	0.105	326.52	0.6530 kg
Arena fina	2646	0.24	0.42	1308.01	0.494	1311.15	2.6223 kg
TiO <sub>2</sub>	4000			22.03	0.006	22.03	0.0441 kg
Agua	1000			319.16	0.319	321.51	0.6430 lt
Aire				0	0.076		
TOTAL				1975.71	1.000		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Diseño de mezcla de mortero con 7.5% TiO2



DISEÑO DE MEZCLA DE MORTERO CON 7.5% TiO2

Fecha : **05/07/2018**

Diseño : Adición 7.5% TiO2

Relación a/c : 0.93

Hecho por : **KAREN MARTINEZ Z.**

Código de mezcla : 7.5% TiO2

Hora de vaciado : 12 a.m.

Volumen de tanda : 0.002 m<sup>3</sup>

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (kg)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	CANTIDAD DE MATERIAL POR TANDA
Cemento	3120			317.92	0.102	317.92	0.6358 kg
Arena fina	2646	0.24	0.42	1308.01	0.494	1311.15	2.6223 kg
TiO2	4000			33.05	0.008	33.05	0.0661 kg
Agua	1000			319.16	0.319	321.51	0.6430 lt
Aire				0	0.076		
<b>TOTAL</b>				<b>1978.14</b>	<b>1.000</b>		

Fuente: Elaboración propia



Tabla 30. Diseño de mezcla de mortero con 10% TiO<sub>2</sub>



DISEÑO DE MEZCLA DE MORTERO CON 10% TiO<sub>2</sub>

Fecha : 07/08/2018

Diseño : Adición 10% TiO<sub>2</sub>

Relación a/c : 0.93

Hecho por : KAREN MARTINEZ Z.

Código de mezcla : 10% TiO<sub>2</sub>

Hora de vaciado : 11 a.m.

Volumen de tanda : 0.002 m<sup>3</sup>

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (kg)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	CANTIDAD DE MATERIAL POR TANDA
Cemento	3120			309.33	0.099	309.33	0.6187 kg
Arena fina	2646	0.24	0.42	1308.01	0.494	1311.15	2.6223 kg
TiO <sub>2</sub>	4000			44.06	0.011	44.06	0.0881 kg
Agua	1000			319.16	0.319	321.51	0.6430 lt
Aire				0	0.076		
TOTAL				1980.56	1.000		

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Ensayos de mortero fresco y endurecido

#### 5.3.1. Ensayo de fluidez

La trabajabilidad del mortero es el resultado de lubricación del árido con la pasta de cemento, la cual depende del contenido de agua y también de la gradación, dosificación y contenido de aire. Esta propiedad reológica incluye características de adhesión, fluidez, cohesión, plasticidad y viscosidad (ASOCRETO, 2010).

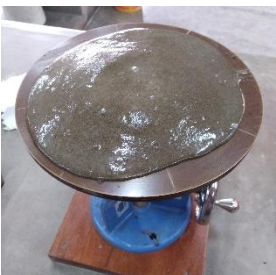


Es importante la capacidad del mortero de revestimiento para mantenerse trabajable y además adherirse a las superficies verticales donde será aplicado, es por eso que existe una estrecha relación entre estas dos características ya que, una buena trabajabilidad es a una máxima adherencia.

El ensayo de laboratorio usado para estimar el grado de trabajabilidad del mortero es el de fluidez, método que está especificado en la norma NTP 334.057. El ensayo indica el porcentaje de aumento del diámetro de la base de un cono truncado de mortero compactado, cuando este es colocada sobre una mesa de flujo, dejándola caer desde una altura de 12.7 mm 25 veces en un tiempo de 15 segundos. Los resultados obtenidos del ensayo se muestran en la Tabla N°31 y gráficamente en la Figura N°3.

Tabla 31. Ensayo de fluidez para las muestras con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub>

MUESTRA DE MORTERO	LECTURA DIÁMETRO (mm)				PROMEDIO (mm)	FLUIDEZ (%)	CONSISTENCIA
	1	2	3	4			
0% TiO <sub>2</sub>	223	218	214	214	217.25	115.10%	Media(Plástica)
5% TiO <sub>2</sub>	207	205	204	205	205.25	103.22%	Media(Plástica)
7.5% TiO <sub>2</sub>	195	198	200	205	199.5	97.52%	Dura(Seca)
10% TiO <sub>2</sub>	190	194	193	191	193	91.09%	Dura(Seca)

		
0% TiO <sub>2</sub>		10% TiO <sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia

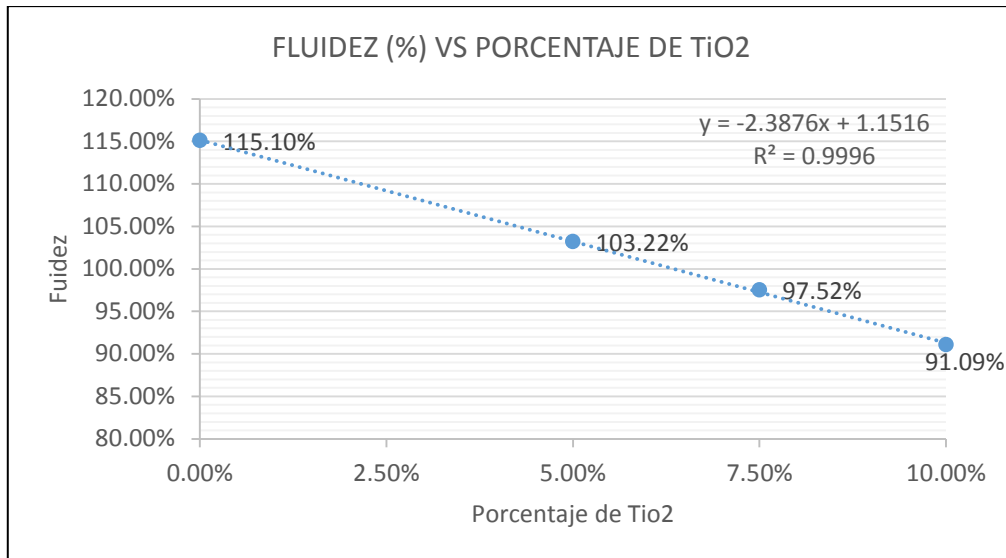


Figura 3. Fluidez de cada tratamiento de mortero según porcentaje de TiO2

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2. Ensayo de resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la propiedad que tiene el mortero de soportar una fuerza impuesta, el cual depende del contenido de cemento y la relación A/C. Además, la hidratación del cemento influye en dicha propiedad y a su vez determina las propiedades físicas del mortero endurecido. La adherencia y la resistencia a la compresión están relacionados ya que, a menor resistencia mayor adherencia como se indica en la Figura N°4. Para el mortero de revestimiento es más importante una buena trabajabilidad y una buena adherencia que una mayor resistencia a la compresión.

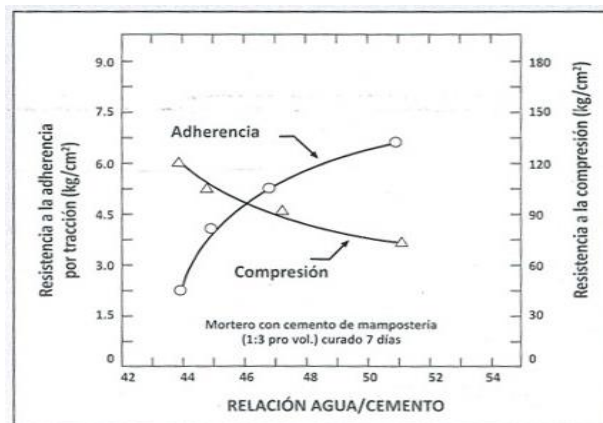


Figura 4. Adherencia y resistencia a la compresión de mortero.

Fuente: ASOCRETO (2010). Tecnología del concreto.

La norma NTP 334.051 explica el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión en morteros de cemento Pórtland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado. El rango máximo permisible de resistencia a la compresión entre muestras de la misma tanda y de la misma edad es de 8.7% para 3 cubos y para 2 cubos de 7.6%, si se superara el rango permisible se debe repetir el ensayo.

En la presente investigación se moldearon 12 cubos para cada mezcla de mortero con un distinto porcentaje de  $TiO_2$ , las edades de ensayo fueron 24 horas, 3, 7 y 28 días para cada 3 especímenes. La aplicación de la carga en la máquina de ensayo se realizó en las caras del espécimen que estaban en contacto con las superficies planas del molde. Se puede observar el procedimiento realizado en la Figura N° 5 y N°6. Los resultados obtenidos de los ensayos se muestran desde la Tabla N° 32 hasta la Tabla N°36 y gráficamente desde la Figura N°7 hasta la Figura N° 12.



Figura 5. Mezclado y moldeado de especímenes de mortero.

Fuente: Elaboración propia



Figura 6. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes de mortero.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de 24 horas

MUESTRA DE MORTERO	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	RANGO (8.7% Prom.)		RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )
			MAX(kg/cm <sup>2</sup> )	MIN(kg/cm <sup>2</sup> )	
0% TiO <sub>2</sub>	77.1	72.73	79.06	65.86	72.73
	66.4				
	74.7				
5% TiO <sub>2</sub>	63.4	64.30	69.89	58.22	64.30
	63.9				
	65.6				
7.5% TiO <sub>2</sub>	55.3	55.83	60.69	50.55	55.83
	54.6				
	57.6				
10% TiO <sub>2</sub>	51.2	49.67	53.99	44.97	49.67
	48.6				
	49.2				

Fuente: Elaboración propia

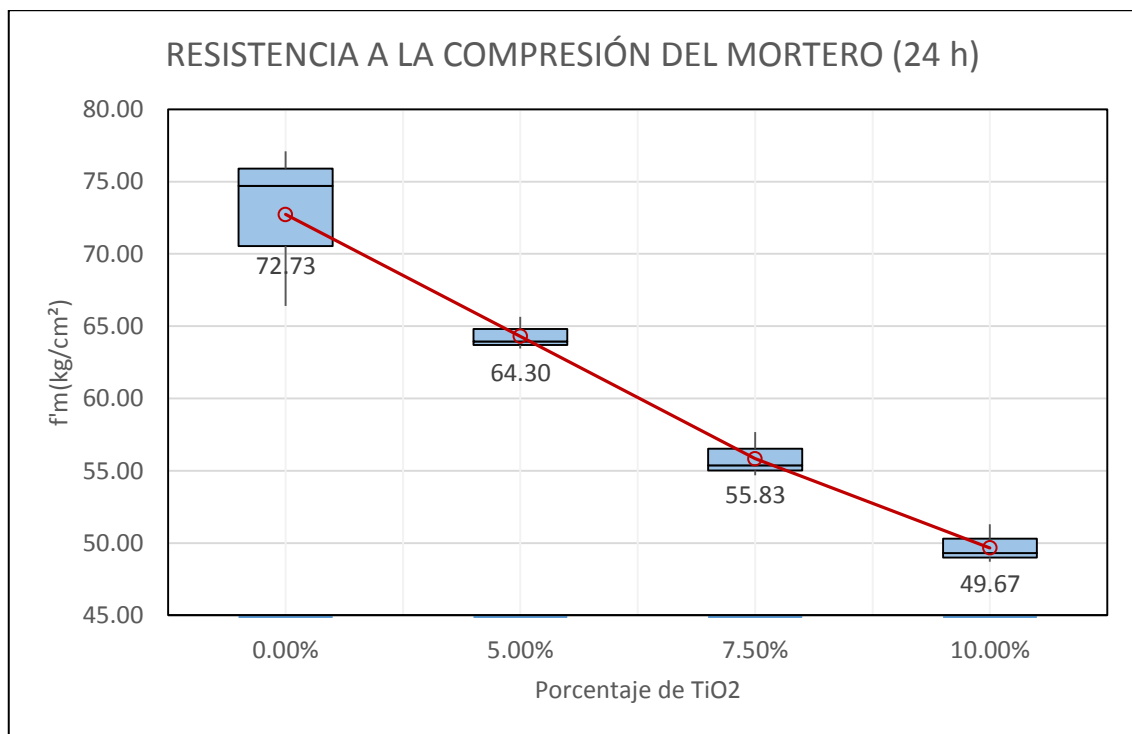


Figura 7. Resistencia a la compresión del mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub> (24 h)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de 3 días

MUESTRA DE MORTERO	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	RANGO (8.7% Prom.)		RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )
			MAX(kg/cm <sup>2</sup> )	MIN(kg/cm <sup>2</sup> )	
0% TiO <sub>2</sub>	109.4	109.10	118.59	98.78	109.10
	108.8				
	109.1				
5% TiO <sub>2</sub>	85.8	89.30	97.07	80.85	89.30
	90.3				
	91.8				
7.5% TiO <sub>2</sub>	78.5	77.77	84.53	70.41	77.77
	79.4				
	75.4				
10% TiO <sub>2</sub>	70.7	69.30	75.33	62.75	69.30
	69.8				
	67.4				

Fuente: Elaboración propia

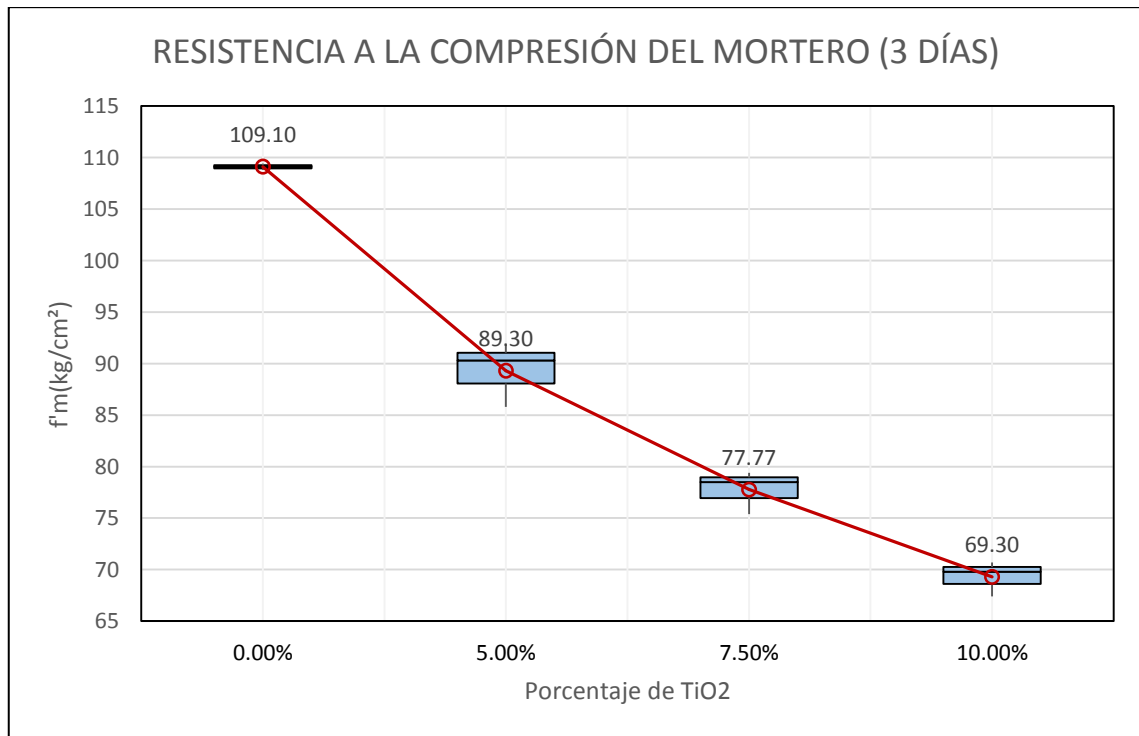


Figura 8. Resistencia a la compresión del mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub> (3 días)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de 7 días

MUESTRA DE MORTERO	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	RANGO (8.7% Prom.)		RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )
			MAX(kg/cm <sup>2</sup> )	MIN(kg/cm <sup>2</sup> )	
0% TiO <sub>2</sub>	128.1	128.30	139.46	116.17	128.30
	126.6				
	130.2				
5% TiO <sub>2</sub>	120.7	119.20	129.57	107.93	119.20
	119.3				
	117.6				
7.5% TiO <sub>2</sub>	103.7	102.57	111.49	92.87	102.57
	102.6				
	101.4				
10% TiO <sub>2</sub>	88.9	88.40	96.09	80.04	88.40
	89.1				
	87.2				

Fuente: Elaboración propia

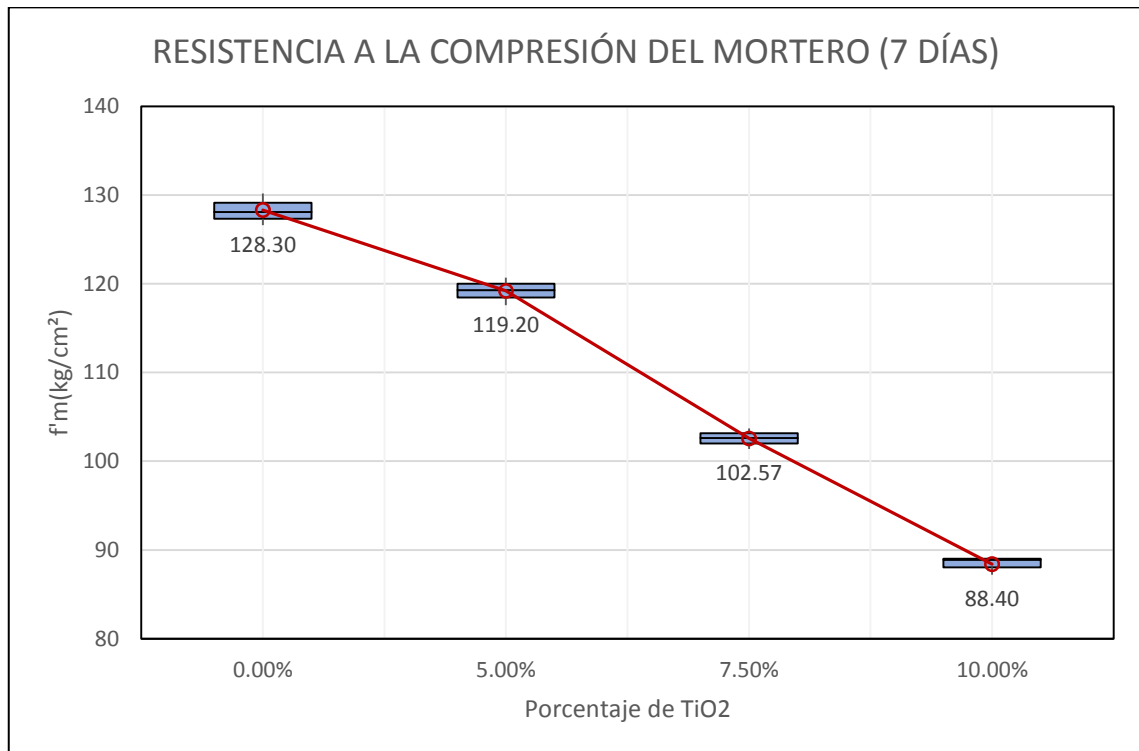


Figura 9. Resistencia a la compresión del mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub> (7 días)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de 28 días

MUESTRA DE MORTERO	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	RANGO (8.7% Prom.)		RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )
			MAX(kg/cm <sup>2</sup> )	MIN(kg/cm <sup>2</sup> )	
0% TiO <sub>2</sub>	151.9	152.70	165.98	138.26	152.70
	150.1				
	156.1				
5% TiO <sub>2</sub>	142.4	141.77	154.10	128.36	141.77
	143.5				
	139.4				
7.5% TiO <sub>2</sub>	134.8	135.70	147.51	122.87	135.70
	135.0				
	137.3				
10% TiO <sub>2</sub>	121.6	122.93	133.63	111.31	122.93
	128.9				
	118.3				

Fuente: Elaboración propia

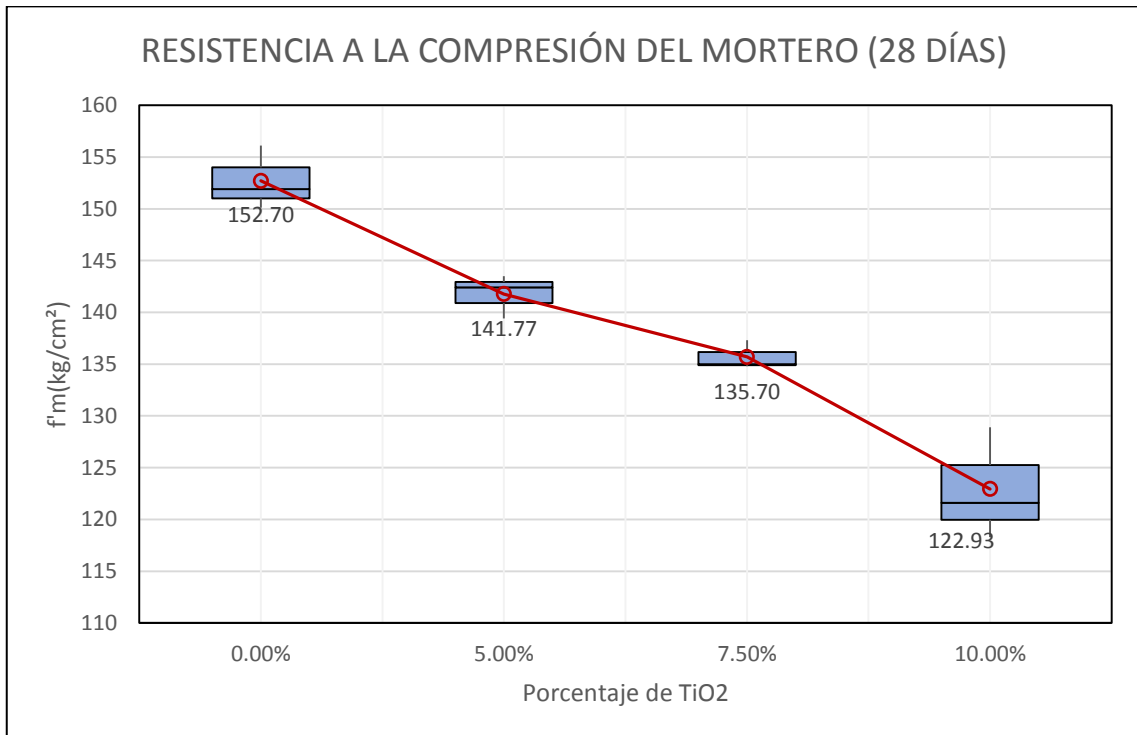


Figura 10. Resistencia a la compresión del mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub>(28 días)

Fuente: Elaboración propia



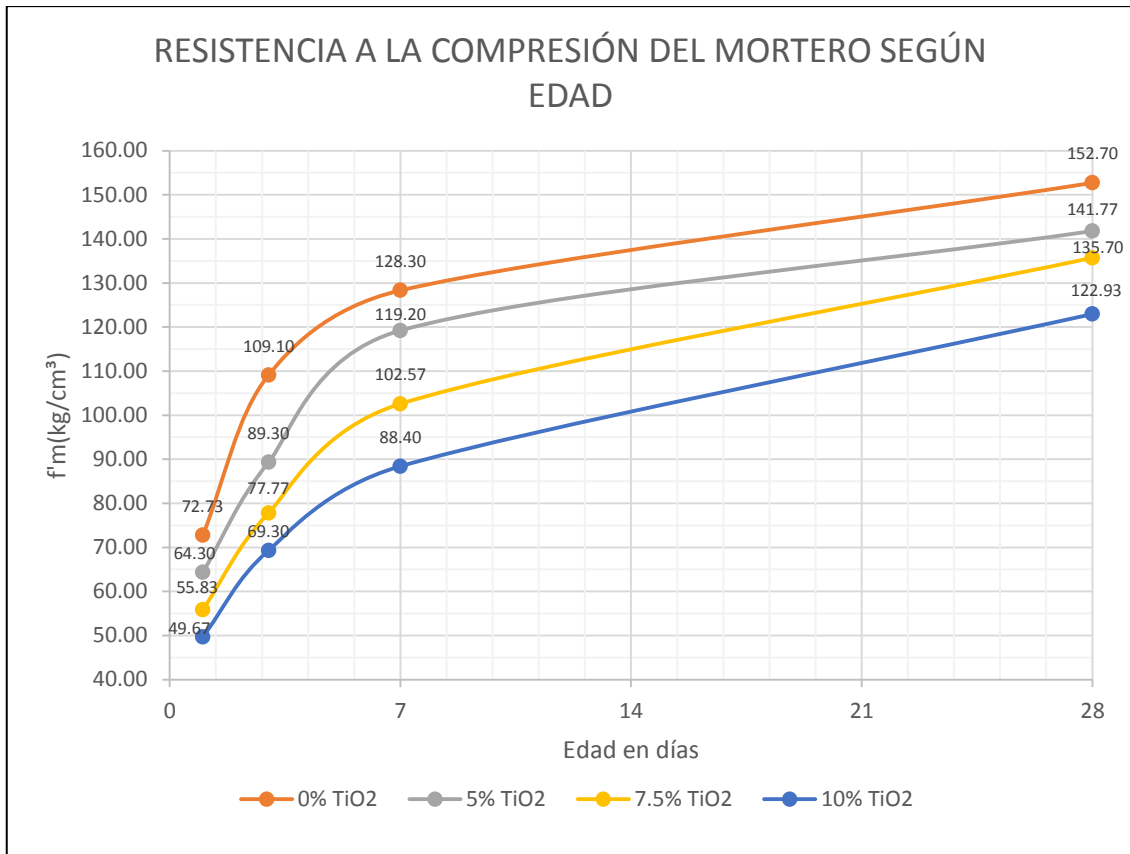


Figura 11. Resistencia a la compresión del mortero según los distintos porcentajes de TiO2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Porcentaje de f'm 28 según edad del mortero

MUESTRA DE MORTERO	% f'm 28 SEGÚN EDAD			
	1	3	7	28
0% TiO2	47.63%	71.45%	84.02%	100.00%
5% TiO2	45.36%	62.99%	84.08%	100.00%
7.5% TiO2	41.14%	57.31%	75.58%	100.00%
10% TiO2	40.40%	56.37%	71.91%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

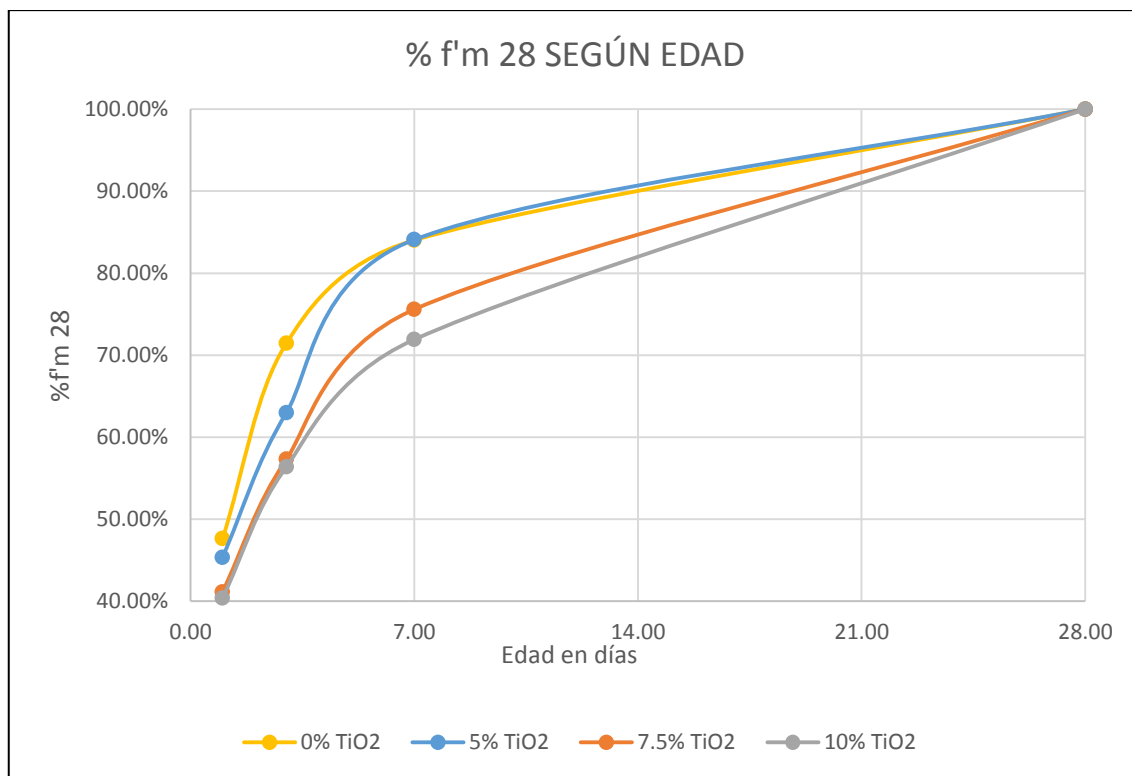


Figura 12. Porcentaje de f'm 28 según edad del mortero para distintos porcentajes de TiO2

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3. Ensayo de absorción

La tasa de absorción de agua es una propiedad del mortero endurecido el cual está relacionado con la resistencia a la penetración de agua. Esta característica depende de muchos factores como la composición del mortero, presencia de aditivos, aire incorporado, el tipo y duración de curado, edad, la presencia de micro grietas, existencia de tratamientos superficiales y el método de colocación incluido el acabado final.

La penetración de fluidos dentro del mortero determina en gran medida la durabilidad de este y a su vez altera la habilidad de resistencia a las condiciones de exposición a las cuales está sometido a lo largo de su vida útil.

La norma NTP 399.631 explica el método de ensayo para la tasa de absorción del agua en especímenes cúbicos de mortero de 50 mm de lado. Las muestras cúbicas desmoldadas son curadas durante 28 días desde el momento que fueron vaciadas para luego ser retiradas y secadas 24 horas en el horno y posteriormente enfriadas durante 2 horas como mínimo para finalmente realizar el ensayo de absorción.

Para este proyecto de investigación se moldearon 9 cubos de mortero para cada uno de los porcentajes de TiO<sub>2</sub>, los cuales fueron ensayados cada 3 especímenes a 0.25, 1.4 y 24 horas. El contenedor de absorción cumplió con todos los requisitos impuestos por la norma mencionada anteriormente siguiendo la configuración mostrada en la Figura N° 13.

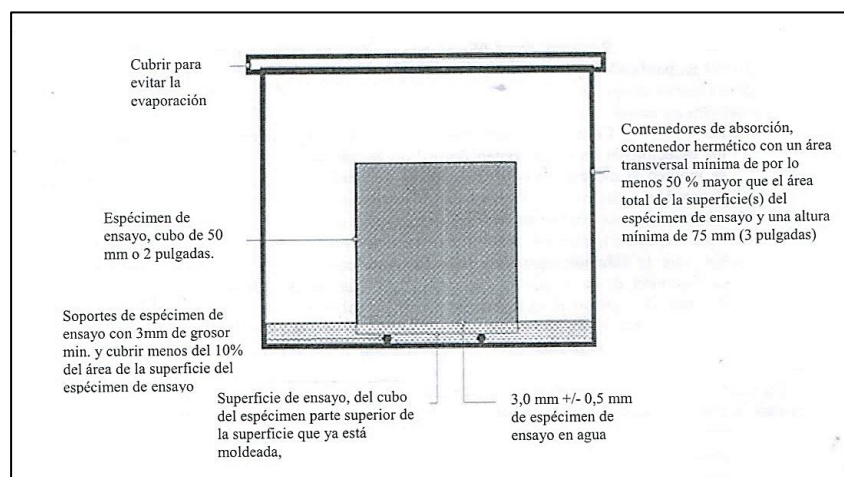


Figura 13. Configuración del espécimen durante el ensayo

Fuente: NTP 399.631

Para el cálculo de la tasa de absorción de agua ( $A_T$ ) en gramos/100 cm<sup>2</sup> para cada periodo de tiempo ( $T$ ) para cada espécimen se aplica la siguiente fórmula:

$$A_T = (W_T - W_0) \times 10\,000 / (L_1 \times L_2)$$

Donde:

$W_T$  = Peso del espécimen en el tiempo  $T$  en gramos.

$W_0$  = Peso inicial del espécimen en gramos.

$L_1$  = La longitud promedio de la superficie del cubo del espécimen en mm.

$L_2$  = El ancho promedio de la superficie del cubo del espécimen en mm.

Se puede observar el procedimiento realizado en la Figura N° 14 y N°15. Los resultados obtenidos de los ensayos se muestran desde la Tabla N° 37 hasta la Tabla N°40 y gráficamente desde la Figura N°16 hasta la Figura N° 20.



Figura 14. Secado, enfriado y pesado inicial de muestra de mortero para ensayo de absorción

Fuente: Elaboración propia

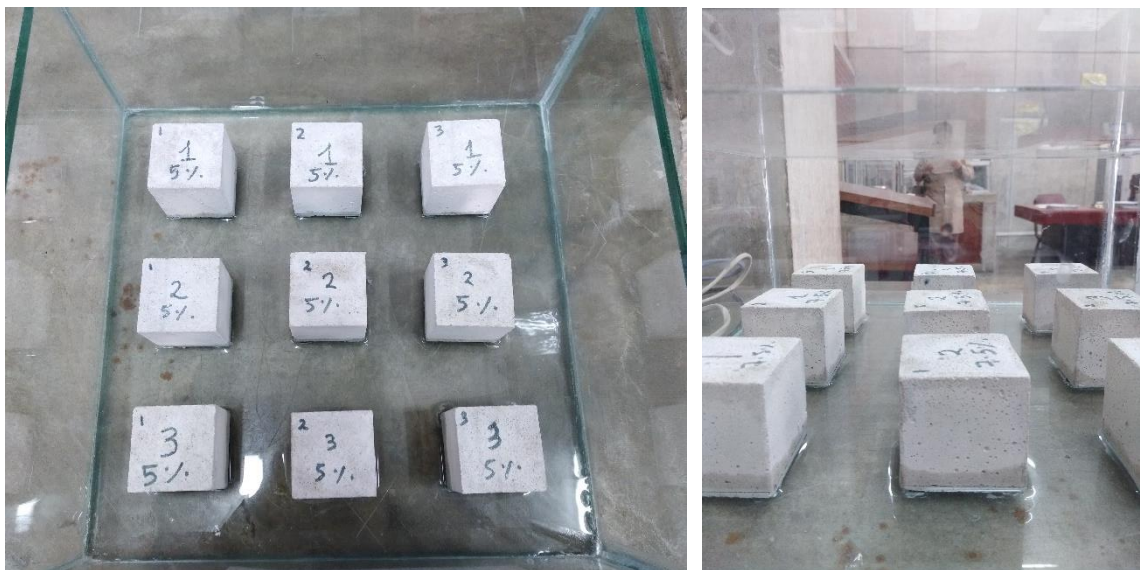


Figura 15. Ensayo de absorción de espécimen de mortero.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Tasa de absorción de agua de especímenes de mortero (0.25 horas)

MUESTRA DE MORTERO	DIMENSIONES		Wo (gr)	WT (gr)	ABSORCIÓN (gr/100cm <sup>2</sup> )	ABSORCIÓN PROMEDIO (gr/100cm <sup>2</sup> )
	L1 (mm)	L2 (mm)				
0% TiO <sub>2</sub>	50	49	236.26	240.14	15.84	17.06
	50	48	234.77	239.38	19.21	
	50	50	235.76	239.79	16.12	
5% TiO <sub>2</sub>	50	48	236.66	239.50	11.83	13.55
	50	49	236.43	239.70	13.35	
	50	50	237.56	241.43	15.48	
7.5% TiO <sub>2</sub>	50	50	244.01	246.38	9.48	9.85
	50	50	242.85	245.41	10.24	
	50	48	242.00	244.36	9.83	
10% TiO <sub>2</sub>	50	50	234.67	236.70	8.12	7.13
	50	48	236.09	237.54	6.04	
	50	50	241.51	243.32	7.24	

Fuente: Elaboración propia

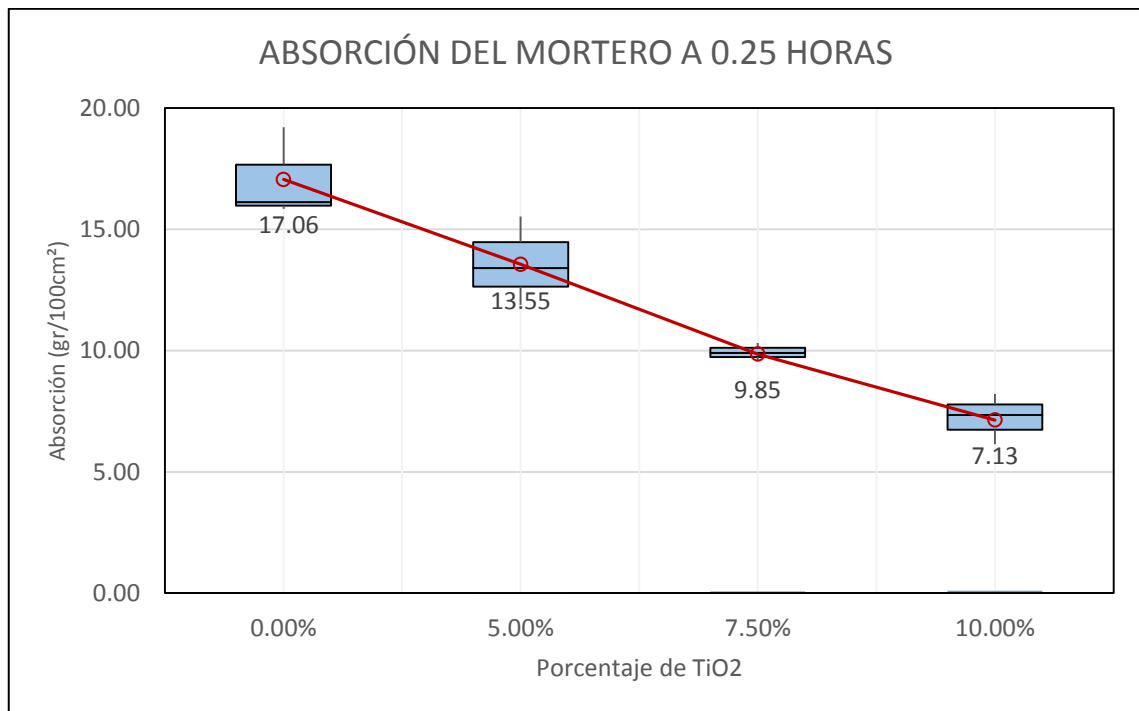


Figura 16. Tasa de absorción de agua del mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub> (0.25 h)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Tasa de absorción de agua de especímenes de mortero (1.4 horas)

MUESTRA DE MORTERO	DIMENSIONES		Wo (gr)	WT (gr)	ABSORCIÓN (gr/100cm <sup>2</sup> )	ABSORCIÓN PROMEDIO (gr/100cm <sup>2</sup> )
	L1 (mm)	L2 (mm)				
0% TiO <sub>2</sub>	50	50	239.35	247.17	31.28	31.35
	50	49	238.65	247.06	34.33	
	50	48	237.74	244.57	28.46	
5% TiO <sub>2</sub>	50	50	241.54	248.69	28.60	27.33
	50	50	239.51	246.12	26.44	
	50	49	242.20	248.80	26.94	
7.5% TiO <sub>2</sub>	50	49	236.62	242.42	23.67	25.07
	49	48	237.21	243.67	27.47	
	50	50	237.45	243.47	24.08	
10% TiO <sub>2</sub>	50	49	238.14	243.86	23.35	22.94
	50	50	242.15	248.17	24.08	
	49	48	238.96	243.99	21.39	

Fuente: Elaboración propia

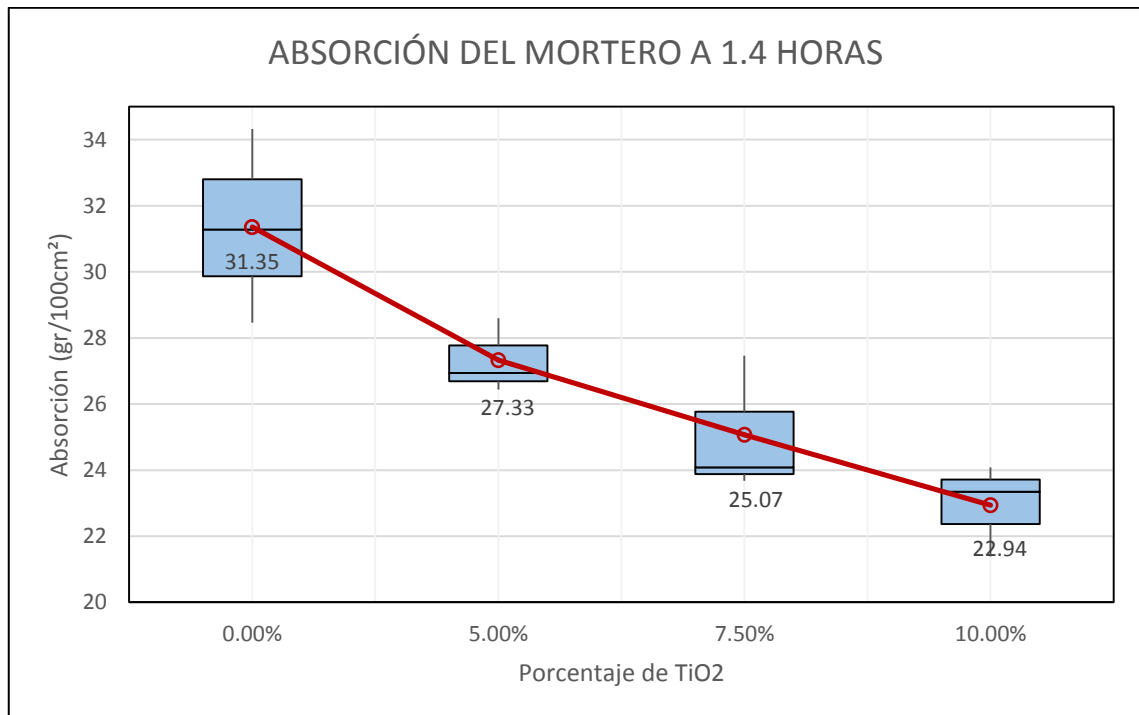


Figura 17. Tasa de absorción de agua del mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub> (1.4 h)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Tasa de absorción de agua de especímenes de mortero (24 h)

MUESTRA DE MORTERO	DIMENSIONES		Wo (gr)	WT (gr)	ABSORCIÓN (gr/100cm <sup>2</sup> )	ABSORCIÓN PROMEDIO (gr/100cm <sup>2</sup> )
	L1 (mm)	L2 (mm)				
0% TiO <sub>2</sub>	50	50	239.06	274.90	143.36	140.03
	50	48	237.52	270.90	139.08	
	50	50	236.18	270.59	137.64	
5% TiO <sub>2</sub>	50	48	239.13	268.53	122.50	124.17
	50	49	236.95	268.28	127.88	
	50	50	238.10	268.63	122.12	
7.5% TiO <sub>2</sub>	50	50	235.91	266.56	122.60	117.94
	50	48	236.36	264.00	115.17	
	50	49	235.42	263.85	116.04	
10% TiO <sub>2</sub>	50	50	244.58	273.40	115.28	114.64
	50	50	243.64	271.47	111.32	
	50	49	243.63	272.37	117.31	

Fuente: Elaboración propia

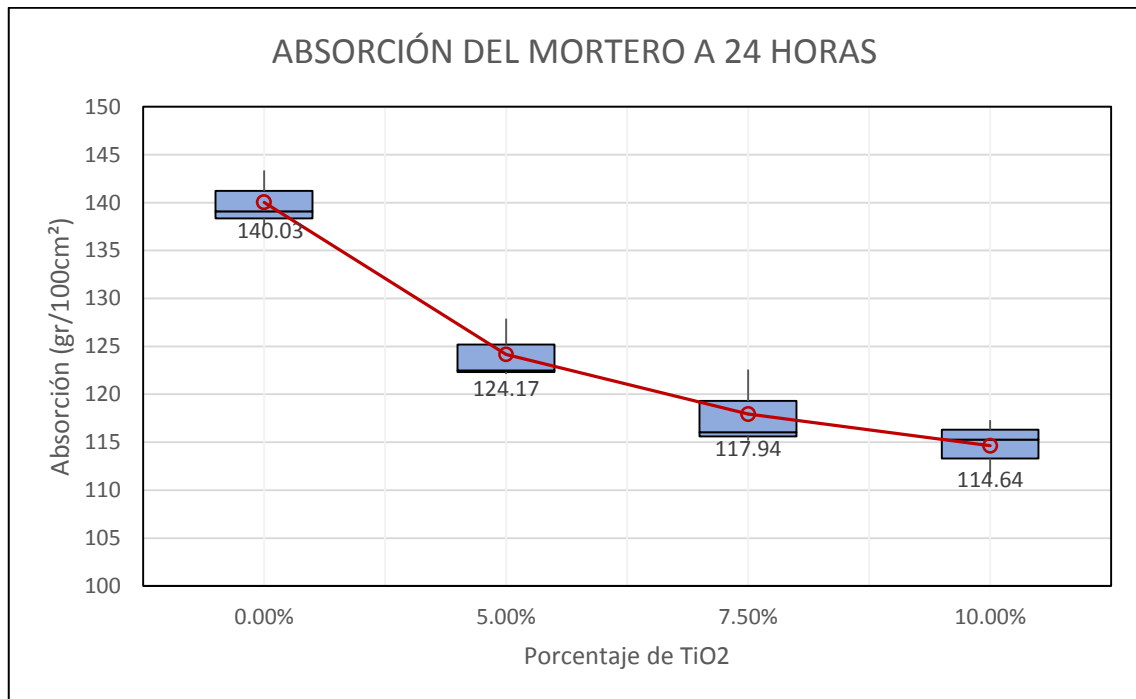


Figura 18. Tasa de absorción de agua del mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub> (24 h)

Fuente: Elaboración propia

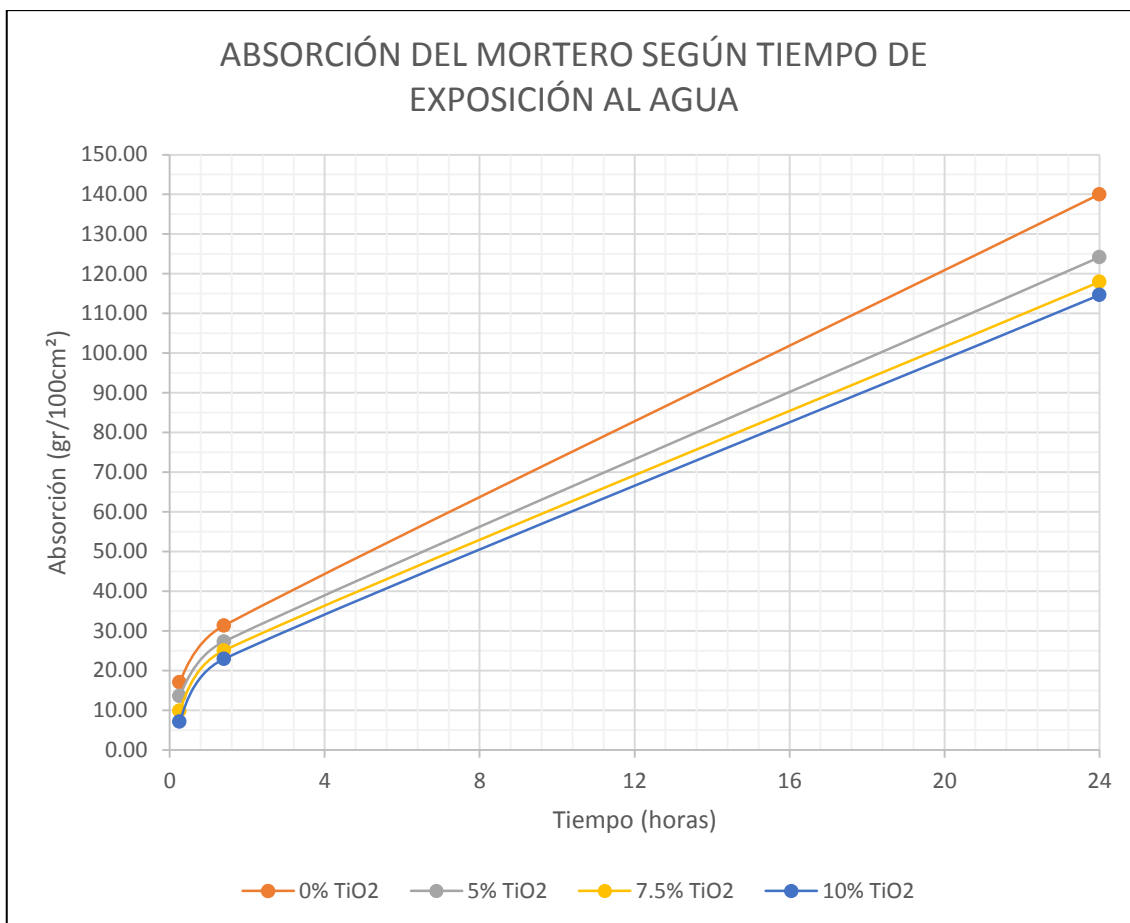


Figura 19. Tasa de absorción de agua del mortero según los distintos porcentajes de TiO2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Porcentaje de tasa de absorción de agua 24h del mortero

MUESTRA DE MORTERO	TIEMPO(HORAS)		
	0.25	1.4	24
0% TiO2	12.18%	22.39%	100.00%
5% TiO2	10.92%	22.01%	100.00%
7.5% TiO2	8.35%	21.26%	100.00%
10% TiO2	6.22%	20.01%	100.00%

Fuente: Elaboración propia



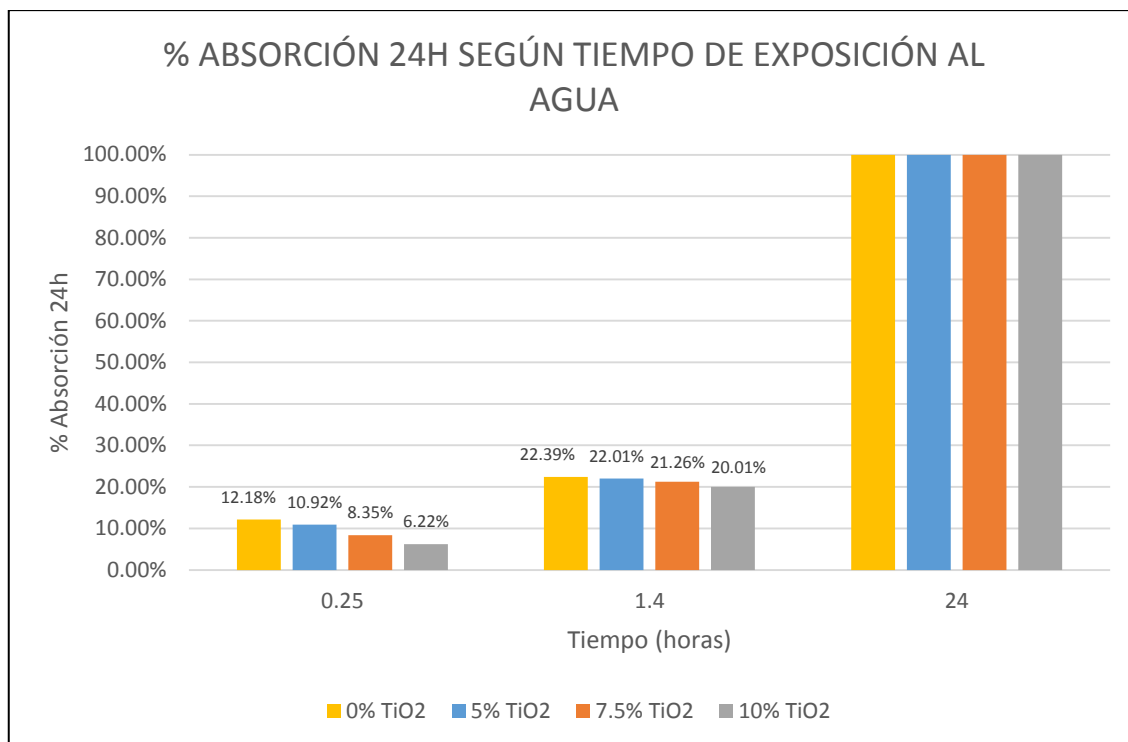


Figura 20. Porcentaje de tasa de absorción de agua 24h del mortero

Fuente: Elaboración propia

#### 5.3.4. Ensayo de rodamina

La norma italiana UNI 11259 explica el método colorimétrico de la rodamina para determinar la actividad fotocatalítica de los materiales. Esta norma fue usada para evaluar la propiedad autolimpiante que pueden tener los distintos tratamientos de TiO<sub>2</sub> del mortero de cemento Pórtland Tipo I. Se utilizó un colorante orgánico llamado Rodamina B disuelto en agua con una concentración de 0.02g/100ml aplicado sobre la superficie de las muestras cúbicas de mortero de 50 mm de lado. Estos especímenes deben ser expuestos a luz UV-A (onda larga) durante un periodo de tiempo de 26 horas a 50 cm de distancia de las muestras, la lámpara UV-A utilizada en la presente investigación fue de la marca Philips 365 nm 15w.

La fotodegradación del colorante fue medido a través de un instrumento llamado colorímetro, el cual mide el parámetro a\* del sistema de color CIE L\* a\* b\*. La descomposición de color de este sistema se da en tres factores, la luminosidad con valores entre blanco y negro es representado por el factor L\*, los valores entre rojo y verde por el factor a\* y los valores entre azul y amarillo por el factor b\*.

Para determinar la existencia de actividad fotocatalítica se calcularon los factores R4 y R26 que son la variación del factor  $a^*$  a las 4 horas y 26 horas de exposición a rayos UV con respecto al de 0 horas. Para que el mortero sea considerado como material fotocatalítico el factor R4 debe ser mayor al 20% y el factor R26 al 50%.

Los factores R4 y R26 se determinan de la siguiente manera:

$$R4 = \frac{a^*(0h) - a^*(4h)}{a^*(0h)} \times 100$$

$$R26 = \frac{a^*(0h) - a^*(26h)}{a^*(0h)} \times 100$$

Un material fotocatalítico tiene la capacidad de descomponer las partículas orgánicas contaminantes que se depositan en su superficie, dichas partículas son arrastradas y eliminadas fácilmente por el agua de lluvia debido al comportamiento hidrófobo e hidrofílico que adquieren los materiales que contienen  $TiO_2$ .

Se puede observar el procedimiento realizado en la Figura N° 21, N°22 y N°23. Los resultados obtenidos de los ensayos se muestran desde la Tabla N° 41 y N°42; y gráficamente desde la Figura N°24 hasta la Figura N° 27.

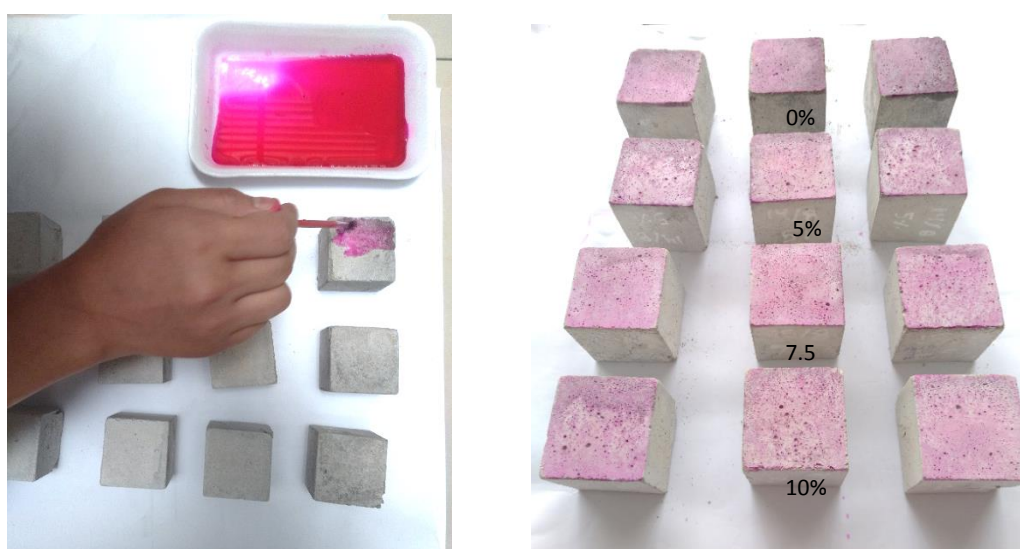


Figura 21. Aplicación de Rodamina B en los especímenes de mortero.

Fuente: Elaboración propia

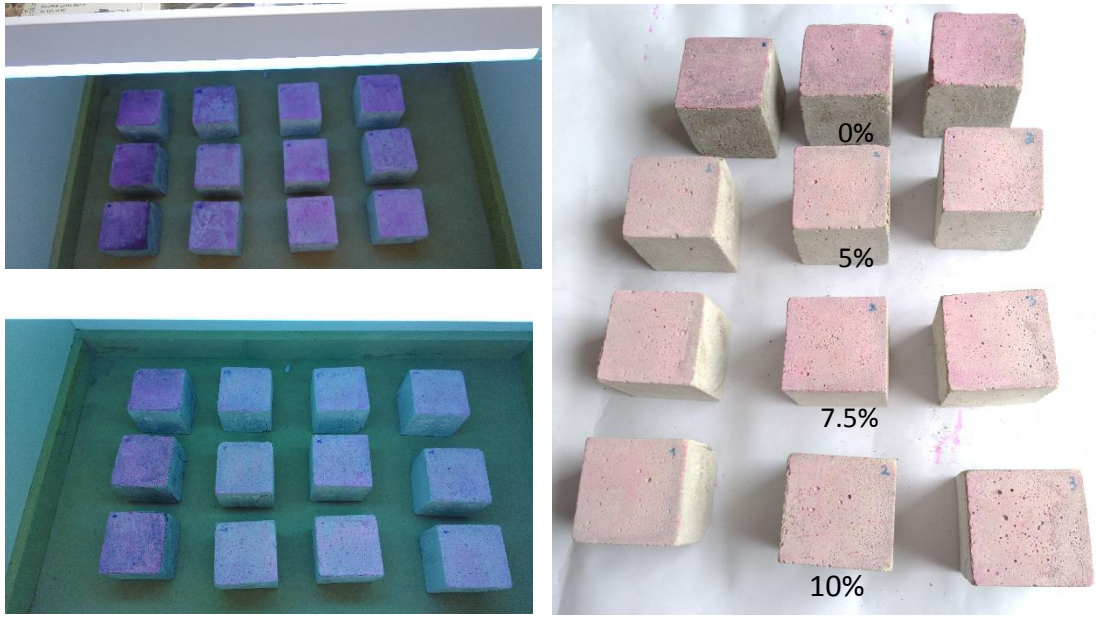


Figura 22. Exposición de especímenes de mortero a rayos UV durante 4 horas.

Fuente: Elaboración propia

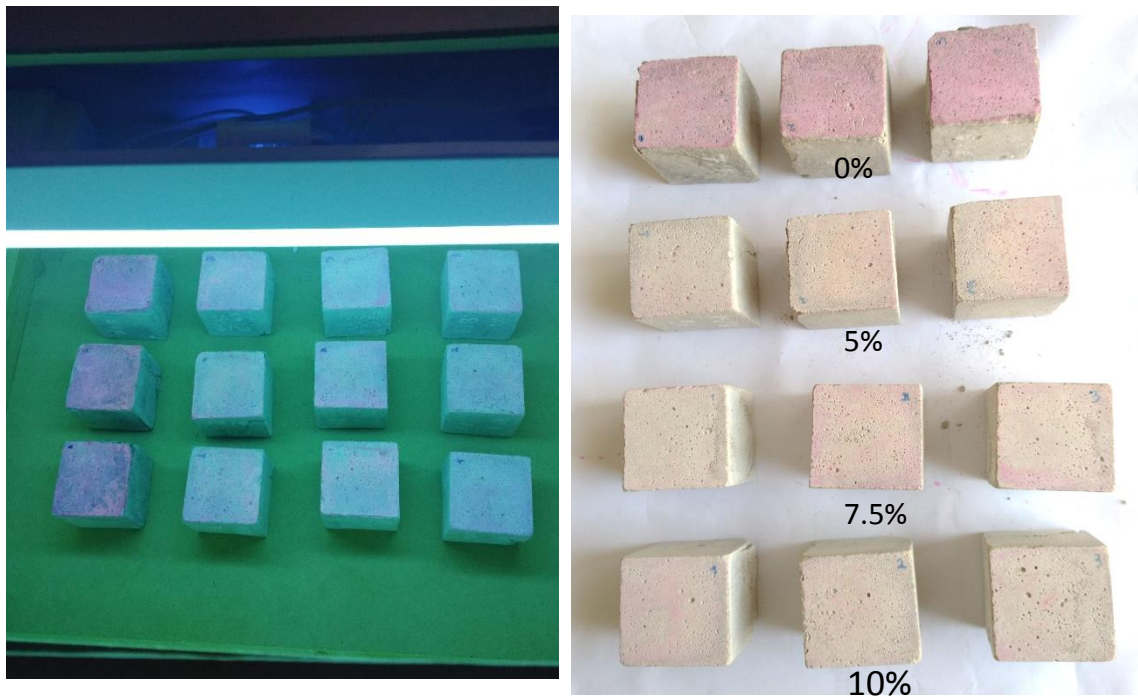


Figura 23. Exposición de especímenes de mortero a rayos UV durante 26 horas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Factor de fotodegradación de color R4 del mortero

MUESTRA DE MORTERO	a*(0h)	a*(4h)	R4 (%)	R4 PROMEDIO(%)
0% TiO2	23.70	22.60	4.64%	5.20%
	27.20	25.70	5.51%	
	25.70	24.30	5.45%	
5% TiO2	23.90	12.70	46.86%	44.24%
	20.20	10.70	47.03%	
	17.00	10.40	38.82%	
7.5% TiO2	22.50	10.40	53.78%	55.12%
	20.30	8.30	59.11%	
	20.20	9.60	52.48%	
10% TiO2	15.00	6.70	55.33%	58.04%
	12.80	4.90	61.72%	
	16.30	7.00	57.06%	

Fuente: Elaboración propia

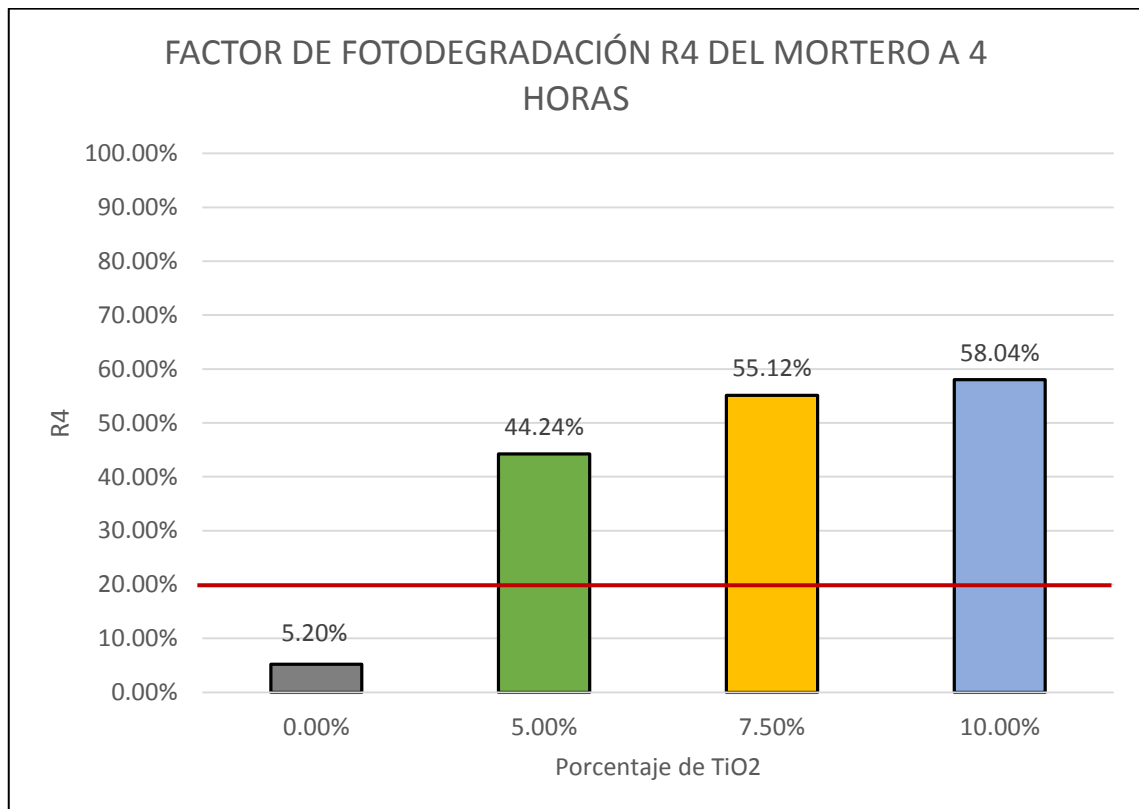


Figura 24. Fotodegradación de color del mortero con distintos porcentajes de TiO2 (4 horas)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Factor de fotodegradación de color R26 del mortero

MUESTRA DE MORTERO	a*(0h)	a*(26h)	R26(%)	R26 PROMEDIO(%)
0% TiO2	23.70	22.50	5.06%	6.35%
	27.20	25.30	6.99%	
	25.70	23.90	7.00%	
5% TiO2	23.90	5.60	76.57%	76.83%
	20.20	4.20	79.21%	
	17.00	4.30	74.71%	
7.5% TiO2	22.50	2.40	89.33%	84.92%
	20.30	3.60	82.27%	
	20.20	3.40	83.17%	
10% TiO2	15.00	1.70	88.67%	88.78%
	12.80	1.60	87.50%	
	16.30	1.60	90.18%	

Fuente: Elaboración propia

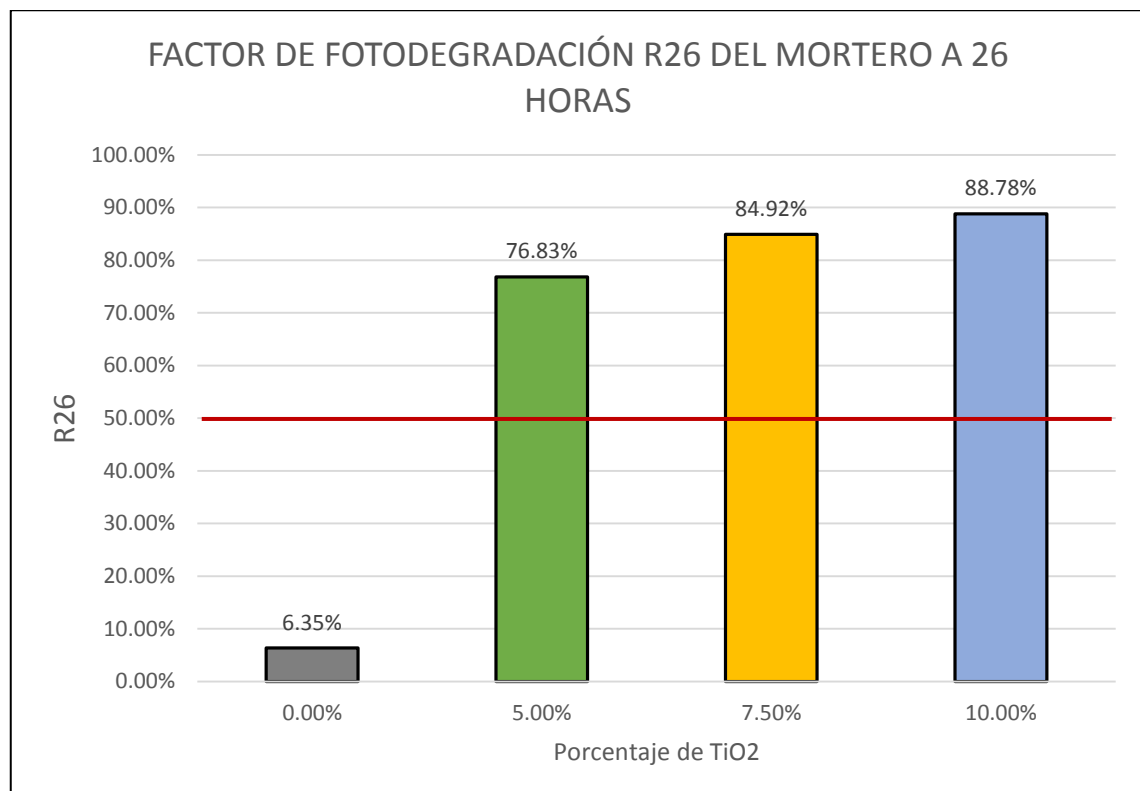


Figura 25. Fotodegradación de color del mortero con distintos porcentajes de TiO2 (26 horas)

Fuente: Elaboración propia

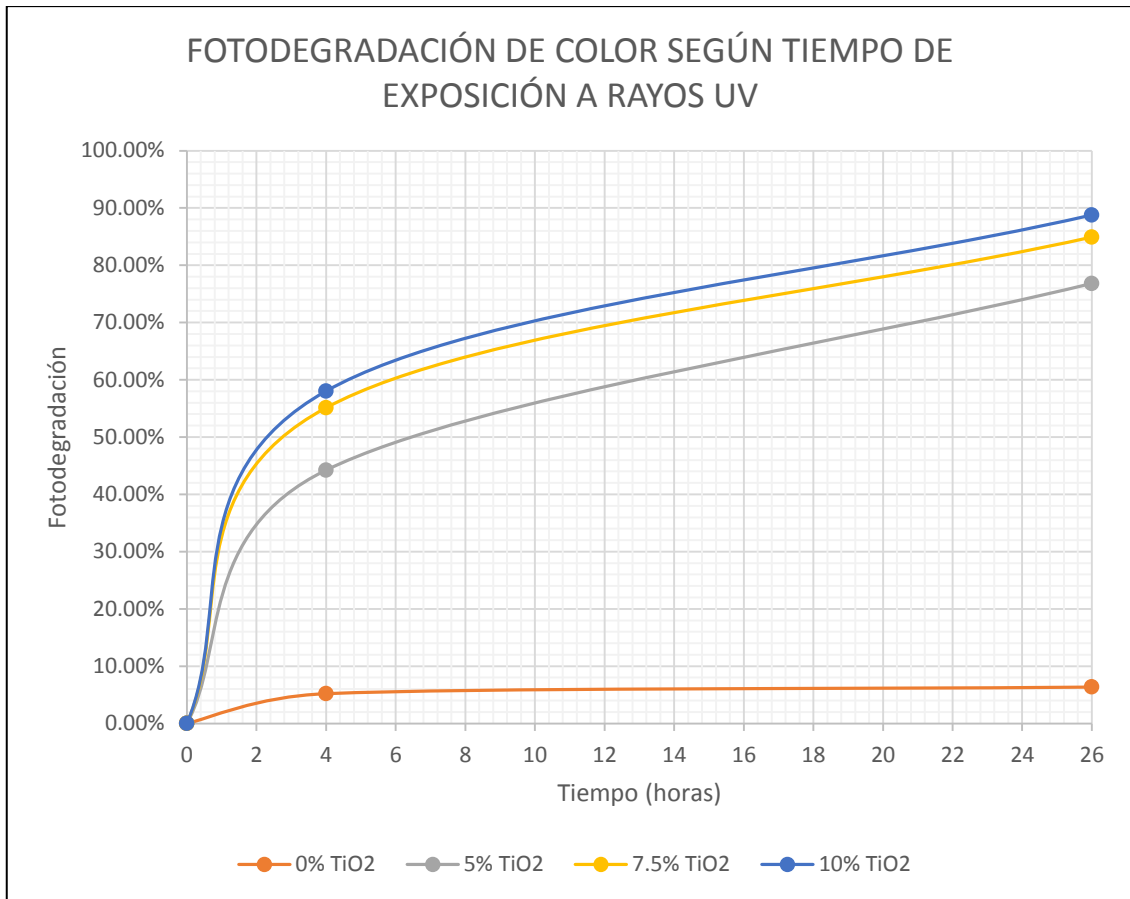


Figura 26. Fotodegradación de color del mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia

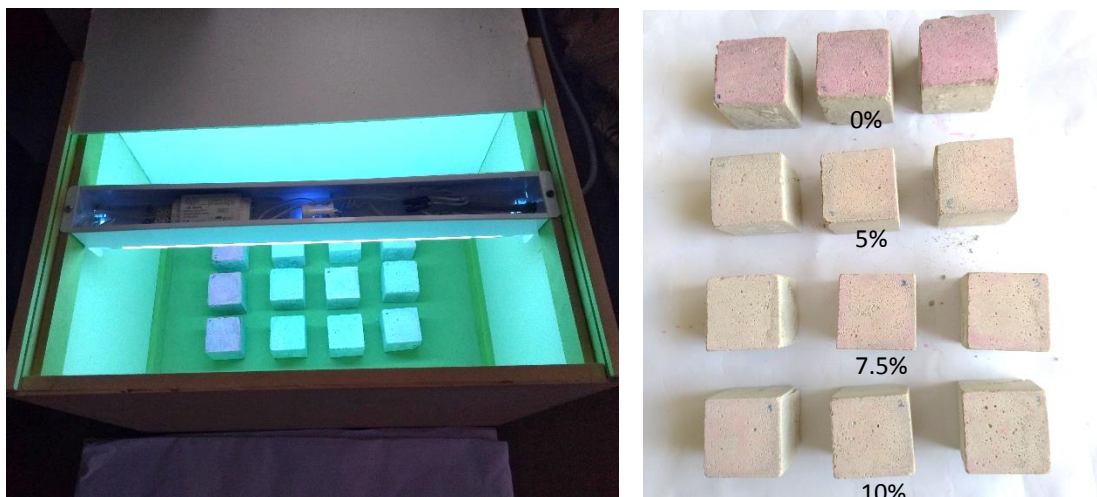


Figura 27. Exposición de especímenes de morteros a rayos UV durante 48 horas.

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.5. Intemperismo

El mortero para revestimiento aplicado en fachadas está constantemente expuesto a condiciones ambientales naturales como la radiación solar, temperatura y humedad. Asimismo, la contaminación ambiental también afecta a la piel de los edificios evidenciado en un proceso de ensuciamiento que produce un daño estético y transforma negativamente el carácter del entorno urbano.

La deposición y adhesión de las partículas contaminantes es influenciado por diversos factores como los agentes climáticos viento, lluvia batiente direccionado por el flujo de viento y el exceso de este último produce la lluvia escurrida siendo absorbida continuamente por el material de revestimiento durante su trayectoria descendente. En el caso de Lima Metropolitana la existencia de una humedad relativa elevada y de nieblas, incrementa notablemente el efecto de ensuciamiento de fachadas. Además, las características de porosidad y rugosidad de los materiales también influyen en este efecto.

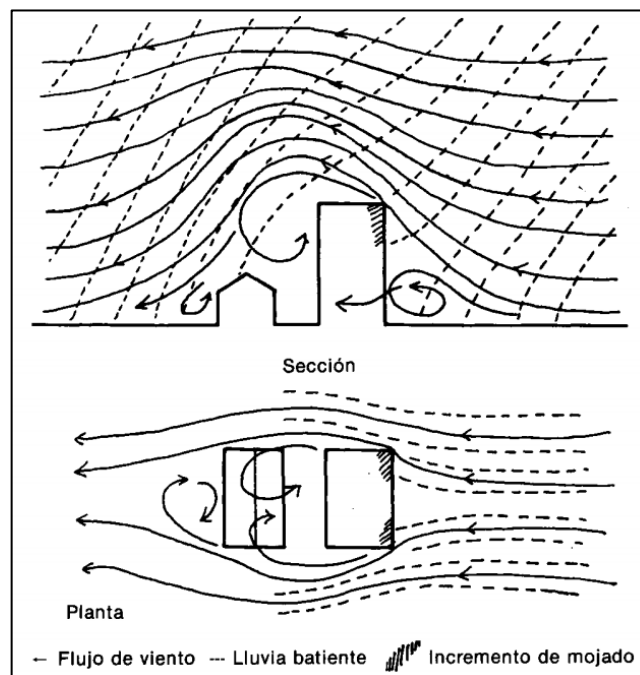


Figura 28. Actuación del par viento y lluvia sobre edificios.  
Fuente: León, F. (1990). Ensuciamiento de fachadas pétreas.

La Asociación Iberoamericana de Fotocatálisis (AIF) afirma que la fotocatalisis es una reacción de oxidación que se produce cuando la radiación solar activa un catalizador como el  $\text{TiO}_2$  en presencia de oxígeno. Es fundamental la adsorción de moléculas contaminantes sobre la superficie del catalizador para realizar la reacción de descomposición y eliminación de los contaminantes y evitar la acumulación de especies o partículas indeseables en el material de revestimiento.

Para evaluar cualitativamente el comportamiento fotocatalítico de los morteros de cemento Pórtland Tipo I con distintos porcentajes de  $\text{TiO}_2$ , se construyeron 4 paneles los cuales fueron expuestos al medio ambiente durante 3 meses con el fin de observar día a día su respuesta ante el intemperismo. El proceso de construcción de los paneles se observa en la Figura N° 29 y N°30.



Figura 29. Mezclado manual de morteros con distintos porcentajes de  $\text{TiO}_2$

Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Tarrajeo de paneles de 1.5 cm de espesor

Fuente: Elaboración propia



En la Figura N°31 se puede observar que el color blanquecino de los morteros con contenido de TiO<sub>2</sub> se mantiene, el panel sin contenido de TiO<sub>2</sub> presenta adherencia de partículas contaminantes que se muestra a través de manchas.

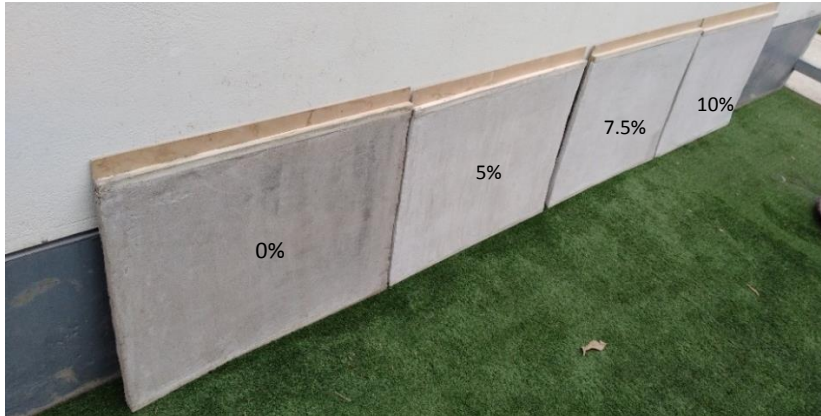


Figura 31. Exposición de paneles a la intemperie (1er mes)

Fuente: Elaboración propia

La presencia de lluvias en el segundo mes muestra la diferencia de comportamiento del panel sin tratamiento de TiO<sub>2</sub> con los paneles que si contienen TiO<sub>2</sub>. En la Figura N°32 se puede observar que la absorción capilar es mayor en el panel de 0% TiO<sub>2</sub> y menor en el panel de 10% TiO<sub>2</sub> siendo este menos permeable.



0%

5%

Figura 32. Exposición de paneles a la intemperie (2do mes)

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°33 se observa que el color de los paneles de 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO<sub>2</sub> se mantienen limpios a pesar de estar en contacto con el piso lo contrario al panel sin contenido de TiO<sub>2</sub> el cual muestra manchas por adhesión de partículas contaminantes.

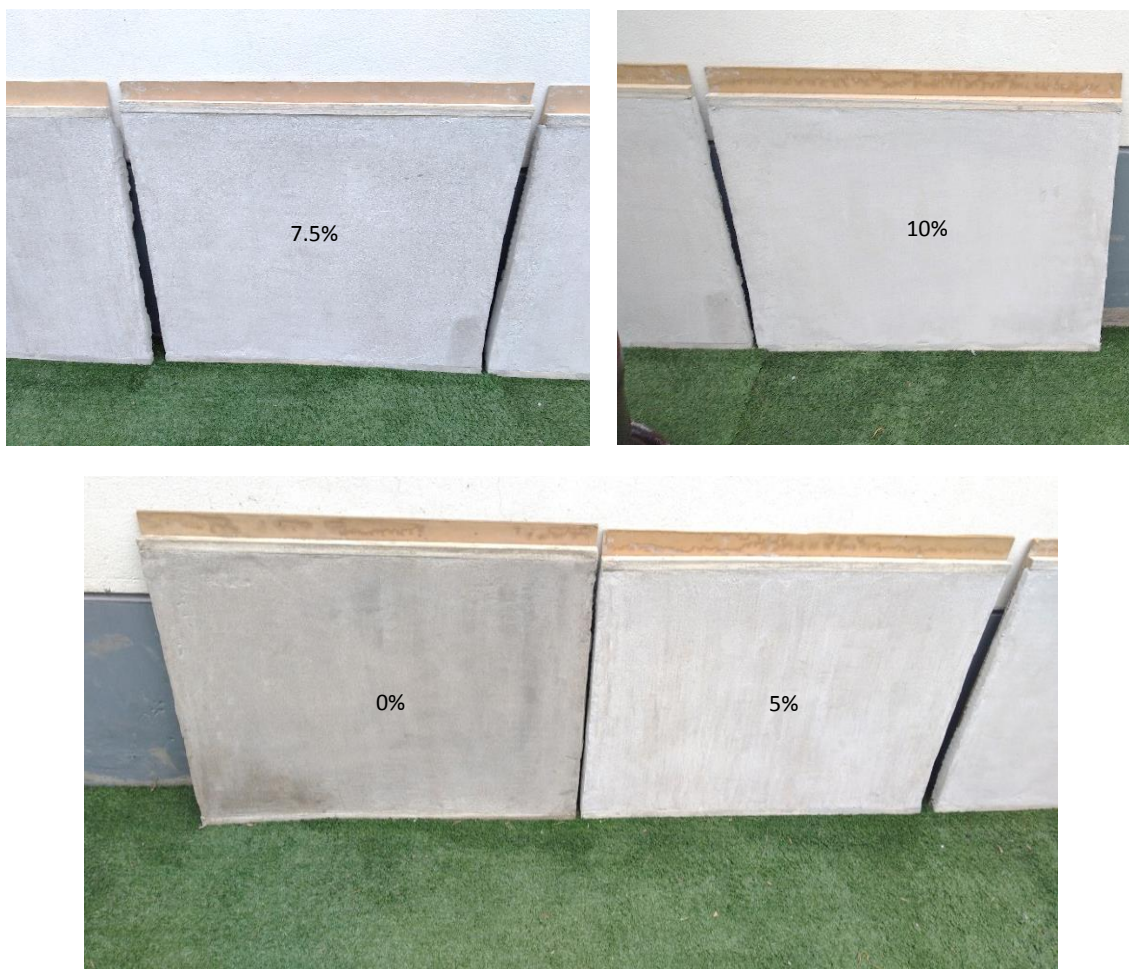


Figura 33. Exposición de paneles a la intemperie (3er mes)

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4 Análisis de costos unitarios

Se realizó un análisis de costos unitarios de cada uno de los morteros con 0%, 5%, 7.5% y 10 % de TiO<sub>2</sub> para determinar la viabilidad económica de su uso como muestra desde la Tabla N°43 hasta la Tabla N° 46. Además, se incluyó el análisis de costos unitarios de pintura para comparar el tarrajeo de muros exteriores con mortero convencional con un acabado final de pintado con respecto al tarrajeo con morteros con contenido de TiO<sub>2</sub>.

Los costos de la mano de obra fueron tomados de acuerdo a la tabla salarial para el régimen de construcción civil 2018-2019 y el precio de los materiales de acuerdo al mercado de Lima Metropolitana.

Tabla 43. Costo unitario de la partida tarrajeo muros exteriores (mortero 0% TiO<sub>2</sub>)

PARTIDA :Tarrajeo muros exteriores e= 1.5 cm			UNIDAD : m <sup>2</sup>	
CUADRILLA	CAPATAZ	OPERARIO	OFICIAL	PEÓN
TARRAJEO	0.1	1	0	0.5
ARMAR ANDAMIO	0	1	0	1
DESARMAR ANDAMIO	0	1	0	1
<b>RENDIMIENTO</b>				
TARRAJEO		12	m <sup>2</sup> /día	
ARMAR ANDAMIO		32	m <sup>2</sup> /día	
DESARMAR ANDAMIO		120	m <sup>2</sup> /día	
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/. (incluido IGV)</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Materiales</b>				<b>9.13</b>
CEMENTO TIPO I	bls	0.1214	22.20	2.69
ARENA FINA	m <sup>3</sup>	0.0074	50.00	0.37
AGUA	m <sup>3</sup>	0.0048	3.00	0.01
CLAVOS DE 3"	kg	0.0220	4.50	0.10
MADERA PARA REGLA	p <sup>2</sup>	0.0250	6.80	0.17
MADERA PARA ANDAMIAJE	p <sup>2</sup>	0.8500	6.80	5.78

<b>Mano de obra</b>				<b>18.00</b>
CAPATAZ	hh	0.0667	17.08	1.14
OPERARIO	hh	0.9833	11.57	11.38
PEÓN	hh	0.6500	8.43	5.48
<b>Equipo y herramientas</b>				<b>0.54</b>
HERRAMIENTAS 3% M.OBRA		0.0300	18.00	0.54
<b>TOTAL S/.</b>				<b>27.66</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Costo unitario de la partida tarrajeo muros exteriores (mortero 5% TiO2)

PARTIDA :Tarrajeo muros exteriores e= 1.5 cm			UNIDAD : m <sup>2</sup>	
CUADRILLA	CAPATAZ	OPERARIO	OFICIAL	PEÓN
TARRAJEO	0.1	1	0	0.5
ARMAR ANDAMIO	0	1	0	1
DESARMAR ANDAMIO	0	1	0	1
<b>RENDIMIENTO</b>				
TARRAJEO	12 m <sup>2</sup> /día			
ARMAR ANDAMIO	32 m <sup>2</sup> /día			
DESARMAR ANDAMIO	120 m <sup>2</sup> /día			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio S/. (incluido IGV)	Parcial S/.
<b>Materiales</b>				<b>15.60</b>
CEMENTO TIPO I	bls	0.1152	22.20	2.56
ARENA FINA	m <sup>3</sup>	0.0074	50.00	0.37
DIÓXIDO DE TITANIO	kg	0.3305	20.00	6.61
AGUA	m <sup>3</sup>	0.0048	3.00	0.01
CLAVOS DE 3"	kg	0.0220	4.50	0.10
MADERA PARA REGLA	p <sup>2</sup>	0.0250	6.80	0.17
MADERA PARA ANDAMIAJE	p <sup>2</sup>	0.8500	6.80	5.78
<b>Mano de obra</b>				<b>18.00</b>
CAPATAZ	hh	0.0667	17.08	1.14

OPERARIO	hh	0.9833	11.57	11.38
PEÓN	hh	0.6500	8.43	5.48
<b>Equipo y herramientas</b>				<b>0.54</b>
HERRAMIENTAS 3% M.OBRA		0.0300	18.00	0.54
			<b>TOTAL S/.</b>	<b>34.14</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Costo unitario de la partida tarrajeo muros exteriores (mortero 7.5% TiO2)

PARTIDA : Tarrajeo muros exteriores e= 1.5 cm			UNIDAD : m <sup>2</sup>	
CUADRILLA	CAPATAZ	OPERARIO	OFICIAL	PEÓN
TARRAJEO	0.1	1	0	0.5
ARMAR ANDAMIO	0	1	0	1
DESARMAR ANDAMIO	0	1	0	1
<b>RENDIMIENTO</b>				
TARRAJEO	12 m <sup>2</sup> /día			
ARMAR ANDAMIO	32 m <sup>2</sup> /día			
DESARMAR ANDAMIO	120 m <sup>2</sup> /día			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio S/. (incluido IGV)	Parcial S/.
<b>Materiales</b>				<b>18.84</b>
CEMENTO TIPO I	bls	0.1122	22.20	2.49
ARENA FINA	m <sup>3</sup>	0.0074	50.00	0.37
DIÓXIDO DE TITANIO	kg	0.4958	20.00	9.92
AGUA	m <sup>3</sup>	0.0048	3.00	0.01
CLAVOS DE 3"	kg	0.0220	4.50	0.10
MADERA PARA REGLA	p <sup>2</sup>	0.0250	6.80	0.17
MADERA PARA ANDAMIAJE	p <sup>2</sup>	0.8500	6.80	5.78
<b>Mano de obra</b>				<b>18.00</b>
CAPATAZ	hh	0.0667	17.08	1.14

OPERARIO	hh	0.9833	11.57	11.38
PEÓN	hh	0.6500	8.43	5.48
<b>Equipo y herramientas</b>				<b>0.54</b>
HERRAMIENTAS 3% M.OBRA		0.0300	18.00	0.54
<b>TOTAL S/.</b>				<b>37.38</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Costo unitario de la partida tarrajeo muros exteriores (mortero 10% TiO2)

PARTIDA : Tarrajeo muros exteriores e= 1.5 cm			UNIDAD : m <sup>2</sup>	
CUADRILLA	CAPATAZ	OPERARIO	OFICIAL	PEÓN
TARRAJEO	0.1	1	0	0.5
ARMAR ANDAMIO	0	1	0	1
DESARMAR ANDAMIO	0	1	0	1
<b>RENDIMIENTO</b>				
TARRAJEO		12 m <sup>2</sup> /día		
ARMAR ANDAMIO		32 m <sup>2</sup> /día		
DESARMAR ANDAMIO		120 m <sup>2</sup> /día		
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio S/. (incluido IGV)	Parcial S/.
<b>Materiales</b>				<b>22.07</b>
CEMENTO TIPO I	bls	0.1091	22.20	2.42
ARENA FINA	m <sup>3</sup>	0.0074	50.00	0.37
DIÓXIDO DE TITANIO	kg	0.6609	20.00	13.22
AGUA	m <sup>3</sup>	0.0048	3.00	0.01
CLAVOS DE 3"	kg	0.0220	4.50	0.10
MADERA PARA REGLA	p <sup>2</sup>	0.0250	6.80	0.17
MADERA PARA ANDAMIAJE	p <sup>2</sup>	0.8500	6.80	5.78
<b>Mano de obra</b>				<b>18.00</b>

CAPATAZ	hh	0.0667	17.08	1.14
OPERARIO	hh	0.9833	11.57	11.38
PEÓN	hh	0.6500	8.43	5.48
<b>Equipo y herramientas</b>				<b>0.54</b>
HERRAMIENTAS 3% M.OBRA		0.0300	18.00	0.54
<b>TOTAL S/.</b>				<b>40.61</b>

Fuente: Elaboración propia

Comparando los precios unitarios de tarrajeo de muros exteriores con mezclas de mortero con diferentes contenidos de TiO<sub>2</sub>, se obtiene el siguiente resumen mostrado en la Tabla N°47:

Tabla 47. Resumen de costos unitarios de tarrajeo de las distintas mezclas de mortero

<b>MORTERO</b>	<b>COSTO UNITARIO S/.</b>	<b>INCREMENTO DE COSTO (%)</b>
0% TiO <sub>2</sub>	27.66	0.00%
5% TiO <sub>2</sub>	34.14	23.40%
7.5% TiO <sub>2</sub>	37.38	35.11%
10% TiO <sub>2</sub>	40.61	46.80%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 34 se puede observar que existe un incremento del precio unitario de tarrajeo de muros exteriores cuando la mezcla de mortero contiene TiO<sub>2</sub>. El mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> tiene el menor incremento de costo con respecto al mortero convencional. El incremento porcentual del costo unitario es mayor en la mezcla de mortero con 10% de TiO<sub>2</sub>.

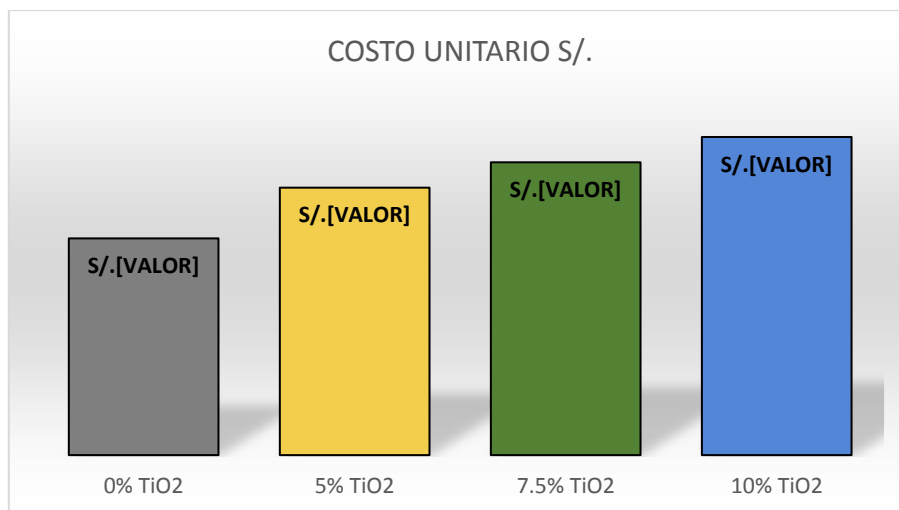


Figura 34. Costo unitario de tarrajeo según mezcla de mortero

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se realizó una comparación del precio unitario de tarrajeo con mortero convencional más pintado de muros exteriores con respecto al tarrajeo con mezclas de mortero con contenido de TiO<sub>2</sub> siendo estos el acabado final de fachada ya que, sus propiedades fotocatalíticas se activan con la radiación solar. El resultado obtenido se muestra en la Tabla N° 48 y N°49.

Tabla 48. Costo unitario de la partida pintura en muros exteriores

PARTIDA :Pintura en muros exteriores				UNIDAD	
				: m <sup>2</sup>	
CUADRILLA	CAPATAZ	OPERARIO	PEÓN		
IMPRIMACIÓN	0.1	1	1		
PINTURA	0	1	1		
RENDIMIENTO					
IMPRIMACIÓN	45	m <sup>2</sup> /día			
PINTURA	40	m <sup>2</sup> /día			
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
			(incluido IGV)		
<b>Materiales</b>				<b>4.35</b>	
LIJA	und	0.1000	1.50	0.15	
IMPRIMANTE	gal	0.1300	15.00	1.95	
PINTURA	gal	0.0500	45.00	2.25	
<b>Mano de obra</b>				<b>7.86</b>	
CAPATAZ	hh	0.0178	17.08	0.30	
OPERARIO	hh	0.3778	11.57	4.37	
PEÓN	hh	0.3778	8.43	3.19	
<b>Equipo y herramientas</b>				<b>0.24</b>	
HERRAMIENTAS 3%		0.0300	7.86	0.24	



Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Resumen de costos unitarios de tarrajeo (acabado pintado en mortero convencional)

MORTERO	COSTO UNITARIO S/.	INCREMENTO DE COSTO (%)
0% TiO2	40.11	0.00%
5% TiO2	34.14	-21.59%
7.5% TiO2	37.38	-9.88%
10% TiO2	40.61	1.81%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 35 se puede observar que el costo unitario del tarrajeo con mortero sin porcentaje de TiO2 mas un acabado final de pintura es mayor al tarrajeo con mezcla de mortero con 5% y 7.5% de TiO2 siendo este el acabado final del revestimiento. El incremento porcentual del costo unitario de la mezcla de mortero con 10% de TiO2 es mínima.

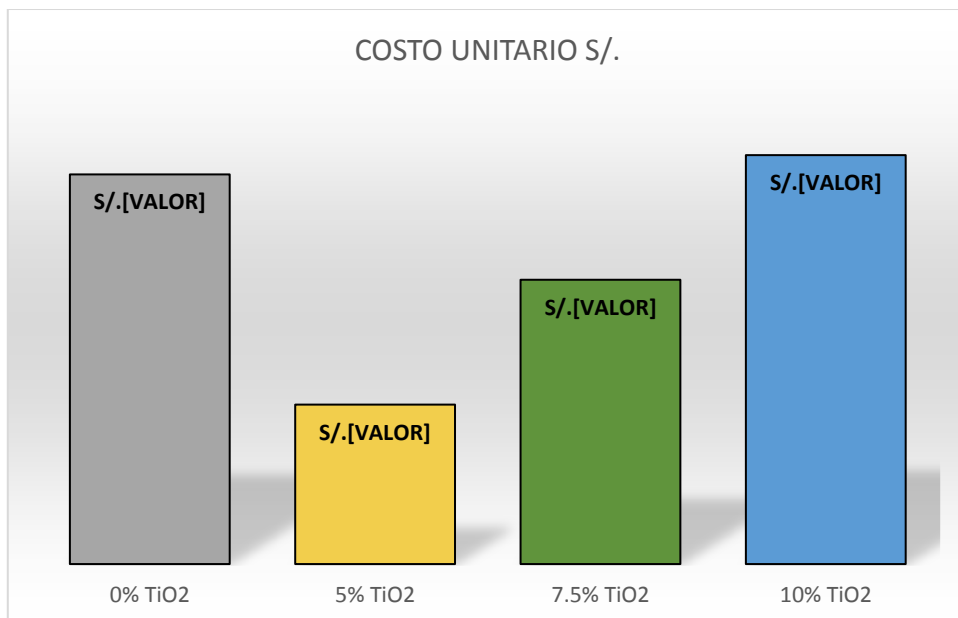


Figura 35. Costo unitario de tarrajeo (acabado pintado en mortero convencional)

Fuente: Elaboración propia

## 5.5 Contratación de hipótesis

Para el análisis estadístico de los resultados y la contratación de hipótesis se tuvo en cuenta la prueba de ANOVA de un factor para determinar si la variable dependiente e independiente están relacionados y la existencia de diferencias significativas entre las medias aritméticas de los grupos. En este proyecto de investigación la variable independiente es el mortero con 0%, 5%, 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub> y la variable dependiente es el resultado de los ensayos de resistencia a la compresión, tasa de absorción de agua y rodamina. Además, se realizó el análisis de regresión lineal para modelar matemáticamente la relación de dependencia entre la variable dependiente e independiente.

### ○ Contratación de hipótesis para la resistencia a la compresión de los diferentes diseños de mezcla de mortero

El análisis se hizo según el diseño de la mezcla de mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub> con respecto a la resistencia a la compresión a las 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días de edad. En la Tabla N°50 se muestran los datos ingresados al programa SPSS.

Tabla 50. Datos de resistencia a la compresión ingresados al programa SPSS V23

MORTERO ( % TiO <sub>2</sub> )	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )			
	24H	3D	7D	28D
0%	71,10	109,40	128,10	151,90
0%	66,40	108,80	126,60	150,10
0%	74,70	109,10	130,20	156,10
5%	63,40	85,80	120,70	142,40
5%	63,90	90,30	119,30	143,50
5%	65,60	91,80	117,60	139,40
7.5%	55,30	78,50	103,70	134,80
7.5%	54,60	79,40	102,60	135,00
7.5%	57,60	75,40	101,40	137,30
10%	51,20	70,70	88,90	121,60
10%	48,60	69,80	89,10	128,90
10%	49,20	67,40	87,20	118,30

Fuente: Elaboración propia

Para determinar si existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión de los distintos morteros en estudio. Primero los datos deben cumplir con el principio de normalidad y homogeneidad cuyos resultados obtenidos se encuentran en la Tabla N°51 y la Tabla N°52.

### Prueba de normalidad Shapiro- Wilk (muestra menor a 50)

Nivel de significancia del 5%

H0 = La muestra tiene una distribución normal

H1= La muestra no tiene una distribución normal

Si  $p < 0.05$  se rechaza Ho.

Tabla 51. Pruebas de normalidad de los datos de resistencia a la compresión

		Pruebas de normalidad			Shapiro-Wilk		
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Estadístico	gl	Sig.
	TRATAMIENTO % TiO2	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (24H)	,0	,202	3	.	,994	3	,854
	5,0	,302	3	.	,910	3	,417
	7,5	,300	3	.	,913	3	,430
	10,0	,301	3	.	,912	3	,424
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (3D)	,0	,175	3	.	1,000	3	1,000
	5,0	,292	3	.	,923	3	,463
	7,5	,303	3	.	,908	3	,413
	10,0	,282	3	.	,936	3	,510
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (7D)	,0	,211	3	.	,991	3	,817
	5,0	,192	3	.	,997	3	,893
	7,5	,178	3	.	,999	3	,952
	10,0	,351	3	.	,828	3	,183
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28D)	,0	,269	3	.	,949	3	,567
	5,0	,284	3	.	,933	3	,501
	7,5	,359	3	.	,810	3	,138
	10,0	,264	3	.	,955	3	,590

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de normalidad de los datos de resistencia a la compresión del mortero a la edad de 24 horas, 3, 7 y 28 días con respecto al 0%, 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO2 en la mezcla de mortero tiene un valor  $p > 0.05$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula: “Los datos de resistencia a la compresión según diseño de mezcla de mortero **tiene una distribución normal**”

### Prueba de homogeneidad:

Nivel de significancia del 5%

H0 = Los datos son homogéneos

H1= Los datos no son homogéneos

Si  $p < 0.05$  se rechaza Ho.

Tabla 52. Pruebas de homogeneidad de varianzas de los datos de resistencia a la compresión

Prueba de homogeneidad de varianzas				
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (24H)	1,876	3	8	,212
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (3D)	3,371	3	8	,075
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (7D)	,309	3	8	,819
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28D)	2,287	3	8	,155

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de homogeneidad de los datos de resistencia a la compresión del mortero a la edad de 24 horas, 3, 7 y 28 días con respecto al 0%, 5%, 7.5% y 10% de contenido de  $TiO_2$  en la mezcla de mortero tiene un valor  $p > 0.05$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula: “Los datos de resistencia a la compresión según diseño de mezcla de mortero **son homogéneos**”

## ANOVA

Nivel de significancia del 5%

H0 = Las medias de los grupos son todos iguales

H1= Al menos una de las medias es diferente

Los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA se indican en la Tabla N°53 y la Tabla N°54.

Tabla 53. Anova de un factor de los datos de resistencia a la compresión

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (24H)	Entre grupos	773,287	3	257,762	44,887	,000
	Dentro de grupos	45,940	8	5,742		
	Total	819,227	11			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (3D)	Entre grupos	2671,920	3	890,640	207,689	,000
	Dentro de grupos	34,307	8	4,288		
	Total	2706,227	11			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (7D)	Entre grupos	2822,270	3	940,757	464,954	,000
	Dentro de grupos	16,187	8	2,023		
	Total	2838,457	11			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28D)	Entre grupos	1386,809	3	462,270	40,786	,000
	Dentro de grupos	90,673	8	11,334		
	Total	1477,483	11			

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de ANOVA de los grupos de resistencia a la compresión del mortero a la edad de 24 horas, 3, 7 y 28 días con respecto al 0%, 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero tiene un valor  $p < 0.05$  por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna: “Al menos una de las medias de los grupos de resistencia a la compresión según edad con respecto al contenido de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero **es diferente**”

Tabla 54. Comparaciones múltiples de los distintos grupos de resistencia a la compresión

Comparaciones múltiples

HSD Tukey

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Limite inferior	Limite superior
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (24H)	,0	5,0	6,43333 <sup>*</sup>	1,95661	,044	,1676	12,6991
		7,5	14,90000 <sup>*</sup>	1,95661	,000	8,6342	21,1658
		10,0	21,06667 <sup>*</sup>	1,95661	,000	14,8009	27,3324
	5,0	,0	-6,43333 <sup>*</sup>	1,95661	,044	-12,6991	-,1676
		7,5	8,46667 <sup>*</sup>	1,95661	,011	2,2009	14,7324
		10,0	14,63333 <sup>*</sup>	1,95661	,000	8,3676	20,8991
	7,5	,0	-14,90000 <sup>*</sup>	1,95661	,000	-21,1658	-8,6342
		5,0	-8,46667 <sup>*</sup>	1,95661	,011	-14,7324	-2,2009
		10,0	6,16667	1,95661	,054	-,0991	12,4324
	10,0	,0	-21,06667 <sup>*</sup>	1,95661	,000	-27,3324	-14,8009
		5,0	-14,63333 <sup>*</sup>	1,95661	,000	-20,8991	-8,3676
		7,5	-6,16667	1,95661	,054	-12,4324	,0991
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (3D)	,0	5,0	19,80000 <sup>*</sup>	1,69082	,000	14,3854	25,2146
		7,5	31,33333 <sup>*</sup>	1,69082	,000	25,9187	36,7479
		10,0	39,80000 <sup>*</sup>	1,69082	,000	34,3854	45,2146
	5,0	,0	-19,80000 <sup>*</sup>	1,69082	,000	-25,2146	-14,3854
		7,5	11,53333 <sup>*</sup>	1,69082	,001	6,1187	16,9479
		10,0	20,00000 <sup>*</sup>	1,69082	,000	14,5854	25,4146
	7,5	,0	-31,33333 <sup>*</sup>	1,69082	,000	-36,7479	-25,9187
		5,0	-11,53333 <sup>*</sup>	1,69082	,001	-16,9479	-6,1187
		10,0	8,46667 <sup>*</sup>	1,69082	,005	3,0521	13,8813
	10,0	,0	-39,80000 <sup>*</sup>	1,69082	,000	-45,2146	-34,3854
		5,0	-20,00000 <sup>*</sup>	1,69082	,000	-25,4146	-14,5854
		7,5	-8,46667 <sup>*</sup>	1,69082	,005	-13,8813	-3,0521
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (7D)	,0	5,0	9,10000 <sup>*</sup>	1,16142	,000	5,3807	12,8193
		7,5	25,73333 <sup>*</sup>	1,16142	,000	22,0141	29,4526
		10,0	39,90000 <sup>*</sup>	1,16142	,000	36,1807	43,6193
	5,0	,0	-9,10000 <sup>*</sup>	1,16142	,000	-12,8193	-5,3807
		7,5	16,63333 <sup>*</sup>	1,16142	,000	12,9141	20,3526
		10,0	30,80000 <sup>*</sup>	1,16142	,000	27,0807	34,5193
	7,5	,0	-25,73333 <sup>*</sup>	1,16142	,000	-29,4526	-22,0141
		5,0	-16,63333 <sup>*</sup>	1,16142	,000	-20,3526	-12,9141
		10,0	14,16667 <sup>*</sup>	1,16142	,000	10,4474	17,8859
	10,0	,0	-39,90000 <sup>*</sup>	1,16142	,000	-43,6193	-36,1807
		5,0	-30,80000 <sup>*</sup>	1,16142	,000	-34,5193	-27,0807
		7,5	-14,16667 <sup>*</sup>	1,16142	,000	-17,8859	-10,4474
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28D)	,0	5,0	10,93333 <sup>*</sup>	2,74884	,017	2,1306	19,7361
		7,5	17,00000 <sup>*</sup>	2,74884	,001	8,1973	25,8027
		10,0	29,76667 <sup>*</sup>	2,74884	,000	20,9639	38,5694
	5,0	,0	-10,93333 <sup>*</sup>	2,74884	,017	-19,7361	-2,1306
		7,5	6,06667	2,74884	,201	-2,7361	14,8694
		10,0	18,83333 <sup>*</sup>	2,74884	,001	10,0306	27,6361
	7,5	,0	-17,00000 <sup>*</sup>	2,74884	,001	-25,8027	-8,1973
		5,0	-6,06667	2,74884	,201	-14,8694	2,7361
		10,0	12,76667 <sup>*</sup>	2,74884	,007	3,9639	21,5694
	10,0	,0	-29,76667 <sup>*</sup>	2,74884	,000	-38,5694	-20,9639
		5,0	-18,83333 <sup>*</sup>	2,74884	,001	-27,6361	-10,0306
		7,5	-12,76667 <sup>*</sup>	2,74884	,007	-21,5694	-3,9639

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La prueba de Post Hoc HSD Tukey realiza comparaciones múltiples entre los grupos, el resultado de los datos de resistencia a la compresión es el siguiente:

- Si existen diferencias significativas entre la resistencia a la compresión a las 24 horas, 3,7 y 28 días del mortero sin contenido de TiO<sub>2</sub> con respecto al mortero con 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO<sub>2</sub> ya que, el valor de p es menor a 0.05.

- Entre la resistencia a la compresión a las 24 horas del mortero con 7.5% de TiO<sub>2</sub> y el mortero con 10% de TiO<sub>2</sub>, el valor de p es 0.054 mayor a 0.05 por lo tanto no existen diferencias significativas entre los dos grupos.
- La resistencia a la compresión a los 28 días del mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> y el mortero con 7.5% de TiO<sub>2</sub>, la comparación de los resultados entre los dos grupos tiene un valor de p = 0.201 > 0.05 por lo tanto no existen diferencias significativas entre los dos grupos.

### REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

El modelo de regresión lineal simple explica y representa la dependencia entre una variable dependiente “y “ y la variable independiente “x”. Los resultados del modelo utilizado para el análisis de dependencia entre la resistencia a la compresión del mortero y el porcentaje de TiO<sub>2</sub> se muestran desde la Tabla N°55 hasta la Tabla N° 66 y gráficamente desde la Figura N°36 hasta la Figura N°39.

- **Regresión lineal para la resistencia a la compresión 24 horas**

Tabla 55. Coeficiente de la ecuación de resistencia a la compresión (24 horas)

Coeficientes <sup>a</sup>						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	72,073	1,487		48,485	,000
	TRATAMIENTO	-2,123	,221	-,950	-9,612	,000

a. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (24H)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

$$y = a + bx$$

y= Resistencia a la compresión a las 24 horas

x= Porcentaje de TiO<sub>2</sub> en el mortero

$$y = 72.073 - 2.123x$$

Tabla 56. Suma de cuadrados del modelo de resistencia a la compresión (24 horas)

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	739,219	1	739,219	92,393	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	80,008	10	8,001		
	Total	819,227	11			

a. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (24H)

b. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) toma valores entre 0 y 1, cuanto más se aproxime a 1 mejor será el ajuste y por lo tanto mayor la fiabilidad de las predicciones que se realicen. Asimismo, si el coeficiente de correlación lineal R es igual a 1 o -1 entonces  $R^2 = 1$ , por lo tanto, el ajuste lineal es perfecto.

$$R^2 = \frac{\text{SC regresión}}{\text{SC total}}$$

Tabla 57. Resumen del modelo de resistencia a la compresión (24 horas)

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,950 <sup>a</sup>	,902	,893	2,82857	,902	92,393	1	10	,000

a. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

b. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (24H)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El coeficiente de determinación  $R^2$  del modelo de resistencia a la compresión a la edad de 24 horas es 0.902 por lo tanto el modelo es eficiente. El porcentaje de  $TiO_2$  influye en el 90.2% en la resistencia a la compresión (24 horas). Asimismo, en la Figura 36 se observa que la pendiente del modelo de regresión lineal es negativa siendo el valor  $R = 0.95$  demostrando que existe un alto grado de correlación entre las variables.



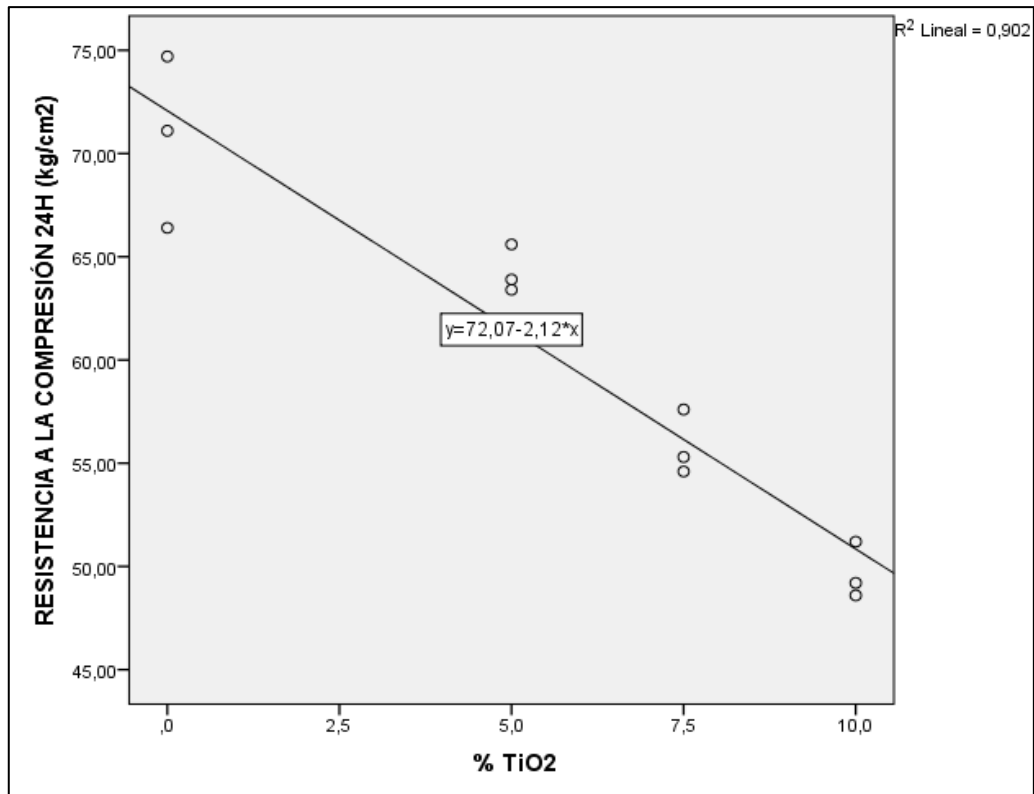


Figura 36. Regresión lineal simple de resistencia a la compresión (24 horas)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La ecuación de la recta de regresión es  $y = 72.073 - 2.123x$ . La relación entre el porcentaje de TiO2 en la mezcla de mortero y la resistencia a la compresión (24 horas) es inversa ya que, si el porcentaje de TiO2 se incrementa la resistencia a la compresión disminuye.

- **Regresión lineal para la resistencia a la compresión 3 días**

Tabla 58. Coeficiente de la ecuación de resistencia a la compresión (3 días)

Coeficientes <sup>a</sup>						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	109,047	1,039		104,990	,000
	TRATAMIENTO	-4,032	,154	-,993	-26,132	,000

a. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (3D)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

$$y = a + bx$$

y= Resistencia a la compresión a los 3 días

x= Porcentaje de TiO2 en el mortero

$$y = 109.047 - 4.032x$$

Tabla 59. Suma de cuadrados del modelo de regresión de resistencia a la compresión (3 días)

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2667,168	1	2667,168	682,862	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	39,059	10	3,906		
	Total	2706,227	11			

a. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (3D)

b. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

Tabla 60. Resumen del modelo de resistencia a la compresión (3 días)

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,993 <sup>a</sup>	,986	,984	1,97633	,986	682,862	1	10	,000

a. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

b. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (3D)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El coeficiente de determinación  $R^2$  del modelo de resistencia a la compresión a la edad de 3 días es 0.986 por lo tanto el modelo es muy cercano a 1 siendo casi perfecto. El porcentaje de TiO2 influye en el 98.6% en la resistencia a la compresión (3 días). Asimismo, en la Figura 37 se observa que la pendiente del modelo de regresión lineal es negativa siendo el valor  $R = 0.993$  demostrando que existe un alto grado de correlación entre las variables.

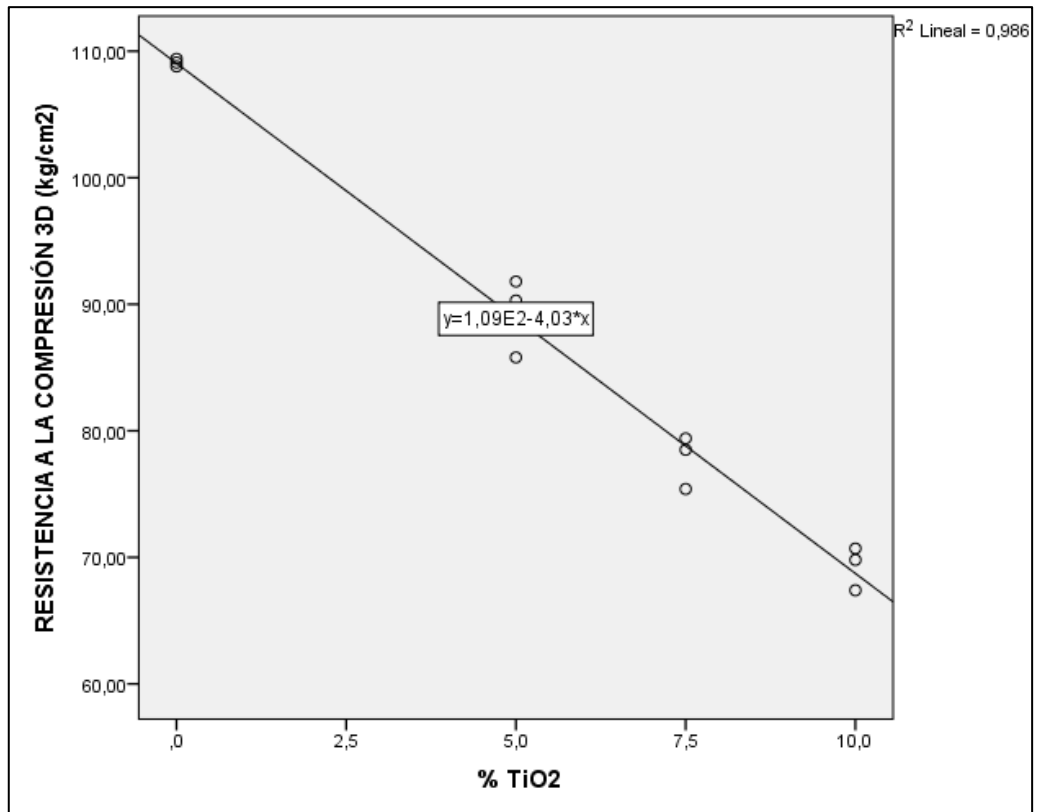


Figura 37. Regresión lineal simple de resistencia a la compresión (3 días)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La ecuación de la recta de regresión es  $y = 109.047 - 4.032x$ . La relación entre el porcentaje de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero y la resistencia a la compresión (3 días) es inversa ya que, si el porcentaje de TiO<sub>2</sub> se incrementa la resistencia a la compresión disminuye.

- **Regresión lineal para la resistencia a la compresión 7 días**

Tabla 61. Coeficiente de la ecuación de resistencia a la compresión (7 días)

Coeficientes <sup>a</sup>						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	131,950	2,640		49,984	,000
	TRATAMIENTO	-3,970	,392	-,955	-10,124	,000

a. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (7D)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

$$y = a + bx$$

y= Resistencia a la compresión a los 7 días

x= Porcentaje de TiO<sub>2</sub> en el mortero

$$y = 131.95 - 3.97x$$

Tabla 62. Suma de cuadrados del modelo de regresión de resistencia a la compresión (7 días)

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2586,145	1	2586,145	102,498	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	252,312	10	25,231		
	Total	2838,457	11			

a. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (7D)

b. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

Tabla 63. Resumen del modelo de resistencia a la compresión (7 días)

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,955 <sup>a</sup>	,911	,902	5,02306	,911	102,498	1	10	,000

a. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

b. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (7D)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El coeficiente de determinación R<sup>2</sup> del modelo de resistencia a la compresión a la edad de 7 días es 0.911 por lo tanto el modelo es eficiente. El porcentaje de TiO<sub>2</sub> influye en el 91.1% en la resistencia a la compresión (7 días). Asimismo, en la Figura 38 se observa que la pendiente del modelo de regresión lineal es negativa siendo el valor R= 0.955 demostrando que existe un alto grado de correlación entre las variables.

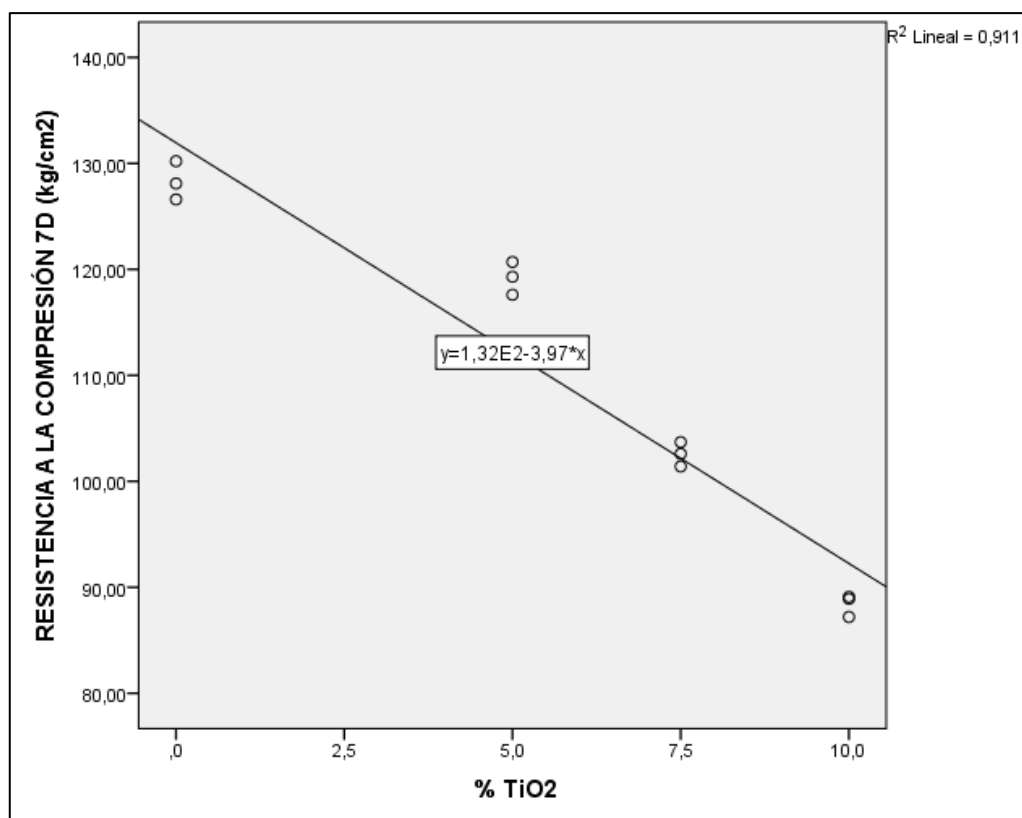


Figura 38. Regresión lineal simple de resistencia a la compresión (7 días)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La ecuación de la recta de regresión es  $y = 131.95 - 3.97x$ . La relación entre el porcentaje de TiO2 en la mezcla de mortero y la resistencia a la compresión (7 días) es inversa ya que, si el porcentaje de TiO2 se incrementa la resistencia a la compresión disminuye.

- **Regresión lineal para la resistencia a la compresión 28 días**

Tabla 64. Coeficiente de la ecuación de resistencia a la compresión (28 días)

Coeficientes <sup>a</sup>						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	154,246	2,069		74,566	,000
	TRATAMIENTO	-2,839	,307	-,946	-9,239	,000

a. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28D)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

$$y = a + bx$$

y= Resistencia a la compresión a los 28 días

x= Porcentaje de TiO<sub>2</sub> en el mortero

$$y = 154.246 - 2.839x$$

Tabla 65. Suma de cuadrados del modelo de resistencia a la compresión (28 días)

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1322,553	1	1322,553	85,365	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	154,930	10	15,493		
	Total	1477,483	11			

a. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28D)

b. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

Tabla 66. Resumen del modelo de resistencia a la compresión (28 días)

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,946 <sup>a</sup>	,895	,885	3,93611	,895	85,365	1	10	,000

a. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

b. Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28D)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El coeficiente de determinación R<sup>2</sup> del modelo de resistencia a la compresión a la edad de 28 días es 0.895 por lo tanto el modelo es eficiente. El porcentaje de TiO<sub>2</sub> influye en el 89.5% en la resistencia a la compresión (28 días). Asimismo, en la Figura 39 se observa que la pendiente del modelo de regresión lineal es negativa siendo el valor R= 0.946 demostrando que existe un alto grado de correlación entre las variables.

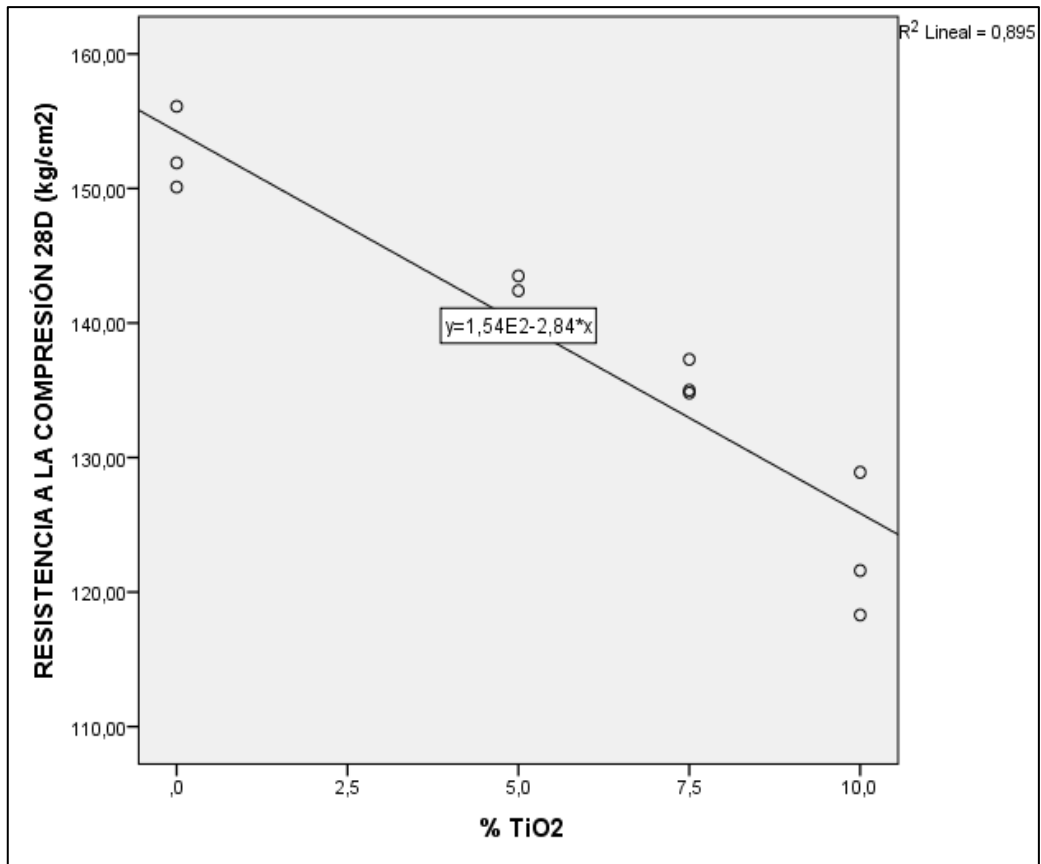


Figura 39. Regresión lineal simple de resistencia a la compresión (28 días)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La ecuación de la recta de regresión es  $y = 154.246 - 2.839x$ . La relación entre el porcentaje de TiO2 en la mezcla de mortero y la resistencia a la compresión (28 días) es inversa ya que, si el porcentaje de TiO2 se incrementa la resistencia a la compresión disminuye.

Finalmente, la variable independiente porcentaje de TiO2 presente en la mezcla de mortero **disminuye** de manera significativa la resistencia a la compresión del diseño. Sin embargo, hasta un porcentaje del 10% de contenido de TiO2 la resistencia a la compresión sigue siendo aceptable para cumplir la función del mortero como uso en revestimiento.

○ **Contrastación de hipótesis para la tasa de absorción de agua de los diferentes diseños de mezcla de mortero**

El análisis se hizo según el diseño de la mezcla de mortero con distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub> con respecto a la tasa de absorción de agua a las 0.25, 1.4 y 24 horas. En la Tabla N°67 se muestran los datos ingresados al programa SPSS.

Tabla 67. Datos de resistencia a la compresión ingresados al programa SPSS V23

MORTERO ( % TiO <sub>2</sub> )	TASA DE ABSORCIÓN DE AGUA (gr/100cm <sup>2</sup> )		
	0.25H	1.4H	24H
0%	15,84	31,28	143,36
0%	19,21	34,33	139,08
0%	16,12	28,46	137,64
5%	11,83	28,60	122,50
5%	13,35	26,44	127,88
5%	15,48	26,94	122,12
7.5%	9,48	23,67	122,60
7.5%	10,24	27,47	115,17
7.5%	9,83	24,08	116,04
10%	8,12	23,35	115,28
10%	6,04	24,08	111,32
10%	7,24	21,39	117,31

Fuente: Elaboración propia

Para determinar si existen diferencias significativas en la tasa de absorción de agua de los distintos morteros en estudio. Primero los datos deben cumplir con el principio de normalidad y homogeneidad cuyos resultados obtenidos se encuentran en la Tabla N°68 y la Tabla N°69.

**Prueba de normalidad Shapiro- Wilk (muestra menor a 50)**

Nivel de significancia del 5%

H<sub>0</sub> = La muestra tiene una distribución normal

H<sub>1</sub> = La muestra no tiene una distribución normal

Si  $p < 0.05$  se rechaza H<sub>0</sub>.



Tabla 68. Pruebas de normalidad de los datos de tasa de absorción de agua

Pruebas de normalidad							
TRATAMIENTO % TiO2	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
ABSORCIÓN0.25H	,0	,358	3	.	,812	3	,143
	5,0	,211	3	.	,991	3	,816
	7,5	,188	3	.	,998	3	,913
	10,0	,207	3	.	,992	3	,831
ABSORCIÓN1.4H	,0	,178	3	.	,999	3	,957
	5,0	,300	3	.	,912	3	,426
	7,5	,350	3	.	,830	3	,188
	10,0	,283	3	.	,935	3	,507
ABSORCIÓN24H	,0	,291	3	.	,924	3	,467
	5,0	,364	3	.	,799	3	,113
	7,5	,346	3	.	,836	3	,205
	10,0	,250	3	.	,967	3	,649

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de normalidad de los datos de la tasa de absorción de agua del mortero a 0.25, 1.4 y 24 horas con respecto al 0%, 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO2 en la mezcla de mortero tiene un valor  $p > 0.05$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula: “Los datos de la tasa de absorción de agua según diseño de mezcla de mortero **tiene una distribución normal**”

### Prueba de homogeneidad:

Nivel de significancia del 5%

H0 = Los datos son homogéneos

H1= Los datos no son homogéneos

Si  $p < 0.05$  se rechaza Ho.

Tabla 69. Pruebas de homogeneidad de varianzas de los datos de tasa de absorción de agua

Prueba de homogeneidad de varianzas				
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
ABSORCIÓN0.25H	2,137	3	8	,174
ABSORCIÓN1.4H	,860	3	8	,500
ABSORCIÓN24H	,323	3	8	,809

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de homogeneidad de los datos de tasa de absorción de agua del mortero a 0.25, 1.4 y 24 horas con respecto al 0%, 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero tiene un valor  $p > 0.05$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula: “Los datos de tasa de absorción de agua según diseño de mezcla de mortero **son homogéneos**”

## ANOVA

Nivel de significancia del 5%

H<sub>0</sub> = Las medias de los grupos son todos iguales

H<sub>1</sub> = Al menos una de las medias es diferente

Los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA se indican en la Tabla N°70 y la Tabla N°71.

Tabla 70. Anova de un factor de los datos de tasa de absorción de agua

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
ABSORCIÓN0.25H	Entre grupos	168,745	3	56,248	27,799	,000
	Dentro de grupos	16,187	8	2,023		
	Total	184,932	11			
ABSORCIÓN1.4H	Entre grupos	116,575	3	38,858	9,605	,005
	Dentro de grupos	32,365	8	4,046		
	Total	148,939	11			
ABSORCIÓN24H	Entre grupos	1143,513	3	381,171	33,875	,000
	Dentro de grupos	90,018	8	11,252		
	Total	1233,531	11			

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de ANOVA de los grupos de tasa de absorción de agua del mortero a 0.25, 1.4 y 24 horas con respecto al 0%, 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero tiene un valor  $p < 0.05$  por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna: “Al menos una de las medias de los grupos de tasa de absorción de agua según tiempo de exposición con respecto al contenido de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero **es diferente**”

Tabla 71. Comparaciones múltiples de los distintos grupos de tasa de absorción de agua

**Comparaciones múltiples**

HSD Tukey

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
ABSORCIÓN0.25H	,0	5,0	3,50333	1,16144	,045	-2,160	7,2227
		7,5	7,20667*	1,16144	,001	3,4873	10,9260
		10,0	9,92333*	1,16144	,000	6,2040	13,6427
	5,0	,0	-3,50333	1,16144	,045	-7,2227	,2160
		7,5	3,70333	1,16144	,051	-,0160	7,4227
		10,0	6,42000*	1,16144	,002	2,7007	10,1393
	7,5	,0	-7,20667*	1,16144	,001	-10,9260	-3,4873
		5,0	-3,70333	1,16144	,051	-7,4227	,0160
		10,0	2,71667	1,16144	,168	-1,0027	6,4360
	10,0	,0	-9,92333*	1,16144	,000	-13,6427	-6,2040
		5,0	-6,42000*	1,16144	,002	-10,1393	-2,7007
		7,5	-2,71667	1,16144	,168	-6,4360	1,0027
ABSORCIÓN1.4H	,0	5,0	4,03000	1,64227	,043	-1,2291	9,2891
		7,5	6,28333*	1,64227	,021	1,0242	11,5425
		10,0	8,41667*	1,64227	,004	3,1575	13,6758
	5,0	,0	-4,03000	1,64227	,043	-9,2891	1,2291
		7,5	2,25333	1,64227	,548	-3,0058	7,5125
		10,0	4,38667	1,64227	,106	-,8725	9,6458
	7,5	,0	-6,28333*	1,64227	,021	-11,5425	-1,0242
		5,0	-2,25333	1,64227	,548	-7,5125	3,0058
		10,0	2,13333	1,64227	,588	-3,1258	7,3925
	10,0	,0	-8,41667*	1,64227	,004	-13,6758	-3,1575
		5,0	-4,38667	1,64227	,106	-9,6458	,8725
		7,5	-2,13333	1,64227	,588	-7,3925	3,1258
ABSORCIÓN24H	,0	5,0	15,86000*	2,73889	,002	7,0891	24,6309
		7,5	22,09000*	2,73889	,000	13,3191	30,8609
		10,0	25,39000*	2,73889	,000	16,6191	34,1609
	5,0	,0	-15,86000*	2,73889	,002	-24,6309	-7,0891
		7,5	6,23000	2,73889	,183	-2,5409	15,0009
		10,0	9,53000*	2,73889	,034	,7591	18,3009
	7,5	,0	-22,09000*	2,73889	,000	-30,8609	-13,3191
		5,0	-6,23000	2,73889	,183	-15,0009	2,5409
		10,0	3,30000	2,73889	,641	-5,4709	12,0709
	10,0	,0	-25,39000*	2,73889	,000	-34,1609	-16,6191
		5,0	-9,53000*	2,73889	,034	-18,3009	-,7591
		7,5	-3,30000	2,73889	,641	-12,0709	5,4709

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de Post Hoc HSD Tukey de los datos de tasa de absorción es el siguiente:

- Si existen diferencias significativas entre la tasa de absorción de agua a 0.25, 1.4 y 24 horas del mortero sin contenido de TiO<sub>2</sub> con respecto al mortero con 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO<sub>2</sub> ya que, el valor de p es menor a 0.05.
- Entre la tasa de absorción de agua a 0.25 horas de exposición del mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> y el mortero con 7.5% de TiO<sub>2</sub>, el valor de p es 0.051 mayor a 0.05 por lo tanto no existen diferencias significativas entre los dos grupos, lo mismo sucede entre el mortero con 7.5% de TiO<sub>2</sub> y el mortero con 10% de TiO<sub>2</sub>.

- No existen diferencias significativas entre los grupos de mortero con 5%, 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub> con respecto a la tasa de absorción de agua a 1.4 horas, el valor de p obtenido es mayor a 0.05.
- Entre la tasa de absorción de agua a las 24 horas de exposición del mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> y el mortero con 7.5% de TiO<sub>2</sub>, el valor de p es 0.183 mayor a 0.05 por lo tanto no existen diferencias significativas entre los dos grupos, lo mismo sucede entre el mortero con 7.5% de TiO<sub>2</sub> y el mortero con 10% de TiO<sub>2</sub>.

### REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Los resultados del modelo utilizado para el análisis de dependencia entre la tasa de absorción de agua del mortero y el porcentaje de TiO<sub>2</sub> se muestran desde la Tabla N°72 hasta la Tabla N° 80 y gráficamente desde la Figura N°40 hasta la Figura N°42.

- **Regresión lineal para la tasa de absorción de agua 0.25 horas**

Tabla 72. Coeficiente de la ecuación de tasa de absorción de agua (0.25 horas)

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	17,528	,754		23,255	,000
	TRATAMIENTO	-1,001	,112	-,943	-8,939	,000

a. Variable dependiente: ABSORCIÓN0.25H

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

$$y = a + bx$$

y= Tasa de absorción de agua a las 0.25 horas

x= Porcentaje de TiO<sub>2</sub> en el mortero

$$y = 17,528 - 1,001x$$

Tabla 73. Suma de cuadrados del modelo de tasa de absorción de agua (0.25 horas)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	164,363	1	164,363	79,905	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	20,570	10	2,057		
	Total	184,932	11			

a. Variable dependiente: ABSORCIÓN0.25H

b. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

Tabla 74. Resumen del modelo de tasa de absorción de agua (0.25 horas)

Resumen del modelo <sup>b</sup>									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,943 <sup>a</sup>	,889	,878	1,43422	,889	79,905	1	10	,000

a. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

b. Variable dependiente: ABSORCIÓN0.25H

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El coeficiente de determinación  $R^2$  del modelo de tasa de absorción de agua a 0.25 horas de exposición es 0.889 por lo tanto el modelo es eficiente. El porcentaje de  $TiO_2$  influye en el 88.9% en la tasa de absorción de agua (0.25 horas). Asimismo, en la Figura 40 se observa que la pendiente del modelo de regresión lineal es negativa siendo el valor  $R = 0.943$  demostrando que existe un alto grado de correlación entre las variables.

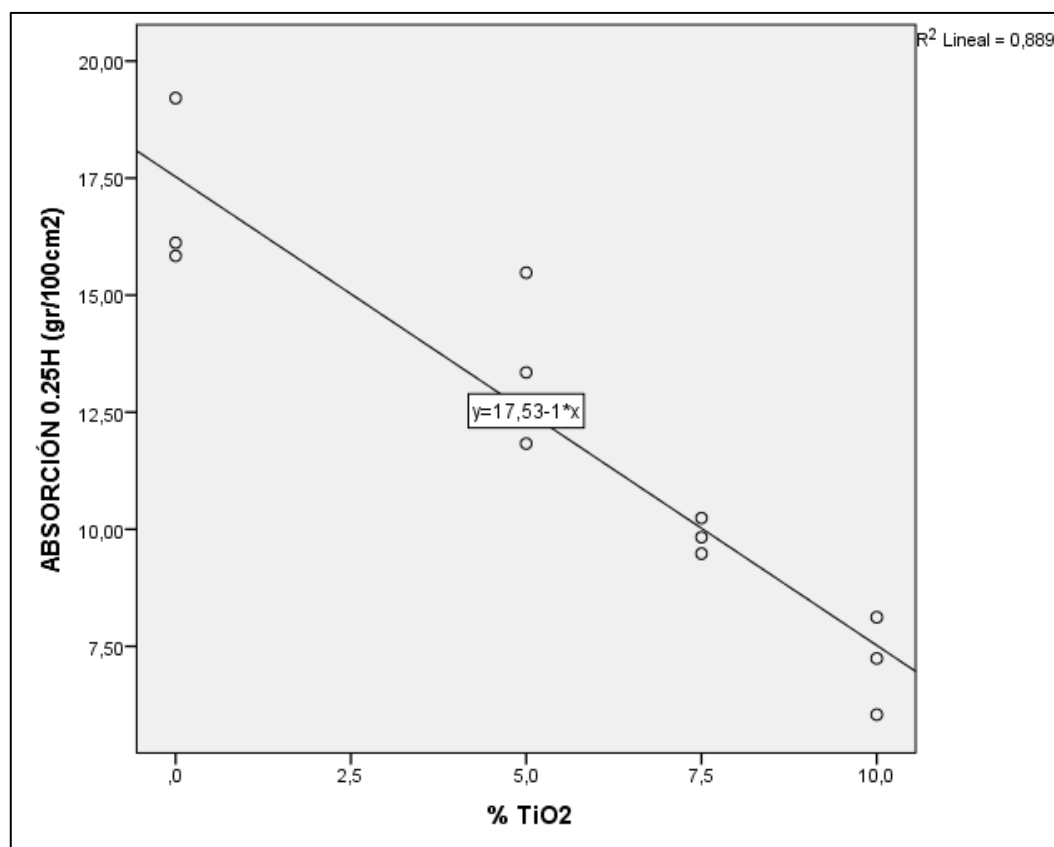


Figura 40. Regresión lineal simple de tasa de absorción de agua (0.25 horas)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La ecuación de la recta de regresión es  $y = 17,528 - 1,001x$ . La relación entre el porcentaje de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero y la tasa de absorción de agua (0.25 horas) es inversa ya que, si el porcentaje de TiO<sub>2</sub> se incrementa la tasa de absorción de agua disminuye.

- **Regresión lineal para la tasa de absorción de agua 1.4 horas**

Tabla 75. Coeficiente de la ecuación de tasa de absorción de agua (1.4 horas)

**Coeficientes<sup>a</sup>**

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	31,414	,946		33,193	,000
	TRATAMIENTO	-,843	,141	-,884	-5,994	,000

a. Variable dependiente: ABSORCIÓN1.4H

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

$$y = a + bx$$

y= Tasa de absorción de agua a las 1.4 horas

x= Porcentaje de TiO<sub>2</sub> en el mortero

$$y = 31.414 - 0.843x$$

Tabla 76. Suma de cuadrados del modelo de tasa de absorción de agua (1.4 horas)

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	116,509	1	116,509	35,926	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	32,430	10	3,243		
	Total	148,939	11			

a. Variable dependiente: ABSORCIÓN1.4H

b. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

Tabla 77. Resumen del modelo de tasa de absorción de agua (1.4 horas)

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,884 <sup>a</sup>	,782	,760	1,80084	,782	35,926	1	10	,000

a. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

b. Variable dependiente: ABSORCIÓN1.4H

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El coeficiente de determinación  $R^2$  del modelo de tasa de absorción de agua a 1.4 horas de exposición es 0.782 por lo tanto el modelo es eficiente. El porcentaje de  $TiO_2$  influye en el 78.2% en la tasa de absorción de agua (1.4 horas). Asimismo, en la Figura 41 se observa que la pendiente del modelo de regresión lineal es negativa siendo el valor  $R = 0.884$  demostrando que existe un alto grado de correlación entre las variables.

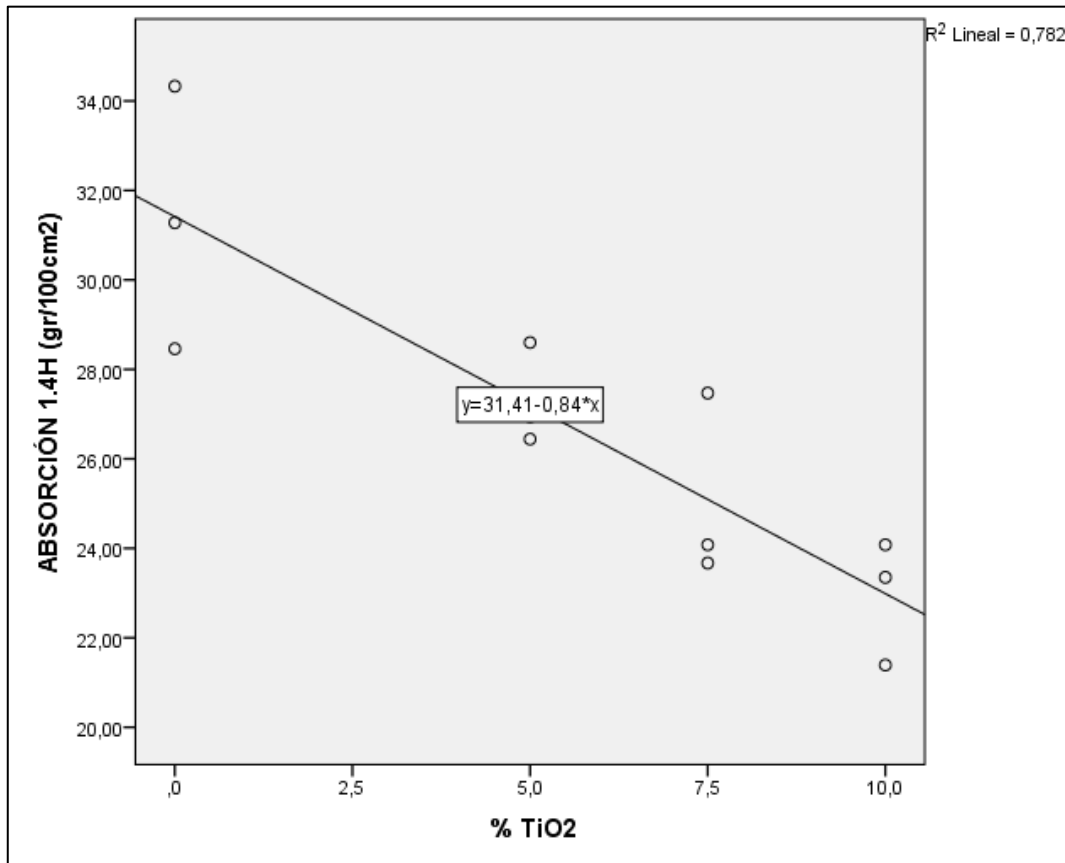


Figura 41. Regresión lineal simple de tasa de absorción de agua (1.4 horas)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La ecuación de la recta de regresión es  $y = 31.414 - 0.843x$ . La relación entre el porcentaje de  $TiO_2$  en la mezcla de mortero y la tasa de absorción de agua (1.4 horas) es inversamente proporcional ya que, si el porcentaje de  $TiO_2$  se incrementa la tasa de absorción de agua disminuye.

- **Regresión lineal para la tasa de absorción de agua 24 horas**

Tabla 78. Coeficiente de la ecuación de tasa de absorción de agua (24 horas)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
1 (Constante)	138,858	1,807		76,846	,000
TRATAMIENTO	-2,607	,268	-,951	-9,713	,000

a. Variable dependiente: ABSORCIÓN24H

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

$$y = a + bx$$

y= Tasa de absorción de agua a las 24 horas

x= Porcentaje de TiO<sub>2</sub> en el mortero

$$y = 138.858 - 2.607x$$

Tabla 79. Suma de cuadrados del modelo de tasa de absorción de agua (24 horas)

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1115,311	1	1115,311	94,342	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	118,220	10	11,822		
	Total	1233,531	11			

a. Variable dependiente: ABSORCIÓN24H

b. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

Tabla 80. Resumen del modelo de tasa de absorción de agua (24 horas)

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	,951 <sup>a</sup>	,904	,895	3,43831	,904	94,342	1	10	,000

a. Predictores: (Constante), TRATAMIENTO

b. Variable dependiente: ABSORCIÓN24H

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)



El coeficiente de determinación  $R^2$  del modelo de tasa de absorción de agua a 24 horas de exposición es 0.904, el modelo es eficiente. El porcentaje de  $TiO_2$  influye en el 90.4% en la tasa de absorción de agua (24 horas). Asimismo, en la Figura 42 se observa que la pendiente del modelo de regresión lineal es negativa siendo el valor  $R= 0.951$  demostrando que existe un alto grado de correlación entre las variables casi perfecta.

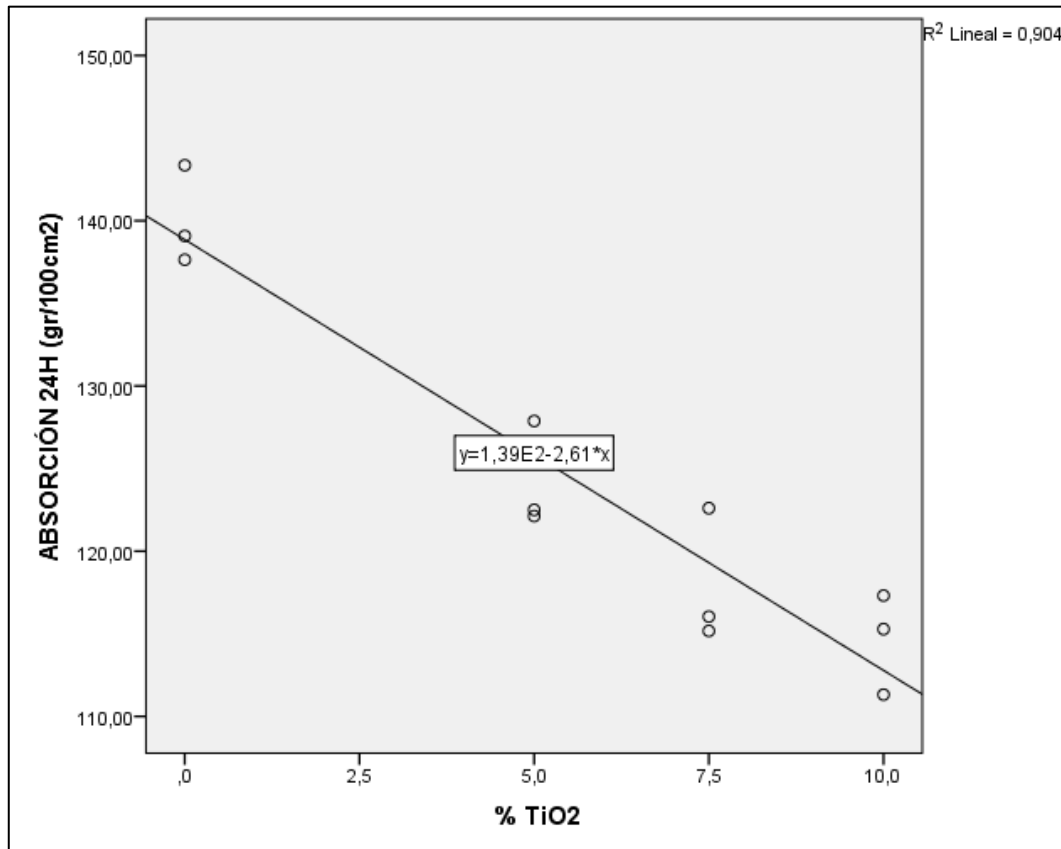


Figura 42. Regresión lineal simple de tasa de absorción de agua (24 horas)

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La ecuación de la recta de regresión es  $y = 138.858 - 2.607x$ . La relación entre el porcentaje de  $TiO_2$  en la mezcla de mortero y la tasa de absorción de agua (24 horas) es inversamente proporcional ya que, si el porcentaje de  $TiO_2$  se incrementa la tasa de absorción de agua disminuye.

Finalmente, la variable independiente porcentaje de  $TiO_2$  presente en el diseño de mezcla de mortero **disminuye** de manera significativa la tasa de absorción de agua lo cual es favorable para la durabilidad del mortero ante el intemperismo.

○ **Contrastación de hipótesis para la fotodegradación de color de los diferentes diseños de mezcla de mortero**

El análisis se hizo según los distintos porcentajes de TiO<sub>2</sub> presente en el diseño de mezcla de mortero con respecto a los factores de fotodegradación de color R4 Y R26. En la Tabla N°81 se muestran los datos ingresados al programa SPSS.

Tabla 81. Datos de fotodegradación de color ingresados al programa SPSS V23

MORTERO ( % TiO <sub>2</sub> )	FOTODEGRADACIÓN DE COLOR (%)	
	R4	R26
0%	4,64	5,06
0%	5,51	6,99
0%	5,45	7,00
5%	46,86	76,57
5%	47,03	79,21
5%	38,82	74,71
7.50%	53,78	89,33
7.50%	59,11	82,27
7.50%	52,48	83,17
10%	55,33	88,67
10%	61,72	87,50
10%	57,06	90,18

Fuente: Elaboración propia

Para determinar si existen diferencias significativas en los factores de fotodegradación de color R4 Y R26 de los distintos morteros en estudio. Primero los datos deben cumplir con el principio de normalidad y homogeneidad cuyos resultados obtenidos se encuentran en la Tabla N°82 y la Tabla N°83.

**Prueba de normalidad Shapiro- Wilk (muestra menor a 50)**

Nivel de significancia del 5%

H<sub>0</sub> = La muestra tiene una distribución normal

H<sub>1</sub> = La muestra no tiene una distribución normal

Si  $p < 0.05$  se rechaza H<sub>0</sub>.

Tabla 82. Pruebas de normalidad de los datos de fotodegradación de color

Pruebas de normalidad							
TRATAMIENTO % TiO2	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
%R4	,0	,363	3	.	,801	3	,118
	5,0	,379	3	.	,766	3	,055
	7,5	,316	3	.	,890	3	,355
	10,0	,283	3	.	,935	3	,506
%R26	,0	,383	3	.	,754	3	,069
	5,0	,212	3	.	,990	3	,810
	7,5	,343	3	.	,844	3	,224
	10,0	,200	3	.	,995	3	,860

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de normalidad de los datos de los factores R4 y R26 de fotodegradación de color del mortero con respecto al 0%, 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO2 en la mezcla de mortero tiene un valor  $p > 0.05$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula: “Los datos de fotodegradación de color según diseño de mezcla de mortero **tiene una distribución normal**”

### Prueba de homogeneidad:

Nivel de significancia del 5%

H0 = Los datos son homogéneos

H1 = Los datos no son homogéneos

Si  $p < 0.05$  se rechaza Ho.

Tabla 83. Pruebas de homogeneidad de varianzas de los datos de fotodegradación de color

Prueba de homogeneidad de varianzas				
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
%R4	3,656	3	8	,063
%R26	2,929	3	8	,100

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de homogeneidad de los datos de los factores de fotodegradación de color R4 y R26 con respecto al 0%, 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero tiene un valor  $p > 0.05$  por lo tanto se acepta la hipótesis nula: “Los datos de fotodegradación de color según diseño de mezcla de mortero **son homogéneos**”

## ANOVA

Nivel de significancia del 5%

H<sub>0</sub> = Las medias de los grupos son todos iguales

H<sub>1</sub> = Al menos una de las medias es diferente

Los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA se indican en la Tabla N°84 y la Tabla N°85.

Tabla 84. Anova de un factor de los datos de fotodegradación de color

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
%R4	Entre grupos	5344,021	3	1781,340	156,551	,000
	Dentro de grupos	91,029	8	11,379		
	Total	5435,050	11			
%R26	Entre grupos	13619,803	3	4539,934	791,858	,000
	Dentro de grupos	45,866	8	5,733		
	Total	13665,669	11			

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de ANOVA de los grupos de los factores de fotodegradación de color R4 y R26 con respecto al 0%, 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero tiene un valor  $p < 0.05$  por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna: “Al menos una de las medias de los grupos de los factores R4 y R26 de fotodegradación de color con respecto al contenido de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero **es diferente**”

Tabla 85. Comparaciones múltiples de los distintos grupos de fotodegradación de color

Comparaciones múltiples

HSD Tukey

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
%R4	,0	5,0	-39,03667*	2,75423	,000	-47,8567	-30,2167
		7,5	-49,92333*	2,75423	,000	-58,7433	-41,1033
		10,0	-52,83667*	2,75423	,000	-61,6567	-44,0167
	5,0	,0	39,03667*	2,75423	,000	30,2167	47,8567
		7,5	-10,88667*	2,75423	,018	-19,7067	-2,0667
		10,0	-13,80000*	2,75423	,005	-22,6200	-4,9800
	7,5	,0	49,92333*	2,75423	,000	41,1033	58,7433
		5,0	10,88667*	2,75423	,018	2,0667	19,7067
		10,0	-2,91333	2,75423	,723	-11,7333	5,9067
	10,0	,0	52,83667*	2,75423	,000	44,0167	61,6567
		5,0	13,80000*	2,75423	,005	4,9800	22,6200
		7,5	2,91333	2,75423	,723	-5,9067	11,7333
%R26	,0	5,0	-70,48000*	1,95504	,000	-76,7407	-64,2193
		7,5	-78,57333*	1,95504	,000	-84,8341	-72,3126
		10,0	-82,43333*	1,95504	,000	-88,6941	-76,1726
	5,0	,0	70,48000*	1,95504	,000	64,2193	76,7407
		7,5	-8,09333*	1,95504	,014	-14,3541	-1,8326
		10,0	-11,95333*	1,95504	,001	-18,2141	-5,6926
	7,5	,0	78,57333*	1,95504	,000	72,3126	84,8341
		5,0	8,09333*	1,95504	,014	1,8326	14,3541
		10,0	-3,86000	1,95504	,273	-10,1207	2,4007
	10,0	,0	82,43333*	1,95504	,000	76,1726	88,6941
		5,0	11,95333*	1,95504	,001	5,6926	18,2141
		7,5	3,86000	1,95504	,273	-2,4007	10,1207

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El resultado de la prueba de Post Hoc HSD Tukey de los datos de los factores R4 y R26 de fotodegradación de color es el siguiente:

- Si existen diferencias significativas entre los factores R4 y R26 del mortero sin contenido de TiO<sub>2</sub> con respecto al mortero con 5%, 7.5% y 10% de contenido de TiO<sub>2</sub> ya que, el valor de p es menor a 0.05.
- Entre el factor R4 y R26 de fotodegradación de color del mortero con 7.5% de TiO<sub>2</sub> y el mortero con 10% de TiO<sub>2</sub>, el valor de p es mayor a 0.05 por lo tanto no existen diferencias significativas entre los dos grupos.

## REGRESIÓN CUADRÁTICA

Los resultados del modelo utilizado para el análisis de dependencia entre la resistencia a la compresión del mortero y el porcentaje de TiO<sub>2</sub> se muestran desde la Tabla N°86 hasta la Tabla N° 91 y gráficamente en la Figura N°43 y en la Figura N°44.

- **Regresión cuadrática para el factor de fotodegradación de color R4**

Tabla 86. Coeficiente de la ecuación del factor R4

Coeficientes					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
TRATAMIENTO	10,476	,842	1,820	12,439	,000
TRATAMIENTO ** 2	-,517	,083	-,907	-6,197	,000
(Constante)	5,139	1,840		2,793	,021

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

$$y = a + bx + cx^2$$

y= Factor de fotodegradación R4 (%)

x= Porcentaje de TiO<sub>2</sub> en el mortero

$$y = 5.139 + 10.476x - 0.517x^2$$

Tabla 87. Suma de cuadrados del modelo del factor R4

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	5342,812	2	2671,406	260,660	,000
Residuo	92,238	9	10,249		
Total	5435,050	11			

La variable independiente es TRATAMIENTO.

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

Tabla 88. Resumen del modelo del factor R4

Resumen del modelo			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,991	,983	,979	3,201

La variable independiente es TRATAMIENTO.

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

El coeficiente de determinación  $R^2$  del modelo del factor de fotodegradación R4 es 0.983, el modelo es eficiente. El porcentaje de  $TiO_2$  influye en el 98.3% en el factor R4. Asimismo, el valor  $R= 0.991$  demuestra que existe un alto grado de correlación entre las variables.

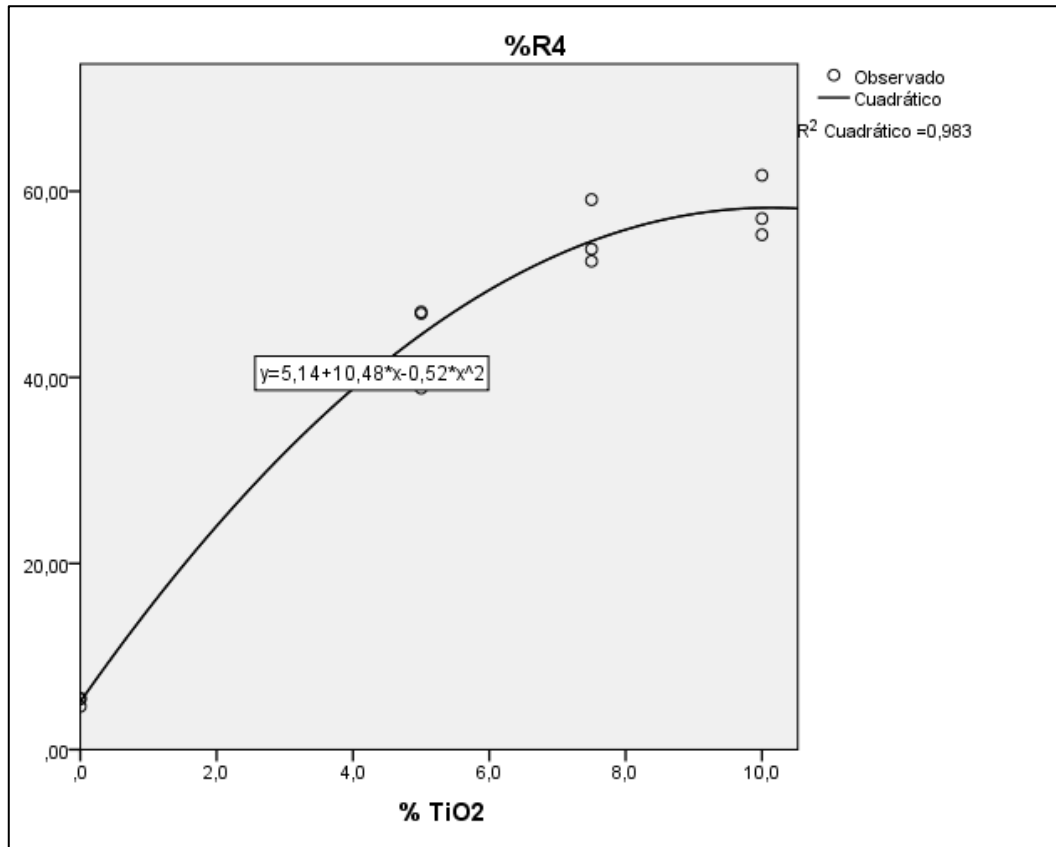


Figura 43. Regresión cuadrática del factor R4

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La ecuación de la regresión cuadrática es  $y = 5.139 + 10.476x - 0.517x^2$  . Entre el 0% y 10% de contenido de  $TiO_2$  en la mezcla de mortero existe un incremento del factor de fotodegradación de color R4.

- **Regresión cuadrática para el factor de fotodegradación de color R26**

Tabla 89. Coeficiente de la ecuación del factor R26

<b>Coeficientes</b>					
	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
TRATAMIENTO	19,041	,846	2,086	22,510	,000
TRATAMIENTO ** 2	-1,095	,084	-1,211	-13,070	,000
(Constante)	6,728	1,848		3,641	,005

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

$$y = a + bx + cx^2$$

y= Factor de fotodegradación R4 (%)

x= Porcentaje de TiO2 en el mortero

$$y = 6.728 + 19.041x - 1.095x^2$$

Tabla 90. Suma de cuadrados del modelo del factor R26

<b>ANOVA</b>					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	13572,621	2	6786,311	656,400	,000
Residuo	93,048	9	10,339		
Total	13665,669	11			

La variable independiente es TRATAMIENTO.

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

Tabla 91. Resumen del modelo del factor R26

<b>Resumen del modelo</b>			
R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,997	,993	,992	3,215

La variable independiente es TRATAMIENTO.

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)



El coeficiente de determinación  $R^2$  del modelo del factor de fotodegradación R26 es 0.993, el modelo es casi perfecto. El porcentaje de TiO<sub>2</sub> influye en el 99.3% en el factor R26. Asimismo, el valor  $R = 0.997$  demostrando que existe un alto grado de correlación entre las variables.

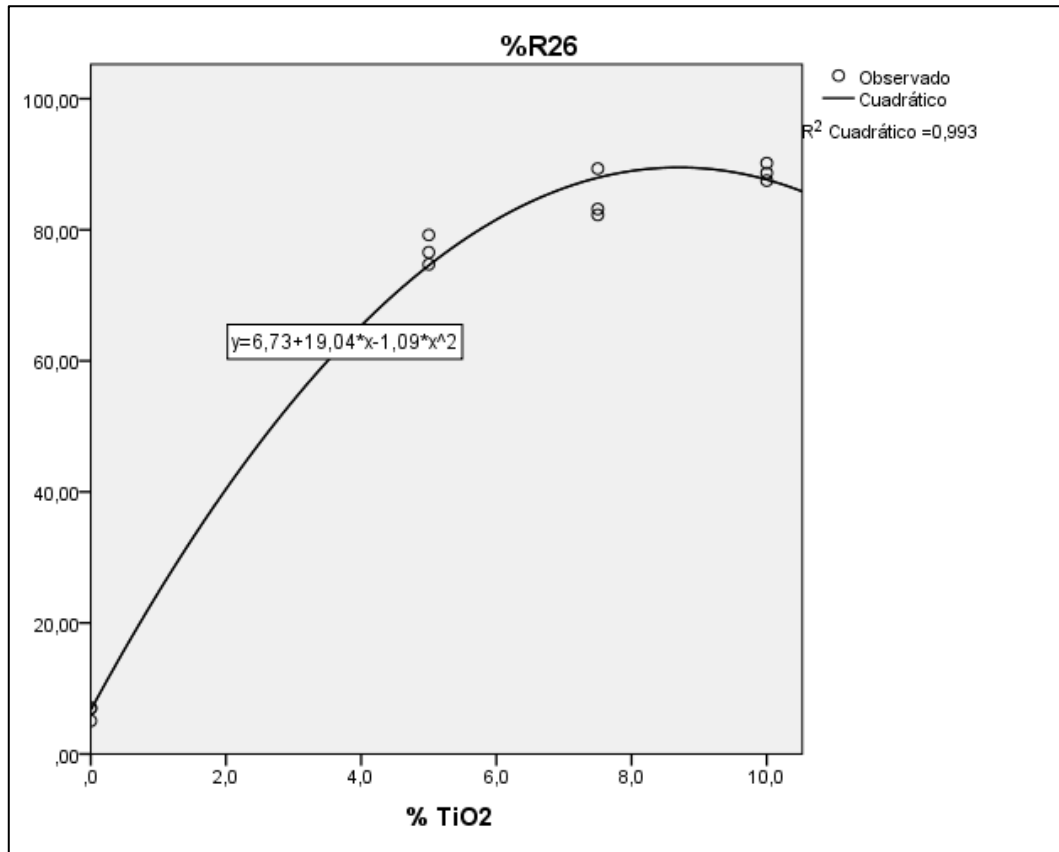


Figura 44. Regresión cuadrática del factor R26

Fuente: Elaboración propia (SPSS V23)

La ecuación de regresión cuadrática es  $y = 6.728 + 19.041x - 1.095x^2$ . Entre el 0% y 10% de TiO<sub>2</sub> existe un incremento del factor R26.

Finalmente, la variable independiente porcentaje de TiO<sub>2</sub> presente en el mortero **aumenta** de manera significativa el porcentaje de los factores R4 y R26 lo cual determina la actividad fotocatalítica del material ya que, un  $R4 > 20\%$  y un  $R26 > 50\%$  es suficiente.

## CONCLUSIONES

1. La incorporación del 5%, 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero disminuyó el porcentaje de fluidez en 10.32%, 15.27% y 20.86% respectivamente en relación a la fluidez del mortero sin contenido de TiO<sub>2</sub> debido a que la densidad del mortero se incrementa con la adición de TiO<sub>2</sub>. El mayor porcentaje de fluidez obtenido fue 115.10 % que pertenece al mortero sin adición y el menor porcentaje fue 91.09% obtenido del mortero con 10% de TiO<sub>2</sub>. El mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> mantiene una consistencia plástica siendo adecuado para su trabajabilidad. Asimismo, las mezclas de mortero con 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub> continuaron siendo trabajable a pesar que el porcentaje de fluidez de cada uno indica que tiene una consistencia dura.
2. La adición del 5%, 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub> en el mortero disminuyó la resistencia a la compresión a la edad de 28 días en 7.16%, 11.13%, 19.49% respectivamente en relación al mortero sin TiO<sub>2</sub>, esto se debe a que el porcentaje de incorporación del fotocatalizador fue en reemplazo del volumen absoluto del cemento. La mayor resistencia a la compresión obtenida a la edad de 28 días (152.70 kg/cm<sup>2</sup>) fue del mortero sin TiO<sub>2</sub> y la menor resistencia (122.93 kg/cm<sup>2</sup>) del mortero con 10% de TiO<sub>2</sub>. Asimismo, el endurecimiento del mortero con 7.5% y 10 % de TiO<sub>2</sub> en edades tempranas fue lento a comparación del mortero sin adición. El desarrollo relativo de resistencia del mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> como un porcentaje de la resistencia a los 28 días fue parecido al del mortero sin contenido de TiO<sub>2</sub>.
3. La tasa de absorción de agua a las 24 horas de exposición del mortero con 5%, 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub> disminuyó en 11.33%, 15.78% y 18.13% respectivamente en relación al mortero sin TiO<sub>2</sub>, el resultado favorece a la durabilidad del mortero ante el intemperismo. La mayor tasa de absorción fue 140.03 gr/100cm<sup>2</sup> obtenido del mortero sin adición y la menor tasa de absorción de agua fue 114.64 gr /100cm<sup>2</sup> que pertenece al mortero con 10% de TiO<sub>2</sub>. A las 0.25 horas de exposición al agua, el mortero con TiO<sub>2</sub> absorbe en menor medida relativa como porcentaje de la tasa de absorción a las 24 horas con respecto al mortero

sin TiO<sub>2</sub>. Asimismo, las tasas de absorción a las 0.25, 1.4 y 24 horas de exposición de agua entre el mortero con 5% y 7.5% de TiO<sub>2</sub> no tienen diferencias significativas, por lo tanto la adición del 5% de TiO<sub>2</sub> producirá los mismos efectos que el 7.5% de TiO<sub>2</sub>.

4. El ensayo de rodamina dio como resultado que el único mortero sin actividad fotocatalítica fue la que no contiene TiO<sub>2</sub> debido a que no cumplió con lo estipulado en la norma UNI 11259 en los resultados de los factores de fotodegradación R4 y R26. A partir del mortero con 7.5% de TiO<sub>2</sub> el proceso de fotodegradación se desaceleró considerablemente ya que, la fotocatalisis se realiza superficialmente por lo tanto una mayor adición de TiO<sub>2</sub> es innecesaria. Asimismo, no existen diferencias significativas entre el factor R26 del mortero con 7.5% de TiO<sub>2</sub> y el mortero con 10% de TiO<sub>2</sub>.
5. El comportamiento de los paneles de mortero con 5%, 7.5% y 10% de TiO<sub>2</sub> ante el intemperismo demostró la propiedad autolimpiante que adquiere el mortero al estar adicionado con TiO<sub>2</sub> ya que, mantuvo su color inicial durante el tiempo de estudio y la absorción de agua de lluvia fue menor a comparación del panel sin contenido de TiO<sub>2</sub> al igual que el tiempo de secado comprobando su característica hidrofílica e hidrófoba.
6. El análisis de precios unitarios dio como resultado que si el acabado final de la fachada con mortero sin TiO<sub>2</sub> es expuesto su precio unitario es menor (S/. 27.66) comparándolo con los precios unitarios del mortero con adición de TiO<sub>2</sub>, siendo entre estos el más económico el mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> (S/.34.14). Sin embargo, si el acabado final de la fachada con mortero convencional es pintado, el mortero con 5% y 7.5% de TiO<sub>2</sub> son más económicos que este último.
7. Conociendo la influencia de la adición de TiO<sub>2</sub> en la mezcla de mortero tanto en las propiedades mecánicas, propiedades autolimpiantes y precio se concluyó que el porcentaje adecuado de TiO<sub>2</sub> es 5%.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas de descontaminación del aire a las muestras de mortero para medir la eficacia del material fotocatalítico ante la eliminación de COVs, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub> siguiendo los procedimientos establecidos en las normas XP B44-013 y UNI 11247.
2. Realizar un estudio de la actividad antibacteriana de las muestras de mortero con contenido de TiO<sub>2</sub> mediante el ensayo descrito en la norma JIS R 1702.
3. Para conocer el comportamiento hidrofílico e hidrofobo se recomienda realizar ensayos de humectabilidad mediante la medición del ángulo de escurrimiento y el ángulo de contacto de una gota de agua en la muestra de mortero.
4. Para calcular el porcentaje mínimo que hace que el mortero adquiera propiedades fotocatalíticas es recomendable realizar ensayos con muestras de mortero con porcentajes menores al 5% de TiO<sub>2</sub>.
5. El mortero con contenido de TiO<sub>2</sub> como revestimiento es el acabado final de la fachada, para continuar con la investigación se sugiere realizar ensayos de fotodegradación de color con muestras de mortero coloreados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, G. (2015). *“Mejora de las propiedades de materiales a base de cemento que contienen  $\text{TiO}_2$ : propiedades autolimpiantes”*. Trabajo final de Master Universitario en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Aguilar, A. (2013). *“Evaluación técnico ambiental del Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en los morteros de cemento chilenos”*. Tesis para optar el Grado de Magister en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética. Concepción, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío-Bío, Chile.
- Arto, I. (2015). *“Cementos fotocatalíticos- Reducción de contaminación-preservación de acabados de edificaciones”*. LAC-Arquitectura, Granada.
- Asociación Ibérica de Fotocatálisis (AIF) (2014). *“Materiales fotocatalíticos ¿Eficacia real en la creación de isla urbanas sostenibles?”*. Sostenibilidad y eficiencia energética. Madrid, número 1, pp. 22-26.
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto (ASOCRETO) (2010). *“Tecnología del concreto”*. Tomo 1. Bogotá, Colombia: Editorial ASOCRETO.
- ASTM C 29 (2017). *“Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate”*. USA: ASTM international.
- ASTM C 117 (2017). *“Standard Test Method for Materials Finer than  $75\text{-}\mu\text{m}$  (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing”*. USA: ASTM international.
- ASTM C 128 (2015). *“Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate”*. USA: ASTM international.

ASTM C 144 (2017). “*Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar* “. USA: ASTM international.

ASTM C 150 (2007). “*Standard Specification for Portland Cement* “. USA: ASTM international.

ASTM C 566 (2013). “*Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying* “. USA: ASTM international.

Cohen, J. (2015). “*Evaluación de propiedades fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de TiO<sub>2</sub>-xNx (Oxinitrato de Titanio)*”. Tesis para optar el Título de Magister en Ingeniería de Materiales y Procesos. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

CONAMA (2012). “*Guía práctica de fotocatalisis aplicada a la infraestructura urbana*”. Congreso Nacional del Medio Ambiente España. Consulta: 11 de Abril de 2018. < <http://www.fotocatalisis.org/assets/subcnt277.pdf> >

Ecología y Desarrollo (ECODES) (2015). “*Ciudad y transporte*”. Gobierno de España, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Consulta: 17 de Abril de 2018. <http://www.ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176118/Las-causas-de-la-contaminacion-atmosferica-y-los-contaminantes-atmosfericos-mas-importantes>

Fiol, F. (2014). “*Manual de patología y rehabilitación de edificios*”. Burgos: Universidad de Burgos.

Jimenez, D. (2016). “*Efecto del reemplazo de cemento portland por el dióxido de titanio en las propiedades mecánicas del mortero*”. Tesis para optar el Grado de ingeniero civil, Pontificie Universidad Javeriana, Colombia.

- León, F. (1990). *“Ensuciamiento de fachadas pétreas por la contaminación atmosférica. El caso de la ciudad de Valladolid, España”*. Informes de la Construcción. Vol. 41 n° 405. Madrid: CSIC.
- Lisbona, L. (2016). *“Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en la construcción”*. Tesis para optar el Grado de Magister en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética. Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Maury, A. y De Belie N. (2010). *“Estado del arte de los materiales a base de cemento que contienen TiO<sub>2</sub>: propiedades auto-limpiantes”*. Materiales de Construcción. Vol 60, 298, 33-50. Madrid: CSIC.
- Medina, E. (2017). *“Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento-arena 1:4-Cajamarca”*. Tesis para optar el Grado de ingeniero civil, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2013). *“Aire limpio para todos”*. Consulta: 3 de junio de 2018. <https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjYveeTyKbQAhWI6CYKHQqrDzwQFgg4MAU&url=http%3A%2F%2F190.119.239.199%2Fsiarpuno%2FadmDocumento.php%3Faccion%3Dbajar%26docadjunto%3D430&usg=AFQjCNFCoBTkTlimLI4XPZkbhXnlvwwl4g>
- NTP 334.001 (2016). *“CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura”*. 3ra edición. Lima: INACAL.
- NTP 334.009 (2016). *“CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos”*. Lima: INACAL.
- NTP 334.009 (2016). *“CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos”*. Lima: INACAL.

- NTP 334.051 (2013). “*Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Pórtland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado*”. Lima: INACAL.
- NTP 334.057 (2016). “*Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland*”. Lima: INACAL.
- NTP 339.088 (2014). “*CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos*”. Lima: INACAL.
- NTP 339.185 (2018). “*AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*”. 2da edición. Lima: INACAL.
- NTP 399.607 (2013). “*UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Especificación normalizada de agregados para mortero de albañilería*”. Lima: INACAL.
- NTP 399.631 (2015). “*Método de ensayo normalizado para la tasa de absorción del agua de morteros de albañilería*”. Lima: INACAL.
- NTP 400.011 (2018). “*AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)*”. 2da edición. Lima: INACAL.
- NTP 400.017 (2016). “*AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad y los vacíos en los agregados*”. 3ra edición. Lima: INACAL.
- NTP 400.018 (2013). “*AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu$ m (N° 200) por lavado en agregados*”. Lima: INACAL.
- NTP 400.022 (2018). “*AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*”. 3ra edición. Lima: INACAL.



Organización Mundial de la Salud (OMS) (2005). “*Guías de Calidad del Aire Actualización Mundial 2005*”. Consulta: 12 de abril de 2018. [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)

Rivera, G. (2015). “*Concreto Simple*”. Popayán: Universidad del Cauca.

Sánchez de Guzmán, D. (2001). “*Tecnología del concreto y mortero*”. Bogotá, Colombia: Editorial BHANDAR EDITORES LTDA.

TX Active (2014). “*Principio Activo Fotocatalítico*”. Italcementi Group. Consulta: 20 de abril de 2018. [http://www.fym.es/NR/rdonlyres/F3EA7D1A-EED0-499E-B9F096D16814C735/0/Productos\\_DossierTXActive.pdf](http://www.fym.es/NR/rdonlyres/F3EA7D1A-EED0-499E-B9F096D16814C735/0/Productos_DossierTXActive.pdf)

UNI 11259 (2008) “*Determinazione dell’attività fotocatalitica di liganti idraulici. Metodo della rodamina*”. Italia: UNI.

## **ANEXO**

**Anexo 1. Matriz de consistencia**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			
			VARIABLES	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTOS
<p>Problema</p> <p>¿De qué manera la adición de dióxido de titanio influye en el comportamiento del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar la influencia de la adición del dióxido de titanio en el mortero de cemento Pórtland Tipo I para mejorar su comportamiento en Lima Metropolitana.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>Al adicionar el dióxido de titanio en el mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas mejora su comportamiento en Lima Metropolitana.</p>	<p>V.INDEPENDIENTE</p> <p>ADICIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO</p>	<p>DISEÑO DE MEZCLA</p>	<p>- Recopilar información relacionada al tema de investigación. copilar información relacionada al tema de investigación.</p>	<p>- Tesis, fuentes documentales, libros, revistas y fichas técnicas.</p>
				<p>PORCENTAJE DE DIÓXIDO DE TITANIO</p>	<p>- Realizar distintas mezclas de morteros de cemento Pórtland Tipo I con diferentes porcentajes de dióxido de titanio.</p> <p>- Evaluar el comportamiento del dióxido de titanio en la mezcla.</p>	<p>- Equipos de Laboratorio de Ensayo de Materiales.</p>

<p>Problemas Específicos</p> <p>¿De qué manera el diseño de mezcla usando dióxido de titanio influye en las propiedades mecánicas del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana?</p> <p>¿De qué manera un mayor porcentaje de dióxido de titanio influye en las propiedades autolimpiantes del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar diseños de mezcla con distintos porcentajes de dióxido de titanio para definir su influencia en las propiedades mecánicas del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana.</p> <p>Determinar los porcentajes de dióxido de titanio para optimizar las propiedades autolimpiantes del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>Al diseñar mezclas con distintos porcentajes de dióxido de titanio mejora las propiedades mecánicas del mortero de cemento Pórtland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana.</p> <p>Al determinar el porcentaje adecuado de dióxido se optimiza las propiedades autolimpiantes del mortero de cemento Portland Tipo I para fachadas en Lima Metropolitana.</p>	<p>V.DEPENDIENTE</p> <p>COMPORTAMIENTO DEL MORTERO</p>	<p>PROPIEDADES MECÁNICAS</p> <p>PROPIEDADES AUTOLIMPIANTES</p>	<p>-Ensayo de fluidez. -Ensayo de absorción. -Ensayo de resistencia a la compresión. -Realizar cuadros y gráficos de los resultados.</p> <p>-Ensayo rodamina. -Intemperismo.</p>	<p>- NTP 334.057 - NTP 399.631 - NTP 334.051 - Software Excel</p> <p>- UNI 11259 - Seguimiento continuo documentado.</p>
---	--	---	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia