

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

#### TESIS

Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento - arena 1:4 -  
Cajamarca

Tesis para optar

#### EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Bachiller: Emmy Carol Medina Salazar

Asesor: Mg. Ing. Héctor Albarino Pérez Loayza

CAJAMARCA – PERÚ

2017

Dedico este trabajo a Dios por guiar cada uno de mis pasos y nunca olvidarse de mí; a mi papá Renato y a mi mamá Socorro, por la educación y los valores que me inculcaron; a mis tías Doris y Magdalena por ser una madre más para mí; a mi esposo Manuel por su amor y apoyo; a mi hijito Luka que es mi motivación; al M. en Ing. Héctor Pérez por compartirme sus conocimientos para realizar éste propósito.

Carol Medina S.

## **AGRADECIMIENTO**

Antes que nada, agradecer a Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecerme e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este tiempo de estudio.

Agradecer hoy y siempre a mi familia, en especial a mis padres Renato y Socorro, gracias por el apoyo que me han dado siempre, por la educación que me dieron, por aconsejarme y guiarme a un buen camino. A mis hermanas, las quiero mucho. A mi esposo Manuel por el amor que nos une, por su apoyo, comprensión y paciencia que me ha brindado estos años. A mi gran motivación, mi hijito Luka que me da las fuerzas para seguir adelante y no dejarme vencer.

Quisiera también mostrar mi más sincera gratitud a la Universidad Nacional de Cajamarca y a los docentes que formaron mi carrera profesional. De manera especial al M. en Ing. Héctor Pérez Loayza, asesor de esta tesis, por la ayuda y el interés prestado, quien con su experiencia profesional guió la elaboración de este trabajo.

En general agradezco a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis, con sus altos y bajos; a mi amiga Rocío por su amistad y apoyo, gracias a todos por haberme brindado apoyo, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

Carol Medina S.

El objetivo principal de la educación es crear personas capaces de hacer cosas nuevas y no simplemente repetir lo que otras generaciones hicieron.

Jean Piaget

# ÍNDICE

Título:

**“Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento – arena 1:4 – Cajamarca”**

	Página
ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	vi
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vi
SUMMARY.....	vii
RESUMEN.....	viii
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Problema de investigación.....</b>	<b>1</b>
1.1.1. Contextualización.....	1
1.1.2. Descripción del problema.....	1
1.1.3. Formulación del problema.....	2
<b>1.2. Justificación e importancia.....</b>	<b>3</b>
1.2.1. Justificación científica.....	3
1.2.2. Justificación técnica - práctica.....	3
1.2.3. Justificación institucional y personal.....	3
<b>1.3. Delimitación de la investigación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Limitaciones.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. Objetivos.....</b>	<b>4</b>
1.5.1. Objetivo general.....	4
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Marco referencial.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Marco doctrinal.....</b>	<b>6</b>
2.2.1. Fotocatálisis.....	6
2.2.2. Fotocatálisis heterogénea.....	7
2.2.3. Fotocatalizador.....	7
2.2.4. Dióxido de titanio $TiO_2$ .....	8
2.2.5. Fotocatálisis con dióxido de titanio ( $TiO_2$ ).....	9
2.2.6. Parámetros que influyen en el proceso de fotocatálisis con $TiO_2$ .....	10
2.2.7. Aplicación de $TiO_2$ como fotocatalizador en materiales de construcción.....	10
2.2.8. El sistema cemento - $TiO_2$ .....	11
2.2.9. Contaminación del aire.....	12
2.2.10. Descontaminación del aire.....	12
2.2.11. Autolimpieza.....	13
2.2.12. Durabilidad de materiales fotocatalíticos.....	13
2.2.13. Materiales con capacidad auto-limpiable.....	14
2.2.14. Lámparas de luz ultravioleta (UV).....	15
2.2.15. Rodamina B.....	15
2.2.16. Limitaciones del mortero fotocatalítico.....	15
2.2.17. Normativa existente.....	16
2.2.18. Proyecto PICADA.....	17

2.2.19. Mortero .....	18
2.2.20. Mortero de cemento – arena .....	18
2.2.21. Aplicaciones del mortero .....	19
2.2.22. Propiedades del mortero .....	19
2.2.22.1. Trabajabilidad .....	19
2.2.22.2. Ensayo de consistencia .....	20
2.2.22.3. Resistencia a la compresión .....	20
2.2.22.4. Ensayo de absorción .....	21
2.2.23. Cemento.....	21
2.2.23.1. Cemento Portland .....	21
2.2.23.2. Cemento Blanco .....	22
2.2.24. Agua .....	23
2.2.25. Agregado para mortero .....	24
<b>2.3. Marco Conceptual.....</b>	<b>24</b>
2.3.1. Estudio de las características físicas de los agregados para mortero .....	24
2.3.2. Granulometría.....	24
2.3.3. Módulo de finura .....	25
2.3.4. Peso específico y absorción.....	26
2.3.5. Contenido de humedad.....	27
2.3.6. Determinación del material que pasa la malla N° 200.....	28
2.3.7. Cemento.....	28
2.3.8. Agua utilizada .....	29
2.3.9. UNI 11259 .....	29
<b>CAPITULO III: PLANTEAMIENTO DE LA (S) HIPÓTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Hipótesis.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. Variables/Categorías.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPITULO IV: MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1. Ubicación.....</b>	<b>32</b>
4.1.1. Geología.....	32
<b>4.2. Diseño de la investigación.....</b>	<b>32</b>
<b>4.3. Método y tipo de investigación.....</b>	<b>33</b>
<b>4.4. Diseño del experimento.....</b>	<b>33</b>
<b>4.5. Población, muestra y unidad de análisis.....</b>	<b>34</b>
<b>4.6. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....</b>	<b>34</b>
<b>4.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de información.....</b>	<b>35</b>
<b>4.8. Equipos, materiales e insumos.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
<b>5.1. Análisis de los resultados de la prueba de absorción en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:4 .....</b>	<b>36</b>
5.1.1. Resumen de los promedios de cada tratamiento realizado .....	36
5.1.2. Análisis estadístico del ensayo de absorción .....	37
<b>5.2. Análisis de los resultados de la prueba de resistencia a la compresión en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:4 a la edad de 28 días .....</b>	<b>42</b>
5.2.1. Resumen de los promedios de cada tratamiento realizado .....	42
5.2.2. Análisis estadístico de resistencia a la compresión a la edad de 28 días .....	43
<b>5.3. Análisis de los resultados de la prueba de fluidez de mortero cemento arena 1:4 para los diferentes tratamientos realizados .....</b>	<b>48</b>
5.3.1. Resumen de los promedios de cada tratamiento realizado .....	48
5.3.2. Análisis estadístico de la prueba de fluidez .....	49
<b>5.4. Análisis de los resultados de la prueba de Rodamina (UNI 11259) – materiales fotocatalíticos .....</b>	<b>53</b>

5.4.1. Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 0 horas .....	54
5.4.1.1. Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=0h) .....	54
5.4.2. Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a la 1 hora .....	55
5.4.2.1. Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=1h) .....	55
5.4.3. Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 2 horas .....	56
5.4.3.1. Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=2h) .....	57
5.4.4. Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 4 horas .....	58
5.4.4.1. Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=4h) .....	58
5.4.5. Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 5 horas .....	59
5.4.5.1. Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=5h) .....	59
5.4.6. Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 10 horas .....	60
5.4.6.1. Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=10h) .....	61
5.4.7. Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 20 horas .....	62
5.4.7.1. Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=20h) .....	62
5.4.8. Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 26 horas .....	63
5.4.8.1. Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=26h) .....	63
5.4.9. Análisis estadístico de la prueba de Rodamina.....	64
5.4.9.1. Análisis estadístico de coloración al tiempo de 4 horas.....	65
5.4.9.2. Análisis estadístico de coloración al tiempo de 26 horas.....	68
5.4.10. Análisis de la coloración promedio y tiempo en horas para los distintos tratamientos de mortero con diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> .....	72
5.4.11. Análisis de mortero fotocatalítico con la prueba de Rodamina.....	74
5.4.11.1. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento sin TiO <sub>2</sub> .....	74
5.4.11.2. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 5% TiO <sub>2</sub> .....	76
5.4.11.3. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 10% TiO <sub>2</sub> .....	77
5.4.11.4. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 15% TiO <sub>2</sub> .....	78
5.4.11.5. Resumen - Análisis mortero fotocatalítico.....	79
5.4.12. Análisis económico de los morteros con dióxido de titanio .....	80
5.4.12.1. Análisis económico – mortero sin TiO <sub>2</sub> .....	81
5.4.12.2. Análisis económico – mortero con 5% TiO <sub>2</sub> .....	82
5.4.12.3. Análisis económico – mortero con 10% TiO <sub>2</sub> .....	83
5.4.12.4. Análisis económico – mortero con 15% TiO <sub>2</sub> .....	84
5.4.12.5. Resumen del análisis económico .....	85
5.4.12.6. Análisis de Inversión .....	86
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>88</b>
<b>5.1. Conclusiones</b> .....	<b>88</b>
<b>5.2. Recomendaciones</b> .....	<b>89</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>90</b>
<b>APÉNDICES</b> .....	<b>92</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>118</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Propiedades físicas del TiO <sub>2</sub> .....	8
<b>Tabla 2:</b> Relación de trabajabilidad con el agua y los granos finos .....	20
<b>Tabla 3:</b> Composición química del clínquer blanco y gris de cemento de Portland .....	23
<b>Tabla 4:</b> Límites granulométricos para el agregado para mortero de albañilería .....	25
<b>Tabla 5:</b> Clasificación de la arena por su módulo de finura .....	25
<b>Tabla 6:</b> Criterio y tipo de investigación .....	33
<b>Tabla 7:</b> Ensayo de absorción en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:4 para los diferentes tratamientos en estudio expresado en porcentaje.....	36
<b>Tabla 8:</b> Resumen de los promedios del ensayo de absorción para los diferentes tratamientos en estudio expresado en porcentaje .....	36

<b>Tabla 9:</b> Ensayo de resistencia a la compresión en especímenes rectangulares de mortero cemento arena 1:4 a la edad de 28 días para los tratamientos en estudio .....	42
<b>Tabla 10:</b> Resumen de los promedios de las resistencias a la compresión obtenidas a los 28 días para los diferentes tratamientos .....	42
<b>Tabla 11:</b> Prueba de fluidez de mortero cemento arena 1:4 para los diferentes tratamientos en estudio.....	48
<b>Tabla 12:</b> Resumen de los promedios de la prueba de fluidez de mortero cemento arena 1:4 para los diferentes tratamientos en estudio .....	48
<b>Tabla 13:</b> Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 0 horas (t=0h) .....	54
<b>Tabla 14:</b> Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=0h) .....	54
<b>Tabla 15:</b> Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a la 1 hora (t=1h) .....	55
<b>Tabla 16:</b> Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=1h) .....	55
<b>Tabla 17:</b> Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 2 horas (t=2h) .....	56
<b>Tabla 18:</b> Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=2h) .....	57
<b>Tabla 19:</b> Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 4 horas (t=4h) .....	58
<b>Tabla 20:</b> Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=4h) .....	58
<b>Tabla 21:</b> Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 5 horas (t=5h) .....	59
<b>Tabla 22:</b> Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=5h) .....	59
<b>Tabla 23:</b> Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 10 horas (t=10h) .....	60
<b>Tabla 24:</b> Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=10h) .....	61
<b>Tabla 25:</b> Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 20 horas .....	62
<b>Tabla 26:</b> Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=20h) .....	62
<b>Tabla 27:</b> Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 26 horas (t=26h) .....	63
<b>Tabla 28:</b> Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=26h) .....	63
<b>Tabla 29:</b> Coloración promedio y tiempo en horas para los distintos tratamientos .....	72
<b>Tabla 30:</b> Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para el tratamiento sin TiO <sub>2</sub> .....	75
<b>Tabla 31:</b> Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para el tratamiento con 5% TiO <sub>2</sub> .....	76
<b>Tabla 32:</b> Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para el tratamiento con 10% TiO <sub>2</sub> .....	77
<b>Tabla 33:</b> Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para el tratamiento con 15% TiO <sub>2</sub> .....	78
<b>Tabla 34:</b> Resumen de medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para todos los tratamientos con porcentajes de TiO <sub>2</sub> .....	79
<b>Tabla 35:</b> Análisis de costos unitarios de la partida tarrajeo muros exteriores e=1.5 cm, mezcla 1:4 – mortero sin TiO <sub>2</sub> .....	81
<b>Tabla 36:</b> Análisis de costos unitarios de la partida tarrajeo muros exteriores e=1.5 cm, mezcla 1:4 – mortero con 5% TiO <sub>2</sub> .....	82
<b>Tabla 37:</b> Análisis de costos unitarios de la partida tarrajeo muros exteriores e=1.5 cm, mezcla 1:4 – mortero con 10% TiO <sub>2</sub> .....	83
<b>Tabla 38:</b> Análisis de costos unitarios de la partida tarrajeo muros exteriores e=1.5 cm, mezcla 1:4 – mortero con 15% TiO <sub>2</sub> .....	84
<b>Tabla 39:</b> Resumen del análisis económico y porcentual de los tratamientos en estudio .....	85
<b>Tabla 39-A:</b> Análisis de inversión incremental – VAN y TIR .....	87
<b>Tabla 40:</b> Matriz de consistencia metodológica .....	93
<b>Tabla 41:</b> Análisis granulométrico del agregado fino.....	94
<b>Tabla 42:</b> Determinación del peso específico y absorción del agregado fino.....	96
<b>Tabla 43:</b> Determinación del contenido de humedad del agregado fino.....	97
<b>Tabla 44:</b> Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado fino .....	97
<b>Tabla 45:</b> Determinación del factor f .....	98
<b>Tabla 46:</b> Determinación del peso unitario seco suelto del agregado fino.....	98
<b>Tabla 47:</b> Resumen de propiedades del agregado fino .....	99
<b>Tabla 48:</b> Resumen de propiedades del cemento .....	99
<b>Tabla 49:</b> Resumen de propiedades del dióxido de titanio .....	99
<b>Tabla 50:</b> Proporciones en volumen y peso .....	102
<b>Tabla 51:</b> Proporciones en volumen y peso ajustados .....	104

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fotografía de los minerales Anastasa y Rulito, y en la parte inferior estructuras cristalográficas de los mismos minerales de TiO <sub>2</sub> .....	9
<b>Figura 2:</b> Fachada frontal y trasera de la iglesia Dives in Misericordia hecha con concreto fotocatalítico .....	11
<b>Figura 3:</b> Esquema de descomposición y fijación del NO <sub>x</sub> .....	12
<b>Figura 4:</b> Ecuaciones de degradación .....	12
<b>Figura 5:</b> Fotografías tomadas durante mediad del ángulo de contacto del agua en film de TiO <sub>2</sub> antes y después de irradiación UV .....	14
<b>Figura 6:</b> Aplicación de la solución de rodamina en la superficie de la muestra.....	29
<b>Figura 7:</b> Fotografía de la evolución de la degradación del color .....	30
<b>Figura 8:</b> Ensayo de absorción promedio vs % TiO <sub>2</sub> .....	37
<b>Figura 9:</b> Valores individuales de Absorción vs. Tratamientos de mortero .....	39
<b>Figura 10:</b> Gráfico de intervalos .....	40
<b>Figura 11:</b> Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero .....	40
<b>Figura 12:</b> Gráfico de caja de absorción .....	41
<b>Figura 13:</b> Histograma de absorción .....	41
<b>Figura 14:</b> Ensayo de resistencia a la compresión promedio vs % TiO <sub>2</sub> .....	43
<b>Figura 15:</b> Valores individuales de Resistencia a la Compresión vs. Tratamientos.....	45
<b>Figura 16:</b> Gráfico de intervalos de resistencia a la compresión .....	46
<b>Figura 17:</b> Gráficos de residuos para los diferentes tratamientos de mortero.....	46
<b>Figura 18:</b> Gráfico de caja de resistencia a la compresión .....	47
<b>Figura 19:</b> Histograma de resistencia a la compresión .....	47
<b>Figura 20:</b> Prueba de fluidez promedio vs % TiO <sub>2</sub> .....	49
<b>Figura 21:</b> Valores individuales de Fluidez vs. Tratamientos en Estudio.....	51
<b>Figura 22:</b> Gráfico de intervalos de fluidez .....	51
<b>Figura 23:</b> Gráficos de residuos para los diferentes tratamientos de mortero .....	52
<b>Figura 24:</b> Gráfico de caja de fluidez .....	52
<b>Figura 25:</b> Histograma de fluidez .....	53
<b>Figura 26:</b> Prueba de Rodamina – 0 Hora. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	54
<b>Figura 27:</b> Prueba de Rodamina – 1 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	56
<b>Figura 28:</b> Prueba de Rodamina – 2 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	57
<b>Figura 29:</b> Prueba de Rodamina – 4 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	58
<b>Figura 30:</b> Prueba de Rodamina – 5 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	60
<b>Figura 31:</b> Prueba de Rodamina – 10 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	61
<b>Figura 32:</b> Prueba de Rodamina – 20 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	62
<b>Figura 33:</b> Prueba de Rodamina – 26 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	64
<b>Figura 34:</b> Valores individuales de Coloración vs. Tratamientos en Estudio .....	66
<b>Figura 35:</b> Gráfico de intervalos de coloración .....	67
<b>Figura 36:</b> Gráficos de residuos para los diferentes tratamientos de mortero .....	67
<b>Figura 37:</b> Gráfico de caja de coloración .....	68
<b>Figura 38:</b> Valores individuales de Coloración vs. Tratamientos en Estudio .....	70
<b>Figura 39:</b> Gráfico de intervalos de coloración .....	71
<b>Figura 40:</b> Gráficos de residuos para los diferentes tratamientos de mortero .....	71
<b>Figura 41:</b> Gráfico de caja de coloración .....	72
<b>Figura 42:</b> Coloración promedio vs. Edad, por tratamiento con diferentes % TiO <sub>2</sub> .....	73
<b>Figura 43:</b> Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento sin TiO <sub>2</sub> .....	75
<b>Figura 44:</b> Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 5% TiO <sub>2</sub> .....	76
<b>Figura 45:</b> Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 10% TiO <sub>2</sub> .....	77
<b>Figura 46:</b> Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 15% TiO <sub>2</sub> .....	78
<b>Figura 47:</b> Resumen - Análisis de mortero fotocatalítico.....	80
<b>Figura 48:</b> Resumen - Análisis económico .....	85
<b>Figura 49:</b> Granulometría de Agregado Fino ASTM C 144 .....	95
<b>Figura 50:</b> Relación agua cemento par morteros C: A .....	101

<b>Figura 51:</b> Esfuerzo vs. Deformación Unitaria – sin TiO <sub>2</sub> .....	105
<b>Figura 52:</b> Esfuerzo vs. Deformación Unitaria – 5% TiO <sub>2</sub> .....	105
<b>Figura 53:</b> Esfuerzo vs. Deformación Unitaria – 10% TiO <sub>2</sub> .....	106
<b>Figura 54:</b> Esfuerzo vs. Deformación Unitaria – 15% TiO <sub>2</sub> .....	106

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Foto 01:</b> Cemento blanco Pastoruri Portland Tipo I .....	107
<b>Foto 02:</b> Dióxido de titanio .....	107
<b>Foto 03:</b> Granulometría de la arena con los diferentes tamices normalizados .....	107
<b>Foto 04:</b> Determinación de los pesos específicos del agregado fino .....	108
<b>Foto 05:</b> Peso unitario suelto seco del agregado fino.....	108
<b>Foto 06:</b> Moldes para probetas prismáticas cuadradas de mortero .....	109
<b>Foto 07:</b> Mezcla del mortero.....	109
<b>Foto 08:</b> Llenado de probetas de mortero en estado fresco .....	109
<b>Foto 09:</b> Desencofrado de probetas .....	110
<b>Foto 10:</b> Curado de probetas de mortero para resistencia .....	110
<b>Foto 11:</b> Colocación de probetas en el horno .....	110
<b>Foto 12:</b> Peso de probeta seca.....	110
<b>Foto 13:</b> Moldes para probetas de mortero – ensayo autolimpiable .....	111
<b>Foto 14:</b> Probetas de mortero para ensayo a compresión y autolimpiable .....	111
<b>Foto 15:</b> Probetas para ensayos de absorción.....	111
<b>Foto 16:</b> Probetas para ensayos de resistencia a la compresión.....	112
<b>Foto 17:</b> Anotación de deformaciones que sufre el espécimen de mortero.....	112
<b>Foto 18:</b> Preparado de moldes estándar para la prueba de Rodamina.....	113
<b>Foto 19:</b> Resultado de espécimen ensayado a la compresión.....	113
<b>Foto 20:</b> Mezcla de mortero para determinar la fluidez.....	114
<b>Foto 21:</b> Colocación de mezcla en cono invertido.....	114
<b>Foto 22:</b> Medición del diámetro de la mezcla.....	114
<b>Foto 23:</b> Especímenes para ensayo de Rodamina - decoloración.....	115
<b>Foto 24:</b> Aplicación de Rodamina B a especímenes de mortero.....	115
<b>Foto 25:</b> Especímenes de mortero con Rodamina B.....	116
<b>Foto 26:</b> Probetas con Rodamina B y expuestas a rayos UV t = 0 horas.....	116
<b>Foto 27:</b> Probetas con Rodamina B y expuesta a rayos UV t= 4 horas.....	117
<b>Foto 28:</b> Probetas con Rodamina B y expuesta a rayos UV t= 26 horas.....	117

## INDICE DE APÉNDICES

<b>Apéndice I:</b> Matriz de consistencia metodológica.....	101
<b>Apéndice II:</b> Cálculos y Resultados de los Análisis Granulométrico del Agregado Fino (ASTM C 136 – NTP 400.012).....	102
<b>Apéndice III:</b> Cálculos y Resultados de los Ensayos de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.....	104
<b>Apéndice IV:</b> Cálculos de los Ensayos de Humedad del Agregado Fino (ASTM C 566).....	105
<b>Apéndice V:</b> Cálculos de los Ensayos de Cantidad de Material que pasa la malla N° 200 del Agregado Fino (ASTM C 117 – NTP 400.018).....	105
<b>Apéndice VI:</b> Cálculos del Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.....	106
<b>Apéndice VII:</b> Diseño de Mezclas y Ajuste de Proporciones del Mortero 1:4.....	107
<b>Apéndice VIII:</b> Gráficas Típicas Ensayo Resistencia a la Compresión.....	113
<b>Apéndice IX:</b> Panel Fotográfico.....	115

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo I:</b> Hoja técnica del Cemento Portland Tipo I .....	119
<b>Anexo II:</b> Hoja técnica del Dióxido de Titanio .....	120
<b>Anexo III:</b> Certificado del Laboratorio de Mecánica de Suelos.....	121
<b>Anexo IV:</b> Constancia del Laboratorio de Ensayo de Materiales .....	122

## SUMMARY

This study had as objective determine the influence of photocatalyst titanium dioxide in the Self-cleaning and mechanical properties of the cement - sand mortar 1: 4 in the city of Cajamarca. For this was employed aggregates of the quarry La Collpa and the water of the city of Cajamarca, with which were developed four treatments of mortar with the same proportion of materials by weight 1:3.57/31.45 lts/bag, but with different percentages of photocatalyst titanium dioxide, such treatments were: Mortar without TiO<sub>2</sub>, mortar with 5%, 10% and 15% TiO<sub>2</sub>. Of these four treatments of mortar, the following variables were studied: (a) Absorption. (b) Compressive strength (c) Fluidity (d) Self-cleaning property (e) Cost per m<sup>2</sup> of mortar. Thus, it was concluded that the incorporation of titanium dioxide on the mortar treatments under study decreased the percentage of absorption, compressive strength and percentage of fluidity as the percentages of TiO<sub>2</sub> were increased; that the incorporation of titanium dioxide on the mortar treatments under study increased discoloration in the Rhodamine test as the percentages of TiO<sub>2</sub> were increased. Also, test Rhodamine gave the result that the only treatment that is not photocatalytic and self-cleaning is treatment without TiO<sub>2</sub> because it didn't satisfy the minimum values stipulated for R4 and R26; contrasting with the rest of the treatment, if they were photocatalytic and self-cleaning because they obtained higher values than those stipulated for R4 and R26. Finally, using studies on absorption, compressive strength, fluidity, Rhodamine - discoloration and price, it was concluded that the optimal treatment for the execution is the treatment with 5% TiO<sub>2</sub> because it is a mortar that substantially doesn't modify the physical properties of the mortar, is photocatalytic and self-cleaning and the price of manufacture is not very high, increasing only by 32.97% with respect to treatment without TiO<sub>2</sub>.

Keywords: Titanium Dioxide, Self-cleaning, photocatalyst, physical property, mortar

## RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo determinar la influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento – arena 1:4 de la ciudad de Cajamarca. Para esto se empleó los agregados de la cantera La Collpa y el agua de la ciudad de Cajamarca, con los cuales se elaboraron cuatro tratamientos de mortero con una misma proporción de materiales en peso 1:3.57/31.45 lts/bolsa, pero con diferentes porcentajes del fotocatalizador dióxido de titanio, dichos tratamientos fueron: Mortero sin  $\text{TiO}_2$ , Mortero con 5%, 10% y 15% de  $\text{TiO}_2$ . De estos cuatro tratamientos de mortero se estudiaron las siguientes variables (a) Absorción. (b) Resistencia a la compresión (c) Fluidez (d) Propiedad Autolimpiable (e) Costo por  $\text{m}^2$  de mortero. Así se concluyó que la incorporación de dióxido de titanio sobre los tratamientos de mortero en estudio disminuyó el porcentaje de absorción, resistencia a la compresión y porcentaje de fluidez conforme se aumentó los porcentajes de  $\text{TiO}_2$ ; que la incorporación de dióxido de titanio sobre los tratamientos de mortero en estudio aumentó la decoloración en la prueba de Rodamina conforme se aumentó los porcentajes de  $\text{TiO}_2$ . Además, la prueba de Rodamina nos dio como resultado que el único tratamiento que no fue fotocatalítico y autolimpiable fue el tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  debido a que no cumplió con los valores mínimos estipulados para R4 y R26; contrastando con el resto de tratamiento que si fueron fotocatalíticos y autolimpiables pues obtuvieron valores mayores a los estipulados para R4 y R26. Finalmente utilizando los estudios realizados a la absorción, resistencia a la compresión, fluidez, prueba de Rodamina – decoloración y precio se concluyó que el tratamiento óptimo para la ejecución es el tratamiento con 5%  $\text{TiO}_2$  pues es un mortero que no modifica sustancialmente las propiedades físicas del mortero, es fotocatalítico y autolimpiable y el precio de fabricación no es muy elevado, aumentando solo en un 32.97% con respecto al tratamiento sin  $\text{TiO}_2$ .

Palabras Clave: Dióxido de Titanio, Autolimpiable, Fotocatalizador, Propiedad física, Mortero.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Problema de investigación

#### 1.1.1 Contextualización

En nuestro país los materiales fotocatalíticos han estado presentes de forma imperceptible en pastas dentales, pinturas, lentes antinieblas, por citar ciertos ejemplos; pero como aditivo constructivo se introducen a fines del año 2014, en un mercado restringido. El uso de los aditivos fotocatalíticos son productos que hoy en día son muy utilizados en todo el mundo y con constante expansión, debido a su capacidad para brindar la capacidad autolimpiable, fotocatalítica y de ayudar con el medioambiente debido a su capacidad descontaminante, además de ser materiales económicos a largo plazo y durables.

Con el pasar del tiempo, los avances tecnológicos y el incremento demográfico, en nuestro país y en el mundo nos hemos visto en la necesidad de realizar obras civiles de alta calidad, usando nueva tecnología y generando nuevas propiedades, para lo cual se ha hecho muy difundido el uso de aditivos, los cuales modifican y mejoran ciertas propiedades de ciertos productos como los morteros; en este caso, la propiedad estudiada es la propiedad autolimpiable.

Desarrollaremos pues, el efecto del fotocatalizador dióxido de titanio sobre las propiedades mecánicas del mortero 1:4 y la propiedad autolimpiable, con el fin de encontrar estructuras que ayuden a conservar el medio ambiente y disminuir los costos de conservación de las mismas.

#### 1.1.2 Descripción del problema

“Actualmente, la construcción sustentable está tomando una importancia relevante, ya que es atractivo un proyecto en la cual existe un ahorro en consumo de energía, o instalaciones de energías renovables, o un sistema de manejo de residuos, es

decir todo como un producto terminado. Pero hasta el momento nadie se preocupa de la etapa de construcción en donde se genera una gran cantidad de desechos, ni tampoco en la fabricación y obtención de los materiales, la que en algunos casos pueden generar una gran cantidad de contaminación y daño ecológico”. (Aguilar Bazignan, A, 2013)

De manera permanente notamos que los fabricantes se esfuerzan en la elaboración de aditivos que permitan alargar la vida útil de los materiales, realizando considerables inversiones para mejorar sus características y uno de estos materiales es precisamente el cemento y sus derivados, y los que estamos inmersos en la construcción conocemos que en el proceso de producción o fabricación tales materiales, los problemas ambientales derivan de dos factores: de la gran cantidad de materiales pulverulentos que se emplean y del gran consumo de energía necesario para alcanzar el producto adecuado. Los efectos medioambientales de los procesos de fabricación de materiales se traducen, pues, en emisiones a la atmósfera de CO<sub>2</sub>, polvo en suspensión, ruidos y vibraciones, vertidos líquidos al agua, residuos y el exceso de consumo energético. (Arenas Cabello, F. 2012)

Para que el impacto ambiental sea menor y sustentable, se está trabajando en diversas soluciones como en la nanotecnología (micro partículas), lo que permite mejorar sus propiedades y que no dañe el medio ambiente. La introducción del Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) convierte al mortero en un material fotocatalítico, con propiedades autolimpiables, que reducen los contaminantes de aire y bacterias que han penetrado en sus poros. (Aguilar Bazignan, A, 2013)

Usualmente, en la elaboración de morteros para la construcción civil no se utiliza, la adición de aditivos fotocatalizadores como el Dióxido de Titanio debido a tres causas principales: (a) al desconocimiento de su influencia en las propiedades del mortero, entre ellas, su autolimpieza y el retraso del envejecimiento de la superficie del mismo, (b) que se desconoce los porcentajes de este aditivo a utilizar para obtener variaciones en sus propiedades y (c) no se tiene confianza en la utilización de este aditivo por ser tecnología nueva y no tener la información necesaria sobre sus funciones.

### **1.1.3 Formulación del problema**

¿Cuál es la influencia de la utilización del fotocatalizador Dióxido de Titanio sobre las propiedades autolimpiables y propiedades mecánicas de los morteros de cemento – arena 1:4 de la ciudad de Cajamarca?

## **1.2 Justificación e importancia**

### **1.2.1. Justificación científica**

Existen limitadas investigaciones locales y nacionales referentes a la influencia de la utilización del fotocatalizador Dióxido de Titanio y sus efectos sobre la capacidad autolimpiable del mortero, y si es que existe influencia en sus propiedades, así como si es conveniente económicamente o no.

### **1.2.2. Justificación técnica-práctica**

En Cajamarca, se prepara diariamente una importante cantidad de mortero cemento arena para la construcción, existiendo la necesidad que este mortero preste buen desempeño en obra y con ayuda del fotocatalizador dióxido de titanio los costos de mantenimiento serían mucho menores, además el mortero obtendría una función nueva, ser sostenible para el medio ambiente; así utilizamos en forma eficiente los recursos de la construcción, lo cual, no estaría ocurriendo debido al desconocimiento de la influencia del fotocatalizador dióxido de titanio.

### **1.2.3. Justificación institucional y personal**

Ésta investigación se realizó con el fin de buscar innovaciones en el campo de la construcción. La Universidad Nacional de Cajamarca es la institución llamada a realizar investigaciones que permitan el desarrollo, no solo de nuestra ciudad, sino del Perú y el mundo.

## **1.3 Delimitación de la investigación**

La investigación se ha realizado usando los agregados provenientes de la cantera “La Colpa”, una cantera representativa de las canteras de cerro del valle de Cajamarca. Por lo que los resultados son aplicables para dichas canteras. La investigación se ha realizado durante el año 2016, por lo que la información obtenida de las Normas Técnicas Peruanas, ASTM ó recomendaciones ACI, pueden variar respecto a los próximos años, ya que están sujetas a actualizaciones constantes. Asimismo, las

características de los agregados de cerro pueden cambiar a través del tiempo. La presente investigación se limitará a determinar las propiedades mecánicas y la propiedad autolimpiable de los morteros cemento arena 1:4 con agregados de la cantera La Colpa y realizados en la ciudad de Cajamarca con adición del fotocatalizador dióxido de titanio.

#### **1.4 Limitaciones**

No existió limitación alguna para la ejecución de la presente investigación.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo general**

Determinar la influencia del fotocatalizador Dióxido de Titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento – arena 1:4 de la ciudad de Cajamarca y en la variación de los costos de su elaboración.

##### **1.5.2 Objetivos específicos**

Determinar la influencia del aditivo fotocatalizador dióxido de titanio sobre las propiedades mecánicas del mortero cemento – arena 1:4 de la ciudad de Cajamarca.

Determinar la influencia del aditivo fotocatalizador dióxido de titanio sobre la propiedad autolimpiable del mortero de cemento – arena 1:4 de la ciudad de Cajamarca.

Estimar la variación de los costos de elaboración de morteros cemento – arena 1:4 de la ciudad de Cajamarca con diferentes porcentajes de dióxido de titanio.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación o marco referencial

La primera adición de dióxido de titanio como aditivo fotocatalizador a morteros de cemento o concretos fue registrada en 1997, obteniéndose su patente en el año 2000; al mismo tiempo a principios del siglo se ensayó la incorporación de diversos fotocatalizadores para adherir una nueva propiedad, la autolimpiable. En ese entonces, se comenzaron a añadir pequeñas cantidades de dióxido de titanio para obtener un efecto similar al de las gafas fotocatalíticas que proporcionan efectos autolimpiables y anti nieblas (propiedades humectantes).

En Perú los aditivos fotocatalíticos se introducen a fines del año 2014, en un mercado restringido. El uso de los aditivos fotocatalíticos, que son productos que hoy en día son muy utilizados en todo el mundo y con constante expansión, se debe a su capacidad para brindar la capacidad autolimpiable y de ser beneficiosos para el medioambiente, con lo que se busca obtener morteros resistentes, de coste no muy elevado, durables y beneficiosos para el medio ambiente.

Con el pasar del tiempo, los avances tecnológicos, el incremento demográfico y la búsqueda de sostenibilidad en nuestro país y en el mundo, se han visto en la necesidad de realizar obras civiles que sean de buena calidad, usando nueva tecnología y brindando nuevas propiedades, para lo cual se ha hecho muy difundido el uso de aditivos, los cuales modifican y mejoran ciertas propiedades.

Aguilar Bazignan, Ana María Marcela en su tesis magistral titulada: “Evaluación técnico ambiental del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en los morteros de cemento chilenos”, Universidad del Bio-Bio Facultad de Arquitectura, construcción y diseño, Concepción, 2013, concluyo: “Al aumentar la cantidad en peso de TiO<sub>2</sub>, se muestra un mortero más seco, menos trabajable, lo que se recomienda el uso de plastificantes para mejorar la mezcla. Con respecto a las propiedades mecánicas, no cambia mucho sus valores, a que no mejora ni baja sus cualidades.” (Aguilar Bazignan, A, 2013).

Cárdenas Ramírez, Carolina en su tesis magistral titulada: “Evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de dióxido de titanio” - Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2012, concluyo: “Mediante la degradación del colorante orgánico Rodamina B y la degradación de los óxidos de nitrógeno (NOx) se demostró que todas las pastas de cemento que contenían nanopartículas de dióxido de titanio exhibían propiedades fotocatalíticas, sin importar el tipo de fase cristalina presente o el porcentaje total adicionado”. (Cárdenas Ramírez, C. 2012).

A nivel nacional y local las investigaciones sobre el uso del aditivo fotocatalizador Dióxido de Titanio:

Vásquez Espinoza, Manuel Alexander André en su tesis magistral titulada: “Influencia del fotocatalizador Dióxido de Titanio sobre la propiedad autolimpiable del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ” Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, 2016, concluyó: Utilizando los estudios realizados tanto a la resistencia a la compresión y prueba de Rodamina – decoloración y análisis económico concluimos que, el tratamiento óptimo para la ejecución real es el tratamiento que ésta entre los rangos de 3%  $\text{TiO}_2$  – 6%  $\text{TiO}_2$  pues un concreto que estadísticamente pertenece al mismo grupo que el concreto solicitado en cuanto a la resistencia a la compresión; es fotocatalítico y autolimpiable, y el precio de fabricación no es muy elevado” (Vásquez Espinoza, M. 2016)

## **2.2 Marco doctrinal de las teorías particulares en el campo de la ciencia en la que se ubica el objeto de estudio (Bases teóricas)**

### **2.2.1 Fotocatálisis**

“Cuando se habla de fotocatálisis se hace referencia a una reacción catalítica que involucra la absorción de luz por parte de un catalizador o sustrato”. (Orozco Caballero, A. 2011)

La catálisis es uno de los procesos químicos más estudiados a nivel mundo, en donde se busca aumentar o disminuir la velocidad de una reacción mediante la incorporación de un agente llamado catalizador. Existen dos tipos de catálisis, la homogénea y la heterogénea. A su vez, dentro de los tipos de catálisis heterogénea se

encuentra la llamada fotocatalisis, es decir una catalisis que necesita de un fotón. La fotocatalisis ayuda a degradar los compuestos nocivos para el medio ambiente asociados al calentamiento global, como lo son las altas concentraciones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera, la lluvia ácida debida a los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) de la combustión de combustibles fósiles (Cárdenas Ramírez, C. 2012).

### **2.2.2 Fotocatálisis heterogénea**

El proceso fotocatalítico heterogéneo está basado en la excitación de un sólido catalítico, normalmente un semiconductor de banda ancha como el  $\text{TiO}_2$ , mediante la absorción de luz de distintas longitudes de onda. (Adán Delgado, C. 2008)

Para que existan las reacciones de fotocatalisis heterogénea deben estar presentes tres componentes (Siñeriz Martínez, M. 2015):

1. Un fotón emitido de cierta longitud de onda específica.
2. Una superficie catalítica, usualmente un material semiconductor.
3. Un agente fuertemente oxidante, generalmente es oxígeno.

Los procesos de fotocatalisis heterogénea inician cuando un fotón de energía igual o mayor que la energía de la banda prohibida del fotocatalizador (semiconductor) alcanza la superficie del mismo, resultando en una excitación molecular.

### **2.2.3 Fotocatalizador**

“Un fotocatalizador como bien define su nombre, funciona de igual manera que un catalizador, pero solamente cuando este recibe “luz” en forma de radiación ya sea visible o no, pudiendo ser solar o artificial de una determinada longitud de onda que provoca su activación de manera que se exciten sus partículas produciendo el efecto catalizador. Esta cualidad la presentan principalmente los materiales semiconductores pero no todos tienen la misma efectividad como fotocatalizadores” (Rodríguez García, J. 2012)

El fotocatalizador más comúnmente utilizado es el dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y productos derivados de él. El fotocatalizador destruye los  $\text{NO}_x$  y produce lo siguiente: El contaminante se absorbe en la superficie del material, el contaminante absorbido es oxidado a un compuesto inerte, los nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y finalmente el compuesto inerte es

eliminado de la superficie del material por efecto de la lluvia. (Elkoro Ugarteburu, A. 2013).

#### 2.2.4 Dióxido de titanio - TiO<sub>2</sub>

En la naturaleza el titanio es muy abundante, sin embargo, no se encuentra en estado puro sino en forma de óxidos, como por ejemplo el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y la ilmenita (FeO.TiO<sub>2</sub>). Dentro del dióxido de titanio se conocen tres modificaciones cristalinas: rutilo, anatasa y brookita. Las tres se encuentran en la naturaleza, siendo el rutilo la más común. En el rutilo, el titanio está coordinado en forma octaédrica, mientras que en la anatasa y la brookita los átomos de titanio se organizan con octaedros muy distorsionados de átomos de oxígeno alrededor, dos de ellos relativamente cerca. Estudios termoquímicos han demostrado que la anatasa es de 2 kcal a 3 kcal más estable que el rutilo, haciendo de esta forma la más estable del TiO<sub>2</sub>. (Rodríguez García, J. 2012)

Bajo el nombre de blanco de titanio, el óxido tiene aplicación comercial como pigmento blanco. Las formas que se encuentran en la naturaleza son generalmente coloreadas, incluso negras, debido a la presencia de impurezas como por ejemplo hierro (Ramírez Arias, Y. 2013)

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las propiedades físicas generales de las fases del óxido de titanio.

<b>PROPIEDAD</b>	<b>RUTILO</b>	<b>ANATASA</b>	<b>BROOKITA</b>
Peso Molecular [g/mol]	79.89	79.89	79.89
Sistema Cristalino	Tetragonal	Tetragonal	Ortorrómico
Volumen	62.07	136.25	257.38
Volumen molar [m <sup>3</sup> /mol]	18693	20156	19377
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	42743	3895	4123

Tabla 1: Propiedades físicas del TiO<sub>2</sub> (Rodríguez García, J. 2012)

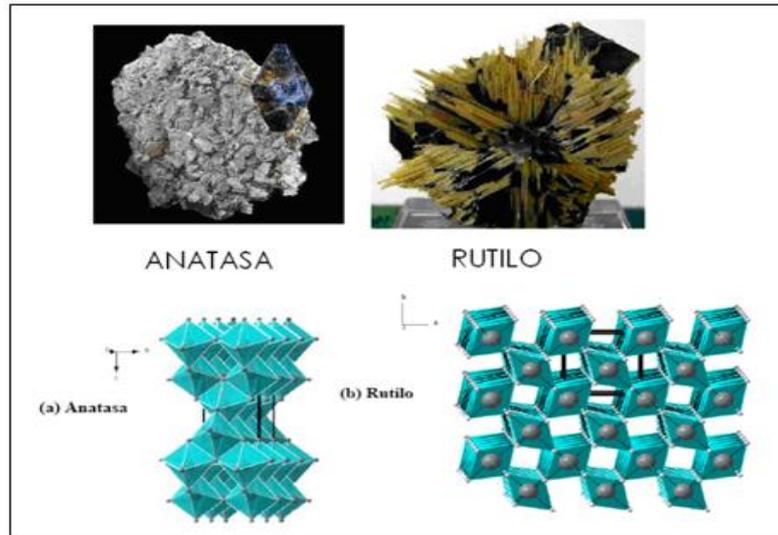


Figura 1: Fotografía de los minerales Anatasa y Rutilo, y en la parte inferior estructuras cristalográficas de los mismos minerales de  $\text{TiO}_2$   
(Rodríguez García, J. 2012)

El dióxido de titanio es el fotocatalizador más utilizados en la actualidad por sus buenas características para prácticamente todas las aplicaciones de la fotocatalisis y por su bajo coste en comparación con otros fotocatalizadores ya que sus procesos de obtención son bastante conocidos, debido a que llevan utilizándose muchos años para otras aplicaciones. (Rodríguez García, J. 2012)

### 2.2.5 Fotocatálisis con dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ )

“El dióxido de titanio, fue el primer tipo de material semiconductor estudiado debido a su borde de banda de valencia positivo que se oxida con el oxígeno del agua, y por lo cual, todavía hoy en día sigue siendo el más popular”. (Elkoro Ugarteburu, A. 2013)

El  $\text{TiO}_2$  presenta una actividad fotocatalítica relativamente alta, estabilidad frente a la fotocorrosión (estabilidad fotoquímica), es inerte químicamente y su toxicidad es baja. Por otro lado, posee el inconveniente de que su anchura de banda prohibida corresponde a la región del espectro electromagnético del ultravioleta cercano, de manera que absorbe sólo una pequeña parte del espectro solar. (Carbajo Olleros, J. 2013)

### **2.2.6 Parámetros que influyen en el proceso de fotocátalisis con TiO<sub>2</sub>**

Existen varios parámetros que influyen cualitativa y cuantitativamente en el proceso de óxido-reducción fotocatalítico. Entre los principales tenemos: (Garcés G. L. et al. 2004)

El catalizador: Cuanto mayor sea la dosis del catalizador, mayor será la autolimpieza del mortero.

Longitud de onda e intensidad de la luz: El aprovechamiento de la energía absorbida es mayor cuanto menor es la longitud de onda empleada.

Efecto del oxígeno: El oxígeno es el oxidante más empleado ya que es el más barato y no compite con el sustrato en el proceso de absorción. La presencia de oxígeno es esencial para que se produzca una oxidación efectiva.

Temperatura y pH: La variación de la temperatura y pH no afecta notablemente la velocidad de las reacciones fotocatalíticas.

### **2.2.7 Aplicación de TiO<sub>2</sub> como fotocatalizador en materiales de construcción**

En el mortero arquitectónico, el uso de cemento blanco con TiO<sub>2</sub> en la superficie de edificios y construcciones se atribuye a la durabilidad del aspecto visual del edificio. Debido a la acción fotocatalítica, la blancura del edificio permanecerá y la suciedad se quitará lavando más fácilmente debido a las propiedades propias del fotocatalizador o se descompondrá. (Lisbona García, L. 2016)

Las causas principales por qué TiO<sub>2</sub> es, hasta ahora, el fotocatalizador más usado para tales aplicaciones son:

- a. Su color blanco brillante, de ahí muy conveniente para mortero de cemento blanco.
- b. TiO<sub>2</sub> es muy barato comparado con otros fotocatalizadores de semiconductor.
- c. TiO<sub>2</sub> es muy estable; no se somete a la corrosión (como otros semiconductores usados en la fotocátalisis) y no reacciona con las fases cementantes.

Aunque todavía no es muy conocido el cemento fotocatalítico comparado con el cemento ordinario, muchos edificios y caminos de las grandes urbes se han diseñado y se han construido desde 2000 usando el concreto autolimpiable y pavimentando bloques que

contienen  $\text{TiO}_2$ . La aplicación de la fotocatalisis con  $\text{TiO}_2$  busca conseguir dos objetivos principales, el efecto autolimpiable y el efecto descontaminador debido a la oxidación de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en la atmósfera. (Carbajo Olleros, J. 2013)



Figura 2: Fachada frontal y trasera de la iglesia Dives in Misericordia hecha con concreto fotocatalítico (Lisbona García, L. 2016)

### 2.2.8 El sistema cemento – $\text{TiO}_2$

El dióxido de titanio es por lo general mezclado con el polvo de cemento antes de añadir el agua para la hidratación. Cuando el cemento se endurece,  $\text{TiO}_2$  está presente en todas partes de la estructura de cemento formada.  $\text{TiO}_2$  es un óxido muy estable, muy inerte. No reacciona con ninguna fase del cemento y no se implica en ninguna reacción de la hidratación. (Ramírez Arias, Y. 2013)

Desde un punto de vista estructural, sirve del relleno del poro que reduce el nivel de porosidad con algunas ventajas para la fuerza de la etapa temprana. Aunque las reacciones químicas que implican  $\text{TiO}_2$  no ocurran, una vez que el agua se añade para hidratar el polvo de cemento, se espera que el ambiente químico recién formado modifique dramáticamente la química superficial y las propiedades de las partículas de titanio. Se espera que la presencia de cationes multivalentes como  $\text{Ca}^{2+}$  en actividades iónicas altas establezca el ión fuerte – fuerzas de correlación del ión entre Ti y O– superficies negativas. Como consiguiente, la aglomeración de partículas esperada es de  $\text{TiO}_2$  (Lisbona García, L. 2016).



### **2.2.11 Autolimpieza**

La actividad que se produce en el  $\text{TiO}_2$  por la radiación solar provoca la liberación de electrones que convierten el oxígeno del aire en iones  $\text{O}_2^-$ , que reaccionan con el agua formando iones hidroxilo (-OH) los cuales, al asociarse a otros compuestos, descomponen la suciedad que encontramos en las fachadas, sobre todo aquellas de origen orgánico (Lisbona García, L. 2016).

En 1996 se registraron los primeros experimentos de laboratorio sobre la actividad de auto-limpieza en materiales a base de cemento que contienen  $\text{TiO}_2$ . Estos ensayos fueron desarrollados para el diseño de la mezcla del hormigón de la iglesia “Dives in Misericordia”. (Rodríguez García, J. 2012)

### **2.2.12 Durabilidad de materiales fotocatalíticos**

“La durabilidad es un factor importante en el diseño y fabricación de cualquier material. En el caso de morteros fotocatalíticos las principales afecciones que influyen en la durabilidad son: el deterioro del sustrato, la degeneración del fotocatalizador y la pérdida del fotocatalizador.” (CONAMA, 2012)

En el deterioro del sustrato, da lugar a la pérdida de la funcionalidad del mortero, este problema conlleva su sustitución con el coste que ello conlleva. Su principal origen el diseño inapropiado de la mezcla, el cual genera una resistencia insuficiente a la cual el material es sometido. Este problema es habitual en materiales oxidables, por ejemplo el acero, el cual es deteriorado por el propio proceso fotocatalítico. (Elkoro Ugarteburu, A. 2013)

La degeneración del fotocatalizador consiste en el bloqueo de las propiedades fotocatalíticas por la acumulación de suciedad o la absorción de compuestos intermedios en el proceso fotocatalítico. El origen de la degeneración del fotocatalizador es un incorrecto mantenimiento. La pérdida del material fotocatalítico es debido a la insuficiente adherencia del material al sustrato. Una unión más rígida de dióxido de titanio al sustrato aporta la resistencia necesaria para evitar la pérdida del material, pero al mismo tiempo reduce la movilidad de los electrones, lo cual aumenta la energía de banda prohibida, reduciendo la actividad fotocatalítica. (Lisbona García, L. 2016)

### 2.2.13 Materiales con capacidad “auto-limpiable”

El empleo de  $\text{TiO}_2$  en materiales de construcción permite mantener limpias las infraestructuras. Estas aplicaciones requieren una activación del  $\text{TiO}_2$  por efecto de la luz UV del sol que, con ayuda de la lluvia y la humedad del ambiente, permite oxidar los compuestos orgánicos, eliminando en parte depósitos que son visualmente indeseables. (Siñeriz Martínez, M. 2015)

Además, la presencia de especies inorgánicas totalmente oxidadas en los materiales puede reducirse gracias a la eliminación de la materia orgánica dado que ésta puede actuar como un “adherente” para estas especies inorgánicas. Por otro lado, el  $\text{TiO}_2$  permite un aumento del carácter hidrófilo del material, de tal manera que el agua se extienda en la superficie del mortero en forma de capa fina, evitando la deposición de partículas o sustancias en la superficie, y facilitando el lavado. (CONAMA, 2012)

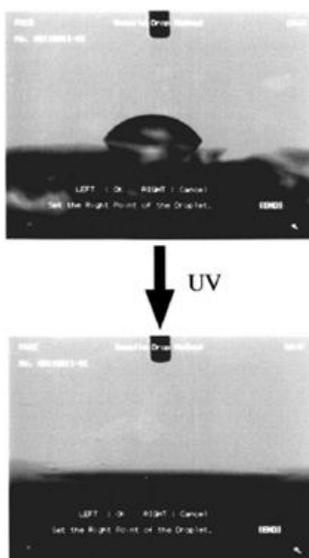


Figura 5: Fotografías tomadas durante mitad del ángulo de contacto del agua en film de  $\text{TiO}_2$  antes y después de irradiación UV (CONAMA, 2012).

En la figura 5 se puede ver el aumento de hidrofiliidad del material con  $\text{TiO}_2$ ; durante la irradiación se producen cambios superficiales en el  $\text{TiO}_2$ , donde las moléculas de agua tienden a formar enlaces de hidrógeno con los grupos OH, lo que explica que las gotas de agua aisladas formen una capa fina favoreciendo el lavado del material. (CONAMA, 2012)

#### **2.2.14 Lámparas de luz ultravioleta (UV)**

Las lámparas más empleadas son de mercurio, xenón y los denominados simuladores solares. Estas lámparas proporcionan luz en un rango de longitudes de onda por debajo de los 400 nm, esencial para la excitación del catalizador. Algunas lámparas proporcionan luz monocromática y otras un intervalo de longitudes de onda; en ocasiones se usan filtros a fin de obtener luz monocromática. Las intensidades empleadas van de los 2 - 135 mW/cm<sup>2</sup> y las potencias de unas pocas decenas a cientos de vatios. El empleo de lámparas permite la caracterización precisa del tipo e intensidad de luz que se obtiene (Ramírez Arias, Y. 2013).

#### **2.2.15 Rodamina B**

La Rodamina B (RB) es un colorante que pertenece a la familia de las Rodaminas con una gran variedad de aplicaciones técnicas debido a su alta fluorescencia y fotoestabilidad. Generalmente, las rodaminas se han usado principalmente como colorantes láser, aunque otras aplicaciones importantes se han desarrollado en los últimos años, tales como manchas biológicas, agentes de rastreo de agua, sensibilizador de luminiscencia electroquímica, sondas moleculares, cromóforo en sensores químicos ópticos, colectores solares y otros más. Su degradación puede ser fácilmente seguida mediante espectrofotometría (Ramírez Arias, Y. 2013).

#### **2.2.16 Limitaciones del mortero fotocatalítico**

No hay barreras regulatorias para la aceptación. Los morteros fotocatalíticos se comportan y cumplen con todas las normas para el cemento Portland. Debido a que todo el proceso fotocatalítico depende de la luz ultravioleta del sol, el mortero fotocatalítico no se recomienda para aplicaciones en interiores a menos que se administre la luz suficiente con la longitud de onda apropiada. (Rodríguez García, J. 2012)

Mortero elaborado con dióxido de titanio activo no debería ser pintado. Muchas pinturas están hechas para resistir los rayos UV bloqueando la luz del sol, necesaria para iniciar la reacción fotocatalítica. Por la misma razón, no se deben usar selladores u otros recubrimientos que puedan bloquear la luz ultravioleta del sol. (CONAMA, 2012)

### 2.2.17 Normativa existente

Algunos países (Japón, Italia, Francia) tienen sus propias normas que sirvieron de base para la elaboración de las normas internacionales (Rodríguez García, J. 2012)

- Japón:

JIS R 1701-1:2004: Donde se analiza la purificación del aire (NOx) mediante materiales cerámicos fotocatalíticos.

JIS R 1702-1:2004: Determinación del efecto bactericida de materiales fotocatalíticos, cerámicos.

- Italia:

UNI: 11238-1: 2008 En la que se determina la actividad de degradación de microorganismos orgánicos presentes en el aire mediante materiales en base cemento.

UNI: 11238-2: 2008 En la que se determina la actividad de degradación de microorganismos orgánicos presentes en el aire mediante materiales en base cerámica.

UNI: 11247: 2008 Que determina la actividad de degradación de óxidos de nitrógeno con materiales inorgánicos fotocatalíticos.

UNI: 11259: 2008 Mide la actividad fotocatalítica de decoloración tras la aplicación de un pigmento orgánico.

- Reino Unido

BS ISO 22197-1:2008 Donde se analiza la purificación del aire mediante materiales cerámicos fotocatalíticos.

- Francia

En Francia también se están elaborando una serie de normas por AFNOR, equivalente al AENOR español.

- Europa

En el resto de Europa se ha constituido un comité técnico para elaborar una serie de normas nacionales e internacionales que aborden la fotocatalisis CEN TC-386. Los miembros participantes en este proyecto son, Bélgica, República Checa, Alemania, Reino Unido, Italia y Francia.

Se han publicado varias normas ISO (International Organization for Standardization) tratando de unificar y regular los ensayos que determinan la actividad fotocatalítica de los materiales y su cuantificación (CONAMA, 2012):

- ISO 22197-1:2007. “Cerámica (cerámicas técnicas avanzadas) - Método de ensayo para la purificación de aire el rendimiento de los materiales semiconductores fotocatalíticos. Parte 1: La eliminación de óxido nítrico”, ISO, Ginebra, 2007.
- ISO 22197-2:2011. “Cerámica (cerámicas avanzadas, cerámicas técnicas avanzadas) - Método de ensayo para purificación de aire mediante materiales semiconductores fotocatalíticos, - Parte 2: La eliminación de acetaldehído”, ISO, Ginebra, 2011.
- ISO 22197-3:2011. “Cerámica (cerámicas avanzadas, cerámicas técnicas avanzadas) - Método de ensayo para rendimiento de purificación de aire con materiales semiconductores fotocatalíticos - Parte 3: Extracción de tolueno”, ISO, Ginebra, 2011.
- ISO 10676:2010. “Cerámica (cerámicas avanzadas, cerámicas técnicas avanzadas) - Método de ensayo para rendimiento de purificación de agua de los materiales semiconductores fotocatalíticos por medición de la capacidad de formación de oxígeno activo”, ISO, Ginebra, 2010.
- ISO 10677:2011. “Cerámica (cerámicas avanzadas, cerámicas técnicas avanzadas) - Fuente de luz para acción fotocatalizadora del semiconductor utilizando luz ultravioleta”, ISO, Ginebra, 2011.
- ISO 10678:2010. “Cerámica (cerámicas avanzadas, cerámicas técnicas avanzadas) - Determinación de actividad fotocatalítica de las superficies en medio acuoso por la degradación de azul de metileno”, ISO, Ginebra, 2010.
- ISO 27447:2009. “Cerámica (cerámicas avanzadas, cerámicas técnicas avanzadas) - Método de prueba para la actividad antibacteriana de los materiales semiconductores”, ISO, Ginebra, 2009.
- ISO 27448: 2009. “Cerámica (cerámicas avanzadas, cerámicas técnicas avanzadas) - Método de ensayo para auto-limpieza rendimiento de los materiales semiconductores fotocatalíticos - Parte 1: Medición del ángulo de contacto de agua”, ISO, Ginebra, 2009.

### **2.2.18 Proyecto PICADA**

PICADA (aplicaciones innovadoras de recubrimientos fotocatalíticos para la evaluación de la descontaminación), se formó en Europa a principios del 2001. Los países que conforman este proyecto son: Francia, Italia, Gran Bretaña, Grecia y

Dinamarca. Este estudio de investigación evaluó y validó el efecto de la contaminación de concretos o cementos fotocatalíticos. Este proyecto trabaja con materiales tales como yeso, mortero y cemento arquitectónico que contienen dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), capaz de capturar los contaminantes atmosféricos orgánicos e inorgánicos después de que hayan sido expuestos a los rayos ultravioleta o a los rayos solares. A través de las pruebas de laboratorio, modelos de reducción de la contaminación, y las evaluaciones de campo in situ, PICADA muestra que el concreto producido con cemento fotocatalítico es eficiente en la destrucción de contaminantes atmosféricos. (CORDIS, 2004)

### **2.2.19 Mortero**

La utilización del mortero como material de construcción es mucho más antiguo que el del hormigón. En su forma más simple, es decir compuesto por un árido fino y un aglomerante, ha sido usado como material de pega para bloques de piedra en la construcción de edificios en las antiguas civilizaciones de Asiria, Babilonia, Egipto, Roma y Grecia, así como en la construcción de los primeros pavimentos de caminos. A pesar de esto, y de las relativamente simples aplicaciones que tiene, su tecnología no ha sido estudiada tan profundamente como la del hormigón; existiendo hasta la fecha pocas publicaciones que sistematicen sus características específicas y sus posibilidades de empleo. (Guerrero Alarcón, G. 1998)

### **2.2.20 Mortero de cemento- arena**

El mortero de cemento – arena es un material de construcción obtenido al mezclar arena y agua con cemento, que actúa como conglomerante.

Lo acostumbrado en el uso de morteros de cemento es la dosificación por partes de cemento y agregado (1:n), la mayoría de las veces haciéndose caso omiso, o desconociéndose la resistencia que dichos morteros obtendrán una vez endurecidos. Es clara la necesidad de diseñar y dosificar el mortero de acuerdo con las condiciones de resistencia particulares y algunas otras propiedades y características, se requiere un método claro y preciso. (Molina Escobar, K. 2006).

La diversidad de aplicaciones que tiene el mortero obliga a que las características de sus componentes varíen de aplicación en aplicación. Esta variación es especialmente notable en lo que respecta al agregado fino.

### **2.2.21 Aplicaciones del mortero**

Los morteros tienen un amplio campo de aplicación en la construcción de obras de ingeniería. Entre estas aplicaciones las más significativas son: mortero de junta para albañilería, morteros de relleno de espacios confinados (grouts), morteros de enlucidos, mortero de pega, morteros proyectados, mortero para tratamiento de juntas de construcción, mortero para reparación de obras de hormigón. (Guerrero Alarcón, G. 1998). Este estudio está dirigido hacia la tercera de las aplicaciones es decir el mortero para enlucido.

**Mortero enlucido:** Se usa como material de revestimiento de la superficie de muros u otros elementos similares, en los cuales se le puede dar diversas formas y ser acabado superficialmente en una amplia gama de texturas. Además, confiere propiedades de resistencia a los agentes climáticos y al fuego a los elementos recubiertos con él. (Guerrero Alarcón, G. 1998).

### **2.2.22 Propiedades del mortero**

La evaluación de las propiedades de los morteros pueden considerarse como una medida de control de calidad ya que tiene normas con las que cumplir.

#### **2.2.22.1 Trabajabilidad**

Está constituida por dos reacciones internas del mortero: una constituida por el frotamiento de las partículas granulares o fluidez del mortero, y la otra proveniente de la cohesión de la masa o consistencia del mortero (Molina Escobar, K. 2006).

El concepto de trabajabilidad es fundamental en la etapa en que el mortero se mantiene en estado plástico, puesto que condiciona sus características en dicha etapa, la que a su vez corresponde a la de su empleo en obra. La trabajabilidad está directamente relacionada con el contenido de agua y de partículas finas, los cuales actúan en sentido contrario entre sí en la forma que se presenta en la Tabla 2.

Para medir la trabajabilidad se emplea la mesa de golpes ASTM especificada por la norma ASTM C 230, que consiste en medir la variación del diámetro en milímetros de un tronco de cono de mortero al ser sometido a 25 golpes dados en dicha mesa. La

trabajabilidad en obra se evalúa normalmente mediante apreciación visual (Guerrero Alarcón, G. 1998).

TRABAJABILIDAD	CONTENIDO	
	AGUA	GRANOS FINOS
FLUIDEZ	↗	↘
CONSISTENCIA	↘	↗

Tabla 2: Relación de trabajabilidad con el agua y los granos finos (Guerrero Alarcón, G. 1998).

#### 2.2.22.2 Ensayo de Consistencia

Según la normativa peruana, NTP 334.057, la consistencia es el grado de fluidez del mortero fresco que depende fundamentalmente de la fase líquida y del contenido y características de los componentes sólidos y que se mide como extendido en la mesa de sacudidas.

#### 2.2.22.3 Resistencia a la compresión

La resistencia de un mortero depende de la cohesión de la pasta de cemento, de su adhesión a las partículas de los agregados, de la resistencia del agregado, de la relación agua/cemento usada en la mezcla (Guerrero Alarcón, G. 1998). Para determinar la resistencia a la compresión se utiliza el método expuesto en la norma NTP 334.051.

La resistencia a la compresión del mortero depende en gran parte del tipo y cantidad del material cementante y de la relación agua/cemento utilizado al prepararlo: aumentará con un incremento del contenido de cemento y disminuirá con un aumento de la inclusión de aire, del contenido de cal, o del contenido de agua. (De La Sotta Monreal, J. 2010).

Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm<sup>2</sup>), Megapascas (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg<sup>2</sup> o psi) a una edad de 28 días. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad (Rivera L., G. 2012). Para poder hallar la resistencia a compresión se utilizó moldes prismáticos cuadrados (5 cm x 5 cm x 5 cm) como indica la norma.

#### **2.2.22.4 Ensayo de Absorción**

Según la normativa peruana, es el proceso mediante el cual el agua penetra en un material poroso, como resultado de la diferencia de presión, temperatura o concentración de agua entre la superficie expuesta y su interior. Para ello se ocupan probetas normalizadas para ensayo, es decir, probetas prismáticas cuadradas de 5 cm x 5 cm x 5 cm; estas estuvieron en horno hasta que su peso fue constante. De ahí se pesan las probetas y se sumergen por un periodo de 24 horas, de allí se vuelven a pesar y se aplica la fórmula para obtener el porcentaje de absorción (NTP 399.631).

#### **2.2.23 Cemento**

La palabra cemento define un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. Esta definición no sólo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales aglomerantes como las calles, los asfaltos y los alquitranes. (Molina Escobar, K. 2006).

##### **2.2.23.1 Cemento Portland**

Se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como caliza, alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza. En ocasiones es necesario agregar otros productos para mejorar su composición química, siendo el más común el óxido de hierro. (Molina Escobar, K. 2006). El cemento Portland empleado en la elaboración del mortero debe cumplir con la norma ASTM C 150, que los clasifica en la siguiente manera (Rivera L., G. 2012):

1. Tipo I: Normal. Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.
2. Tipo II: Moderado. Para uso general y además en construcciones donde existe un moderado ataque de sulfatos o se requiera un moderado calor de hidratación.
3. Tipo III: Altas resistencias. Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.

4. Tipo IV: Bajo calor de hidratación. Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.

5. Tipo V: Resistente a la acción de los sulfatos. Para uso general y además en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.

De estos cinco tipos en el Perú sólo se fabrican los Tipos I, II, y V. El peso específico del cemento corresponde al material al estado compacto. Su valor suele variar, para los cementos portland normales, entre 3.0 y 3.2. (Rivva Lopez, E. 2010)

### **2.2.23.2 Cemento blanco**

“La selección de las materias primas para fabricar el cemento blanco es mucho más crítica que en la fabricación del cemento gris, debido a que deben ser de naturaleza muy pura y con cantidades mínimas de óxido de hierro”. (Chiguay Velasquez Valdivia, A. 2007)

Los ingredientes primordiales son la piedra caliza, base de todos los cementos, el caolín (una arcilla blanca que no tiene ningún óxido de hierro, pero si mucha alúmina) y yeso. Sin embargo, su diversa composición no trajo ningún cambio en las características intrínsecas de este cemento, que continuó proporcionando la misma resistencia que un cemento gris. Su color “blanco” se consigue por medio de un proceso de elaboración química. En dicho proceso, una selección severa de las materias primas y un método de producción tecnológicamente avanzado salvaguardan la blancura inicial de la caliza en el producto final: el cemento blanco. (Navarrete Anabalón, G. 2006).

Sus partículas de menor tamaño que las de cemento gris, le otorgan una mejor capacidad de hidratación y propiedades específicas como menor tiempo de fraguado y una elevada resistencia a la compresión. El bajo contenido de álcalis en su composición química, le permite la utilización de agregados tales como el vidrio volcánico, y algunas rocas que normalmente reaccionan con los álcalis del cemento, y que traen consigo agrietamientos que desmerecen la apariencia y durabilidad del mortero. (Chiguay Velasquez Valdivia, A. 2007)

Tipo de cemento	Componentes químicos principales (%.)							Componentes mineralógicos principales (%.)				
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	P.F	Na <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Blanco	66	22,5	4,5	0,4	2,8	1,0	1,7	0,17	60	19	11	1
Gris	64	20,5	5,4	2,6	3	2,1	1,4	1,4	54	18	10	8

Tabla 3: Composición química del clínquer blanco y gris de cemento de Portland  
(Navarrete Anabalón, G. 2006)

Los cementos mostrados en la tabla 3 no resisten a los sulfatos por ser cementos Portland tipo I, de uso general, donde no se requieren características especiales.

### 2.2.24 Agua

El agua debe ser limpia y libre de cantidades de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos o de otras sustancias que puedan ser perjudiciales al mortero.

El agua en el mortero es importante para su calidad de componente ya que participa en el proceso de hidratación del cemento, el cual no puede desarrollarse sin su presencia y otorga la trabajabilidad necesaria al mortero, siendo determinante para definir su fluidez. Antes de agregar agua al mortero se debe tener en cuenta lo siguiente (Guerrero Alarcón, G. 1998):

- El uso de agua potable está permitido sin necesidad de verificar su calidad.
- El agua con contenido de azúcares, en forma de sacarosa o glucosa, no puede ser empleada para la preparación de morteros.
- El uso de agua de mar está permitido para morteros de resistencia inferior a 150 kg/cm<sup>2</sup>, siempre que no presente contenido de algas, pues éstas producen un efecto incontrolable de incorporación de aire.
- Las aguas no tratadas deben ser sometidas a análisis químico.
- El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de las normas establecidas y de preferencia ser potable.

### **2.2.25 Agregado para mortero**

Los morteros están compuestos por agregado fino o arena, de tamaño máximo no superior a 5 mm. Como principio general, las características de este agregado deben ser similares a las exigidas para el agregado fino constituyente del concreto. Sin embargo, la aplicación de los principios que rigen a los agregados no puede hacerse en forma indiscriminada y debe ser analizada con cuidado, tomando en consideración dos condiciones básicas que distinguen a los morteros del concreto. (Molina Escobar, K. 2006):

- La relación agregado fino/cemento es generalmente distinta a la empleada en el concreto, lo cual implica que los valores usuales para el concreto no son necesariamente aplicables.
- Las características del agregado influyen significativamente en las características del mortero y, en consecuencia, dependen en forma importante de la función que vaya a desempeñar el mortero.

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1 Estudio de las características físicas del agregado para mortero**

El agregado para ser utilizado en morteros de albañilería debe ser arena natural o arena manufacturada. La arena manufacturada es el producto obtenido triturando piedra, grava, o escoria de alto horno enfriada con aire especialmente procesada para asegurar una granulometría adecuada (ASTM C 144).

### **2.3.2 Granulometría**

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

El agregado para ser utilizado en mortero de albañilería debe ser graduado dentro de los siguientes límites, dependiendo de si se utiliza arena natural o artificial.

Malla	Porcentaje que pasa	
	Arena Natural	Arena Manufacturada
N°4 (4.75 mm)	100	100
N°8 (2.36 mm)	95 a 100	95 a 100
N°16 (1.18 mm)	70 a 100	70 a 100
N°30 (600 micrones)	40 a 75	40 a 75
N°50 (300 micrones)	10 a 35	20 a 40
N°100 (150 micrones)	2 a 10	10 a 25
N°200 (75 micrones)	0 a 5	0 a 10

Tabla 4: Límites granulométricos para el agregado para mortero de albañilería (ASTM C 144 - NTP 399.607)

### 2.3.3 Módulo de finura

El módulo de fineza o de finura, también llamado modulo granulométrico por algunos autores, no es un índice de granulometría, ya que un número infinito de tamizados de el mismo valor para el módulo de finura. Sin embargo, da una idea del grosor o finura del agregado, por este motivo se prefiere manejar el termino de Módulo de Fineza. (Rivera L., G. 2012)

Clase	Modulo de finura
Arena gruesa	2.50 a 3.50
Arena fina	1.50 a 2.50
Arena muy fina	0.50 a 1.50

Tabla 5: Clasificación de la arena por su módulo de finura (Ingeniería rural)

El módulo de fineza usualmente se determina para el agregado fino, pero el conocimiento del módulo de fineza del agregado grueso puede ser necesario para la aplicación de algunos métodos de proporcionamiento de mezclas. El módulo de fineza es un índice del mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado. Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3"; 1 1/2"; 3/4";

3/8"; N° 4; N° 8; N° 16; N° 30; N° 50; N° 100 y N° 200, divididas entre 100. (Harmsen Teodoro E. 2002)

#### **2.3.4 Peso específico y absorción**

El peso específico es la relación entre el peso y el volumen del material sólido. Para determinar el peso específico o densidad se debe tomar el agregado en estado saturado y superficie seca. El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.

La absorción se define como el incremento de peso de un árido poroso seco, hasta lograr su condición de saturación con la superficie seca, debido a la penetración de agua a sus poros permeables. La absorción es el valor de la humedad del agregado cuando tiene todos sus poros llenos de agua, pero su superficie se encuentra seca. En esta condición se hacen los cálculos de dosificación para elaborar el mortero. (Harmsen Teodoro E. 2002)

Si la humedad del agregado es inferior a la absorción, se deberá agregar más agua al mortero para compensar la que absorberán los agregados. Por el contrario, si la humedad supera a la absorción, habrá que disminuir la cantidad de agua que se pondrá a la mezcla ya que los agregados estarán aportando agua.

No se suelen fijar límites de aceptación para la absorción debido a que ésta no solo depende de la porosidad de la roca, sino también de otros aspectos tales como la distribución granulométrica, contenido de finos, forma de las partículas. (Rivera L., G. 2012)

El método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y porcentaje de absorción se encuentra en la norma NTP 400.022. Las fórmulas empleadas para hallar el peso específico de masa, peso específico de masa saturada superficialmente seca, peso específico aparente y porcentaje de absorción del agregado fino se presentan a continuación: (Rivva Lopez, E. 2010)

Peso específico de masa:

$$P_{em} = \frac{W_0}{V - V_a} \dots \dots \dots (1)$$

Peso específico de masa saturada con superficie seca:

$$P_{emsss} = \frac{500}{(V - V_a)} \dots \dots \dots (2)$$

Peso específico aparente:

$$P_{ea} = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \dots \dots \dots (3)$$

Absorción:

$$Abs = \left( \frac{500 - W_0}{W_0} \right) * 100 \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

$W_0$ : Peso en el aire de la muestra seca en la mufla (gr).

$V_a$ : Peso (gr) o volumen ( $cm^3$ ) del agua añadida al frasco.

V: Volumen del frasco en  $cm^3$

### 2.3.5 Contenido de humedad

Se puede definir el contenido de humedad, como el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca, expresado en porcentaje (%). En la norma NTP 400.010 se establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado fino. Si el agregado tiene una humedad inferior a la absorción, se debe agregar más agua al concreto para compensar lo que absorbe el agregado. Por el contrario, si la humedad está por encima de la absorción, el agua a agregar al mortero será menor, ya que el agregado aportará agua. (Harmsen Teodoro E. 2002)

Debemos ajustar la cantidad de agua a agregar al mortero teniendo en cuenta la humedad de los agregados en el momento de elaborar el mortero, ya que, si la humedad es alta, aumentará la relación agua/cemento y disminuirá la resistencia, y si es baja, no se logrará la trabajabilidad deseada. Ambas observaciones influyen mucho en la resistencia

y propiedades del mortero, por lo que es importante saber controlar este concepto para tener resultados óptimos. (Rivera L., G. 2012). La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$W\% = \left( \frac{P_h - P_s}{P_s} \right) * 100 \dots \dots \dots (5)$$

Dónde:

$P_h$ : Peso húmedo de la muestra.

$P_s$ : Peso seco de la muestra

### 2.3.6 Determinación del material que pasa por la malla N° 200

El método para la determinación del material que pasa por la malla N°200 se encuentra en la norma ASTM C 177 - NTP 400.010 se establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado fino. (Rivva Lopez, E. 2010)

Una muestra de agregado es lavada utilizando agua libre de impurezas corriente o agua que contenga un agente humectante, cuando se especifique. El agua de lavado decantada, la cual contiene material suspendido y disuelto, se pasa a través de un tamiz de 0,075 mm (No.200). La pérdida en masa que resulta del tratamiento de lavado se calcula como un porcentaje de masa del espécimen original y se informa como el porcentaje de material más fino que el tamiz de 0,075 mm (No.200) por lavado. Calcular la cantidad de material que pasa el tamiz de 0,075 mm (No.200) por lavado como sigue:

$$A = \left( \frac{B - C}{B} \right) * 100 \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

A: Porcentaje de material más fino que el tamiz de 0,075 mm (No.200) por lavado.

B: Masa original seca de la muestra de ensayo (gr.).

C: Masa seca de la muestra de ensayo del lavado (gr.).

### 2.3.7 Cemento.

El cemento que se empleó para elaborar los tratamientos de mortero de estudio fue cemento blanco Portland tipo I destinado para uso general en la construcción. Que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150.

### 2.3.8 Agua utilizada.

El agua empleada en la preparación y curado de los especímenes de mortero, fue el agua potable de la ciudad de Cajamarca, por lo cual cumple con los límites máximos y mínimos permisibles según la Norma NTP 339.088.

### 2.3.9 UNI 11259

La UNI o Ente Nacional de Unificación Italiano es una asociación entre entes privados y la Administración Pública dotado de reconocimiento jurídico. Brinda normas técnicas en todos los sectores (excepto el eléctrico y electrónico). Es el miembro italiano de ISO (Organización Internacional de Estandarización) y de CEN (Comité Europeo de Normalización). La norma UNI 11259-2008 es acerca del empleo del método colorimétrico de la rodamina para determinar la actividad fotocatalítica.

Esta norma es conocida también como la prueba de Rodamina, publicada en febrero de 2008 en Italia, Europa. Este método permite controlar las variaciones colorimétricas en el tiempo (hasta un máximo de 26 horas), la igualdad a la decoloración de las muestras a base de cemento tratada superficialmente previamente con un pigmento orgánico, y bajo una exposición continua a las radiaciones UV-A (por ejemplo, una lámpara UV) a una distancia de la muestra igual a 1 metro.

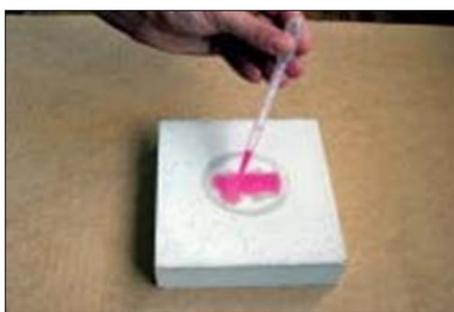


Figura 6: Aplicación de la solución de rodamina en la superficie de la muestra. (Norma UNI 11259).

La rodamina B se utiliza como pigmento, que es un colorante orgánico rojo aplicado en solución en la superficie de los especímenes. Se observa la actividad fotocatalítica y se mide con referencia a la decoloración de rodamina. Para la medición

colorimétrica, se utiliza la experiencia del investigador y un colorímetro, mediante el monitoreo de un "a\*" que es un parámetro de referencia para el color rojo.

La muestra es una pasta estándar (que contiene cemento, agregado fino, agregado grueso y agua) y es una probeta prismática.

En primer lugar, justo antes de la exposición a la UV- A de la lámpara, a\* se mide en el instante t0, es decir, a\* (0h). Luego, una vez que la lámpara se enciende y se inicia la UV -A de irradiación, se realizan dos medidas más, una después de 4 horas, que es un a\* (4h), y después de 26 horas, a\* (26h). A continuación, R4 y R26 se calculan como sigue:

$$R_4 = \frac{a^*(0h) - a^*(4h)}{a^*(0h)} \times 100 \quad R_{26} = \frac{a^*(0h) - a^*(26h)}{a^*(0h)} \times 100 \quad \dots \dots \dots (7)$$

El mortero se considera como fotocatalizador, si se cumplen los siguientes requisitos: R4 > 20% y R26 > 50%



Figura 7: Fotografía de la evolución de la degradación del color. (Norma UNI 11259).

### Colorímetro

Es un instrumento usado en Química para determinar la concentración de sustancias disueltas en líquidos o sólidos mientras sean transparentes a la luz visible, ultravioleta o infrarroja, midiendo y comparando sus colores. La ciencia o arte de su uso se denomina colorimetría y está regida por leyes físicas muy estudiadas. Para ello se introduce en el aparato un testigo o patrón con una concentración de sustancia conocida y la muestra a determinar. Se mide la cantidad de color de cada uno y según su relación, se determina la concentración de la muestra (concentración es la cantidad de sustancia disuelta en un volumen determinado de disolvente). (Martínez Verdú, F. 2001)

## CAPÍTULO III

### PLANTEAMIENTO DE LA (S) HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

Al adicionar el fotocatalizador dióxido de titanio del 5% al 15% del peso del cemento dosificado el mortero adicionará la propiedad autolimpiable y disminuirán sus propiedades mecánicas de 5% a 30% respecto a un concreto sin adición de dióxido de titanio.

#### 3.2. Variables/categorías

Resistencia a la compresión:	Dependiente.
Fluidez:	Dependiente.
Absorción:	Dependiente.
Propiedad Autolimpiable:	Dependiente.
Costo por m <sup>2</sup> de mortero:	Dependiente.
Porcentaje del fotocatalizador TiO <sub>2</sub> :	Independiente.

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **4.1 Ubicación**

Los agregados de estudio se obtuvieron de la cantera La Collpa ubicado en el km. 11 de la Carretera a Cajamarca - Jesús al costado derecho. La cantera se ubica a 2800 msnm y tiene una precipitación pluvial entre 500 - 1000 mm. de lluvia, la temperatura media mensual es de 13.3° C.

##### **4.1.1 Geología.**

Esta zona está formada por unidades litológicas sedimentarias representadas por el Cretáceo Inferior perteneciente al grupo GOYLLARISQUIZA, formación Chimú. Así mismo esta zona presenta una alternación de areniscas cuarzosas en la parte inferior y cuarcitas blandas en bancos gruesos en la parte superior, la roca se encuentra muy fracturada por diastrofismo, su textura es de grano fino, gravas gravillas y arena en forma angular, su color varía de blanco a rojizo, esto se debe a la presencia de oxidaciones de fierro lo que le da el color característico, se encuentra en estratos potentes, su estructura es granular simple, encontrándose estratos muy densos, la orientación de estos estratos es de S125EW y el buzamiento es de 20E 50'.

El agente predominante que descompone las rocas es la Oxidación, otro agente de meteorización es el viento, porque erosiona a la roca y la transporta de un lugar a otro. Las diferencias de T°, generan fisuramiento y el efecto de gelificación completan la meteorización mecánica.

#### **4.2 Diseño de la investigación**

Teniendo en cuenta el propósito de la investigación y de acuerdo a lo que se indica en esta tesis es una investigación experimental y transversal.

### 4.3 Método y tipo de investigación

El método de investigación utilizado fue el método hipotético deductivo.

CRITERIO	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Finalidad	Aplicada
Objetivos	Descriptiva
Fuente	Primaria
Diseño	Experimental
Contexto	Laboratorio, campo

Tabla 6: Criterio y tipo de investigación.

### 4.4. Diseño del experimento

1. Obtención de las propiedades generales de los materiales con los que se realizaron las probetas prismáticas de diferentes dimensiones (5 x 5 x 5 cm y 2 x 10 x 10 cm); dichos ensayos fueron: Análisis granulométrico del agregado fino, módulo de fineza, peso específico y absorción, contenido de humedad, peso unitario suelto y cantidad de material que pasa la malla N° 200.
2. Realización del diseño de mezclas del mortero cemento arena 1:4 para los 4 tratamientos propuestos con los datos obtenidos de los ensayos anteriores y datos obtenidos de las hojas técnicas en el caso del cemento y el dióxido de titanio.
3. Realización de probetas prismáticas rectangulares de 5 x 5 x 5 cm para el ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 28 días para cada uno de los cuatro tratamientos.
4. Realización de probetas prismáticas rectangulares de 5 x 5 x 5 cm para el ensayo de absorción para cada uno de los cuatro tratamientos.
5. Realización de probetas prismáticas rectangulares de 2 x 10 x 10 cm para el ensayo de decoloración o prueba de Rodamina (propiedad autolimpiable) para cada uno de los cuatro tratamientos.
6. Realización del ensayo de fluidez para los cuatro tratamientos.
7. Análisis de costo para cada tratamiento propuesto.
8. Comparación propiedades mecánicas vs propiedad autolimpiable vs costo entre los tratamientos propuestos.

#### **4.5 Población, muestra y unidad de análisis**

- Universo: Morteros de cemento: arena 1:4 elaborados en la ciudad de Cajamarca con agregados de la cantera La Colpa.
- Muestra: 36 probetas prismáticas rectangulares para ensayos a la compresión hechos de mortero cemento: arena 1: 4 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa, 36 probetas prismáticas rectangulares para ensayo de absorción hechos de mortero cemento: arena 1: 4 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa, 36 probetas prismáticas rectangulares para ensayo de decoloración hechos de mortero cemento: arena 1: 4 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa y 36 unidades para ensayo de fluidez hechos de mortero cemento: arena 1: 4 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa.
- Unidad de Análisis: Cada una de las probetas prismáticas rectangulares para ensayos a la compresión hechos de mortero cemento: arena 1: 4 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa, cada una de las probetas prismáticas rectangulares para ensayo de absorción hechos de mortero cemento: arena 1: 4 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa, cada una de las probetas prismáticas rectangulares para ensayo de decoloración hechos de mortero cemento: arena 1: 4 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa y cada una de las unidades para ensayo de fluidez hechos de mortero cemento: arena 1: 4 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa.

#### **4.6 Técnicas e instrumentos de recopilación de información**

- Revisión del material bibliográfico.
- Análisis documental.
- Observación experimental.

Para recopilar la información se utilizó el Método Cuantitativo. El Método Cuantitativo se utilizó para medir las variables cuantitativas de estudio de los tratamientos de concreto elaborados; permitirá lograr medir los parámetros físicos y mecánicos de los materiales que se ensayen en el Laboratorio.

#### **4.7 Técnicas para el procesamiento y análisis de información**

La recolección de datos se realizó mediante los cuadros de doble entrada, gráficos, formatos de ensayos de laboratorio. La información cuantitativa fue procesada mediante métodos estadísticos apropiados para cada caso, como la determinación de promedios, desviación estándar, coeficientes de varianza, varianza y agrupación de los tratamientos usando la prueba de rango múltiple de Tukey y mediante el uso de programas como el Microsoft Excel 2016 y el MiniTab 16.

#### **4.8 Equipos, materiales e insumos.**

##### **Materiales**

- Agregado fino para mortero de la cantera La Collpa.
- Dióxido de Titanio.
- Rodamina.
- Agua potable.
- Cemento Blanco Portland Tipo I.

##### **Equipos**

- Balanza.
- Recipiente estandarizado para colocar la muestra.
- Estufa, capaz de mantener una temperatura de 105°C a 110°C.
- Recipiente. Se utiliza para introducir la muestra en el horno.
- Moldes de acero, suficientemente rígido para no sufrir deformaciones.
- Mesa de fluidez mecánica.
- Juego de Tamices conformados por N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N°100 y N°200. (Agregado Fino).
- Prensa de Ensayo a la Compresión.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Análisis de los resultados de la prueba de absorción en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:4

Espécimen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	M° con 10% TiO <sub>2</sub>	M° con 15% TiO <sub>2</sub>
A- 01	13.13	12.95	12.58	12.62
A- 02	13.22	12.77	12.53	12.58
A- 03	13.31	12.95	12.41	12.48
A- 04	13.27	12.88	12.75	12.37
A- 05	13.39	13.08	12.51	12.53
A- 06	13.07	12.97	12.41	12.55
A- 07	13.26	13.10	12.93	12.52
A- 08	13.66	13.09	12.67	12.63
A- 09	13.51	13.08	12.61	12.88
Promedio	13.31	12.99	12.60	12.57

Tabla 7: Ensayo de absorción en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:4 para los diferentes tratamientos en estudio expresado en porcentaje.

##### 5.1.1 Resumen de los promedios de cada tratamiento realizado

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
13.31	12.99	12.60	12.57

Tabla 8: Resumen de los promedios del ensayo de absorción para los diferentes tratamientos en estudio expresado en porcentaje.

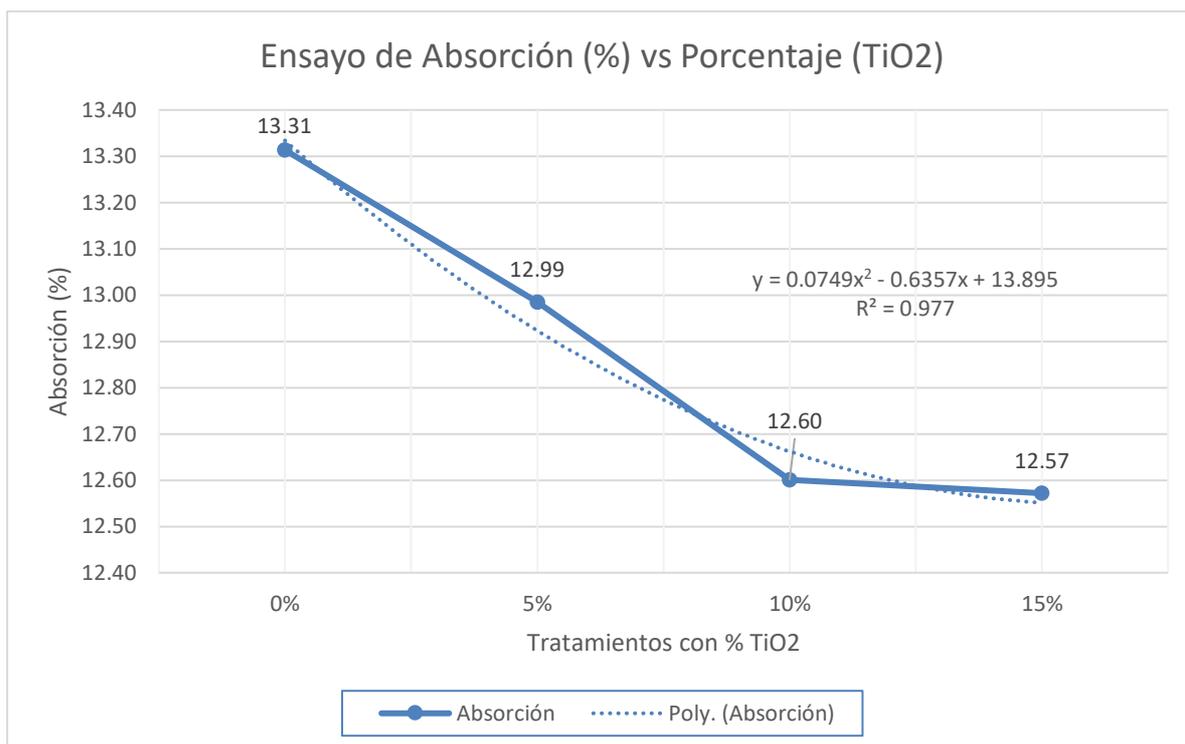


Figura 8: Ensayo de absorción promedio vs % TiO<sub>2</sub>

En la figura 8 se observa que el mortero elaborado sin dióxido de titanio presentó el mayor promedio de porcentaje de absorción (13.31 %). El tratamiento elaborado con 15% de dióxido de titanio presentó el menor promedio de porcentaje de absorción (12.57 %).

Analizando la figura 8 se observa que hay una disminución paulatina y descendente del porcentaje de absorción conforme el tratamiento tuvo mayor porcentaje de dióxido de titanio. Es decir, que al adicionar mayor cantidad del fotocatalizador dióxido de titanio a los tratamientos de mortero, éstos disminuyeron su porcentaje de absorción.

### 5.1.2 Análisis Estadístico del ensayo de absorción

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable porcentaje de absorción. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Para el análisis de varianza (ANOVA) y Tukey se utilizó el programa Minitab 16. Los resultados se presentan a continuación:

#### Método

Hipótesis nula                    Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna                Por lo menos una media es diferente  
Nivel de significancia         $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

#### Información del factor

Factor    Niveles    Valores  
Factor            4    M SIN TIO2, M 5%TIO2, M 10% TIO2, M 15% TIO2

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	3.3419	1.1140	47.64	0.000 < 0.05
Error	32	0.7482	0.0234		
Total	35	4.0900			

#### Resumen del modelo

S = 0.1529    R-cuad. = 81.71%    R-cuad. (ajustado) = 79.99%

## Comparaciones en parejas de Tukey

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

	N	Media	Agrupación
Abs. M 0% TiO2	9	13.3135	A
Abs. M 5% TiO2	9	12.9855	B
Abs. M 10% TiO2	9	12.6008	C
Abs. M 15% TiO2	9	12.5719	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El proceso de toma de decisiones para una prueba de hipótesis se basa en el valor de probabilidad (valor p) para la prueba específica. Si el valor p es menor o igual a un nivel predeterminado de significancia (nivel  $\alpha$ ), rechazamos la hipótesis nula y damos crédito a la alternativa. Si el valor p es mayor que el nivel  $\alpha$ , no se rechaza la hipótesis nula y no se puede dar crédito a la hipótesis alterna.

En los cálculos anteriormente obtenidos para ANOVA, el valor p (0.000) proporcionó suficiente evidencia de que la absorción difirió cuando  $\alpha$  es 0.05. En los intervalos de confianza individual del 95%, se observa que los intervalos de 10 y 15 % de TiO<sub>2</sub> son los únicos intervalos que se superponen, lo que da crédito a la teoría de que las medias fueron estadísticamente distintas.

La prueba de Tukey proporcionó tres conjuntos de intervalos de comparación múltiple: Media del mortero con 0% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con

5, 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 5% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 10% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 15% TiO<sub>2</sub>.

El primer intervalo del primer conjunto de salida de Tukey fue -0.5232 a -0.1237. Es decir, la media de la absorción con 0% TiO<sub>2</sub> menos la media de la absorción con 5% TiO<sub>2</sub> es una cifra entre -0.5232 a -0.1237. Debido a que el intervalo no incluyó a cero, la diferencia entre el porcentaje absorción de los dos tratamientos fue estadísticamente significativa. Se interpretó de modo similar los demás resultados de la prueba de Tukey. Las medias para todos los tratamientos difirieron significativamente debido a que ningún intervalo de confianza incluyó el cero, a excepción de los intervalos pertenecientes a los tratamientos con 10 y 15 TiO<sub>2</sub>.

En conclusión, en el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) al ser el valor de  $p < 0.05$  se observa que la fuente de variabilidad de los tratamientos tuvo diferencia estadística entre los promedios de absorción. Y de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los tratamientos con 10 y 15% de TiO<sub>2</sub> fueron significativamente similares. Y los tratamientos sin TiO<sub>2</sub> y con 5% de TiO<sub>2</sub> fueron significativamente diferentes entre sí y también con los tratamientos con 10 y 15% de TiO<sub>2</sub>. A continuación se mostraron las figuras generadas por las comparaciones realizadas por ANOVA y TUKEY.

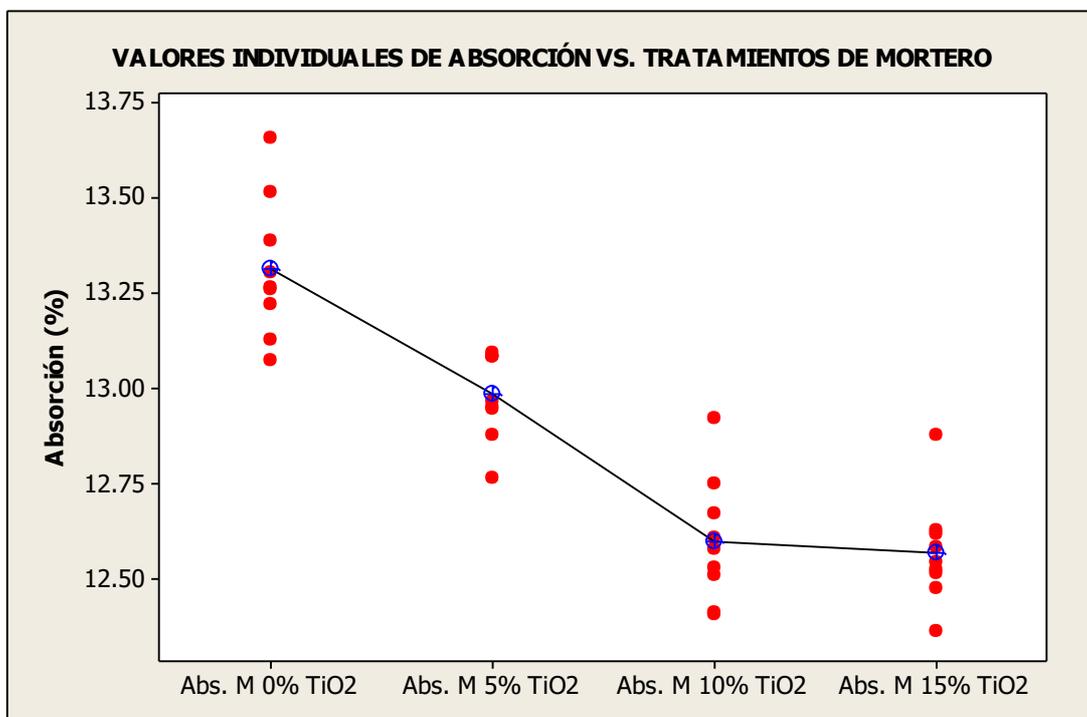


Figura 9: Valores individuales de Absorción vs. Tratamientos de mortero

La figura 9 valores individuales muestra que cada tratamiento tuvo una absorción promedio diferente. El tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  tuvo la mayor absorción promedio y el tratamiento con 15% de  $\text{TiO}_2$  tuvo la menor absorción promedio. Se apreció además que conforme aumentó el porcentaje de  $\text{TiO}_2$  la absorción promedio disminuyó.

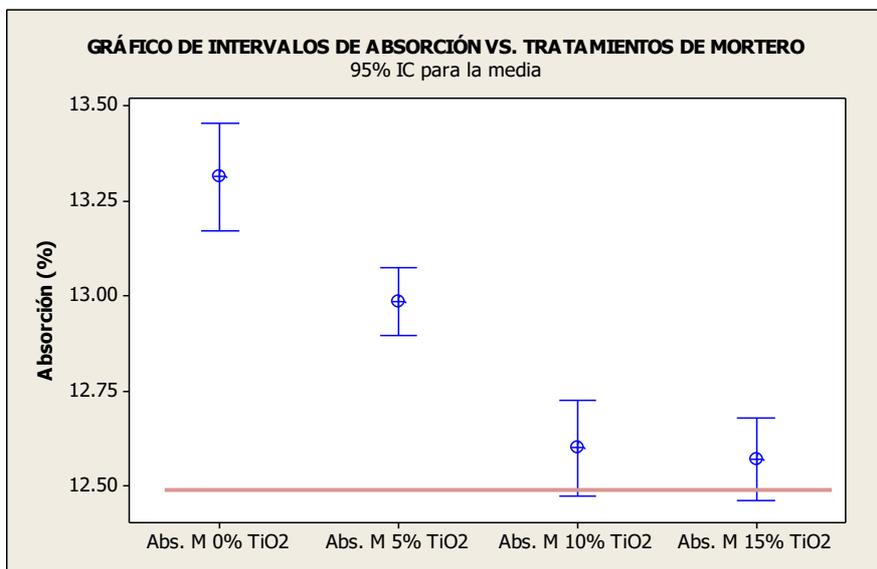


Figura 10: Gráfico de intervalos.

La figura 10 muestra los intervalos de absorción de cada tratamiento. Así mismo, la línea roja nos confirmó lo obtenido en las pruebas de ANOVA y Tukey, es decir, que los tratamientos difirieron estadísticamente pues no atraviesa a más de un tratamiento, con excepción de los tratamiento con 10 y 15 %  $\text{TiO}_2$ .

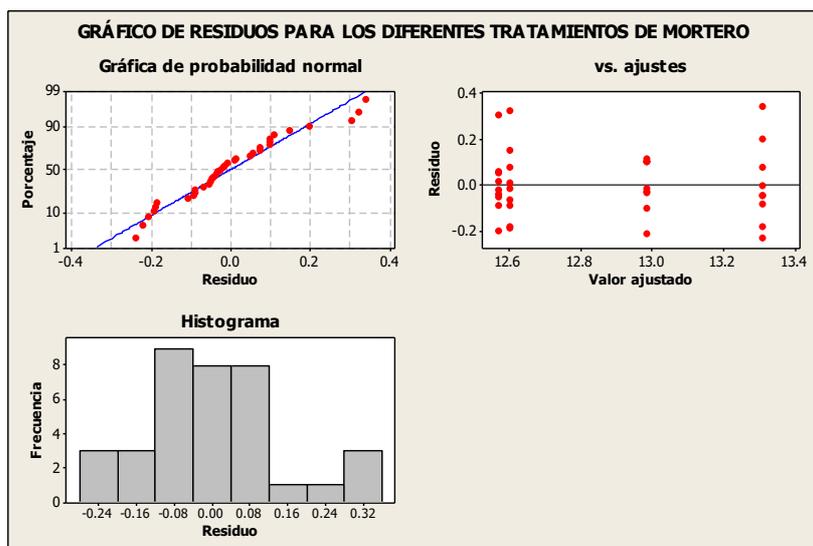


Figura 11: Gráfico de residuos para los diferentes tratamientos de mortero.

El gráfico de probabilidad normal no detectó anomalías. Una línea aproximadamente recta indica que los residuos se distribuyen normalmente y esto fue lo que sucedió. El histograma fue aproximadamente simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados no detectó varianza no constante, términos de orden superior omitidos, aunque si un valor atípico. Los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a cero.

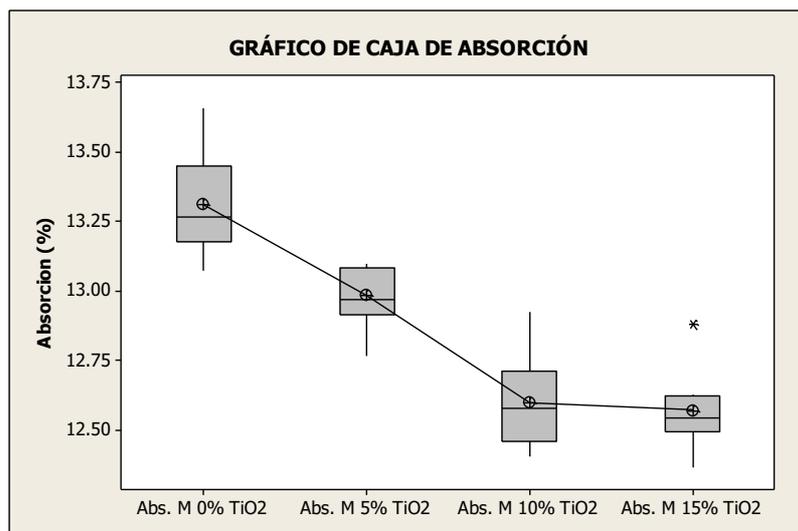


Figura 12: Gráfico de caja de absorción.

La figura 12 indica que la absorción varió entre los distintos tratamientos, lo que resulta coherente con la figura 10 de valores individuales. Los gráficos de caja indicaron la presencia de un valor atípico (señalados con \*) que corresponden a un valor de absorción con muy bajo valor o con muy alto valor en el tratamiento con 15% de  $\text{TiO}_2$ .

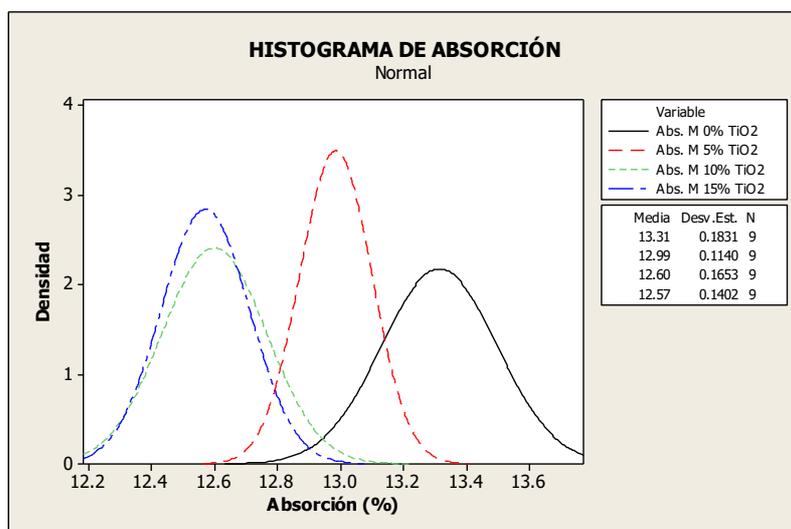


Figura 13: Histograma de absorción.

La figura 13 - histograma agrupado muestra que los tratamientos con 10 y 15% de TiO<sub>2</sub> fueron similares en cuanto a porcentaje de absorción promedio y la dispersión de absorción. En contraste, la absorción promedio del tratamiento con 5% de TiO<sub>2</sub> fue mayor y fue menos disperso; la absorción promedio del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> fue la mayor de todas y fue la más dispersa.

## 5.2 Análisis de los resultados de la prueba de resistencia a la compresión en especímenes rectangulares de mortero cemento arena 1:4 a la edad de 28 días

Especimen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	M° con 10% TiO <sub>2</sub>	M° con 15% TiO <sub>2</sub>
R- 01	194.35	203.28	199.99	200.02
R- 02	215.98	186.75	217.17	164.94
R- 03	228.00	190.89	143.20	164.15
R- 04	183.57	204.05	193.65	155.26
R- 05	237.80	192.90	182.61	155.31
R- 06	212.77	209.06	201.97	160.32
R- 07	242.95	215.63	210.78	144.51
R- 08	221.52	180.40	181.18	168.16
R- 09	182.00	223.28	187.25	132.01
Promedio	213.21	200.69	190.87	160.52

Tabla 9: Ensayo de resistencia a la compresión en especímenes rectangulares de mortero cemento arena 1:4 a la edad de 28 días para los tratamientos en estudio.

### 5.2.1 Resumen de los promedios de cada tratamiento realizado

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
213.21	200.69	190.87	160.52

Tabla 10: Resumen de los promedios de las resistencias a la compresión obtenidas a los 28 días para los diferentes tratamientos.

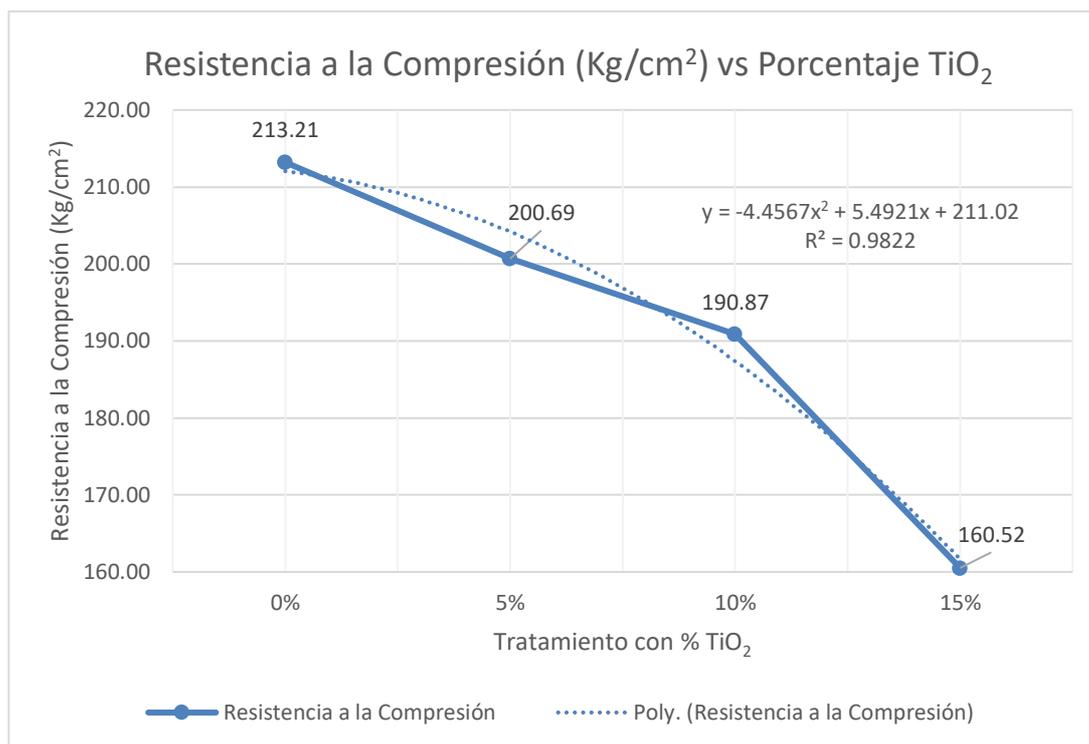


Figura 14: Ensayo de resistencia a la compresión promedio vs % TiO<sub>2</sub>

En La figura 14 se observa que el mortero elaborado sin dióxido de titanio presentó el mayor promedio de resistencia a la compresión (231.21 kg/cm<sup>2</sup>). El tratamiento elaborado con 15% de dióxido de titanio presentó el menor promedio de resistencia a la compresión (160.52 kg/cm<sup>2</sup>).

Además, en la figura 14 se observa que hay una disminución paulatina y descendente de la resistencia a la compresión conforme el tratamiento tuvo mayor porcentaje de dióxido de titanio. Es decir, que al adicionar mayor cantidad del fotocatalizador dióxido de titanio a los tratamientos de mortero, éstos disminuyeron su resistencia a la compresión.

### 5.2.2 Análisis Estadístico de resistencia a la compresión a la edad de 28 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable resistencia a la compresión. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Para el análisis de varianza (ANOVA) y Tukey se utilizó el programa Minitab 16. Los resultados se presentan a continuación:

#### Método

Hipótesis nula                    Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna                Por lo menos una media es diferente  
Nivel de significancia     $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

#### Información del factor

Factor    Niveles    Valores  
Factor            4    M SIN TIO2, M 5%TIO2, M 10% TIO2, M 15% TIO2

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	13645	4548	12.03	0.000 < 0.05
Error	32	12103	378		
Total	35	25748			

#### Resumen del modelo

S = 19.45    R-cuad. = 53.00%    R-cuad. (ajustado) = 48.59%

### Comparaciones en parejas de Tukey

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

	N	Media	Agrupación
Res M 0% TiO2	9	213.22	A
Res M 5% TiO2	9	200.69	A
Res M 10% TiO2	9	190.87	A
Res M 15% TiO2	9	160.52	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En los cálculos anteriormente obtenidos para ANOVA, el valor p (0.000) proporcionó suficiente evidencia de que la resistencia difirió cuando  $\alpha$  es 0.05. En los intervalos de confianza individual del 95%, se observa que los intervalos de 0, 5 y 10 % de TiO<sub>2</sub> son los intervalos que se superponen, lo que da crédito a la teoría de que las medias fueron estadísticamente distintas.

La prueba de Tukey proporcionó tres conjuntos de intervalos de comparación múltiple: Media del mortero con 0% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 5, 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 5% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 10% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 15% TiO<sub>2</sub>.

El primer intervalo del tercer conjunto de salida de Tukey fue -55.18 a -5.52. Es decir, la media de la resistencia con 10% TiO<sub>2</sub> menos la media de la resistencia con 15% TiO<sub>2</sub> es una cifra entre -55.18 a -5.52. Debido a que el intervalo no incluyó a cero, la

diferencia entre la resistencia a la compresión de los dos tratamientos fue estadísticamente significativa. Se interpretó de modo similar los demás resultados de la prueba de Tukey. Las medias para los tratamientos difirieron significativamente debido a que ningún intervalo de confianza incluyó el cero, a excepción de los intervalos pertenecientes a los tratamientos con 0, 5 y 10 %  $\text{TiO}_2$ .

En conclusión, en el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) al ser el valor de  $p < 0.05$  se observa que la fuente de variabilidad de los tratamientos tuvo diferencia estadística entre los promedios de resistencia a la compresión. De acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey los tratamientos con 0, 5 y 10 % de  $\text{TiO}_2$  fueron significativamente similares. Y el tratamiento con 15 %  $\text{TiO}_2$  fue significativamente diferente con el resto de tratamientos. A continuación, se mostraron las figuras generadas por las comparaciones realizadas por ANOVA y TUKEY.

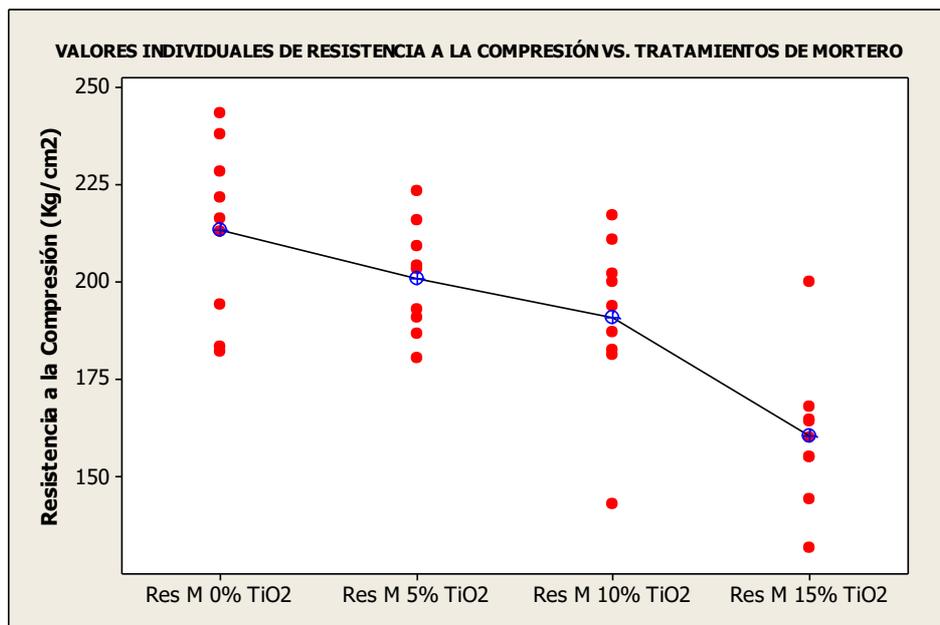


Figura 15: Valores individuales de Resistencia a la Compresión vs. Tratamientos

La figura 15 muestra que cada tratamiento tuvo una resistencia a la compresión promedio diferente. El tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  tuvo la mayor resistencia promedio y el tratamiento con 15% de  $\text{TiO}_2$  tuvo la menor resistencia promedio. Se apreció además que conforme aumentó el porcentaje de  $\text{TiO}_2$  la resistencia promedio disminuyó.

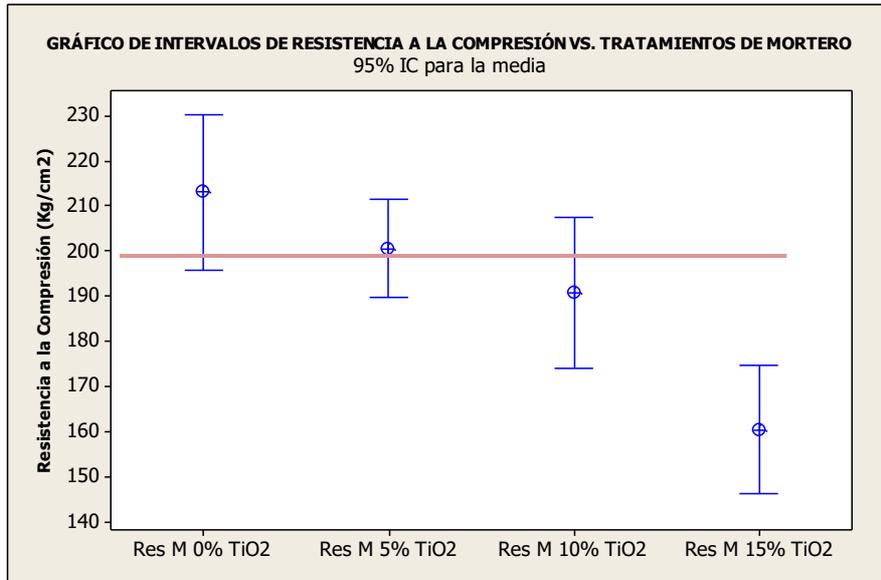


Figura 16: Gráfico de intervalos de resistencia a la compresión.

La figura 16 muestra los intervalos de resistencia a la compresión de cada tratamiento. Así mismo, la línea roja nos confirmó lo obtenido en las pruebas de ANOVA y Tukey, es decir, que los tratamientos difirieron estadísticamente pues la línea roja no atraviesa a todos los tratamientos.

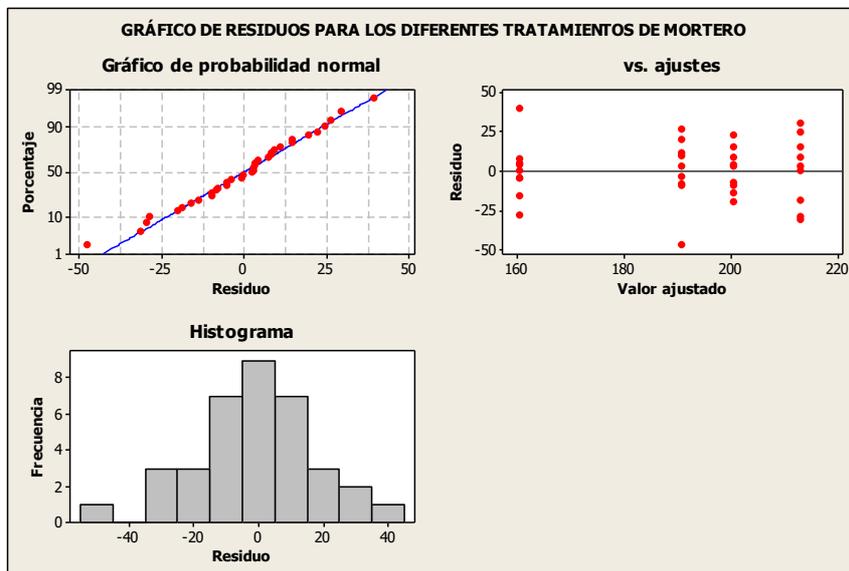


Figura 17: Gráfico de residuos para los diferentes tratamientos de mortero.

El gráfico de probabilidad normal no detectó anomalías. Una línea aproximadamente recta indica que los residuos se distribuyen normalmente y esto fue lo que sucedió. El histograma fue aproximadamente simétrico y con forma de campana. El

gráfico de residuos contra los valores ajustados no detectó varianza no constante, términos de orden superior omitidos, aunque si dos valores atípicos. Los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a cero.

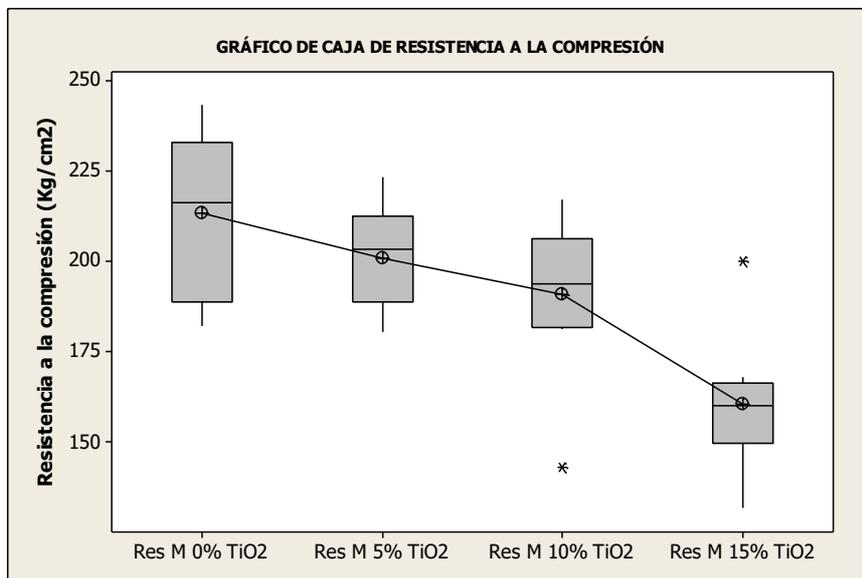


Figura 18: Gráfico de caja de resistencia a la compresión.

La figura 18 indica que la resistencia a la compresión varió entre los distintos tratamientos, lo que resulta coherente con la figura 16 de valores individuales. Los gráficos de caja indicaron la presencia de dos valores atípicos (señalados con \*) que corresponden a un valor de resistencia con muy bajo valor o con muy alto valor.

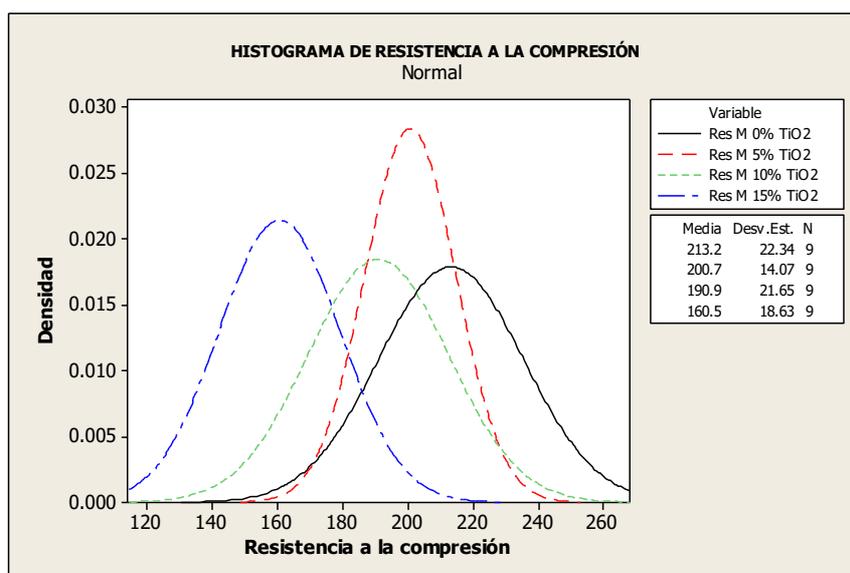


Figura 19: Histograma de resistencia a la compresión.

La figura 19 - histograma agrupado muestra que los tratamientos con 0, 5 y 10 % de TiO<sub>2</sub> son similares en cuanto a la dispersión. En contraste, la resistencia promedio del tratamiento con 5% de TiO<sub>2</sub> fue menos disperso. Se apreció además que la resistencia promedio más alta fue la del tratamiento base y la más baja la de tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub>.

### 5.3 Análisis de los resultados de la prueba de fluidez de mortero cemento arena 1:4 para los diferentes tratamientos realizados

Espécimen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	M° con 10% TiO <sub>2</sub>	M° con 15% TiO <sub>2</sub>
F- 01	82.83	73.67	83.33	69.17
F- 02	83.50	77.67	72.67	72.83
F- 03	86.67	85.17	70.00	72.17
F- 04	89.67	83.33	74.50	68.83
F- 05	83.67	78.00	79.50	72.67
F- 06	88.00	82.83	72.67	71.17
F- 07	84.50	80.00	82.67	71.00
F- 08	89.50	84.17	72.50	68.00
F- 09	86.67	84.50	77.50	69.33
Promedio	86.11	81.04	76.15	70.57

Tabla 11: Prueba de fluidez de mortero cemento arena 1:4 para los diferentes tratamientos en estudio.

#### 5.3.1 Resumen de los promedios de cada tratamiento realizado

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
86.11	81.04	76.15	70.57

Tabla 12: Resumen de los promedios de la prueba de fluidez de mortero cemento arena 1:4 para los diferentes tratamientos en estudio.

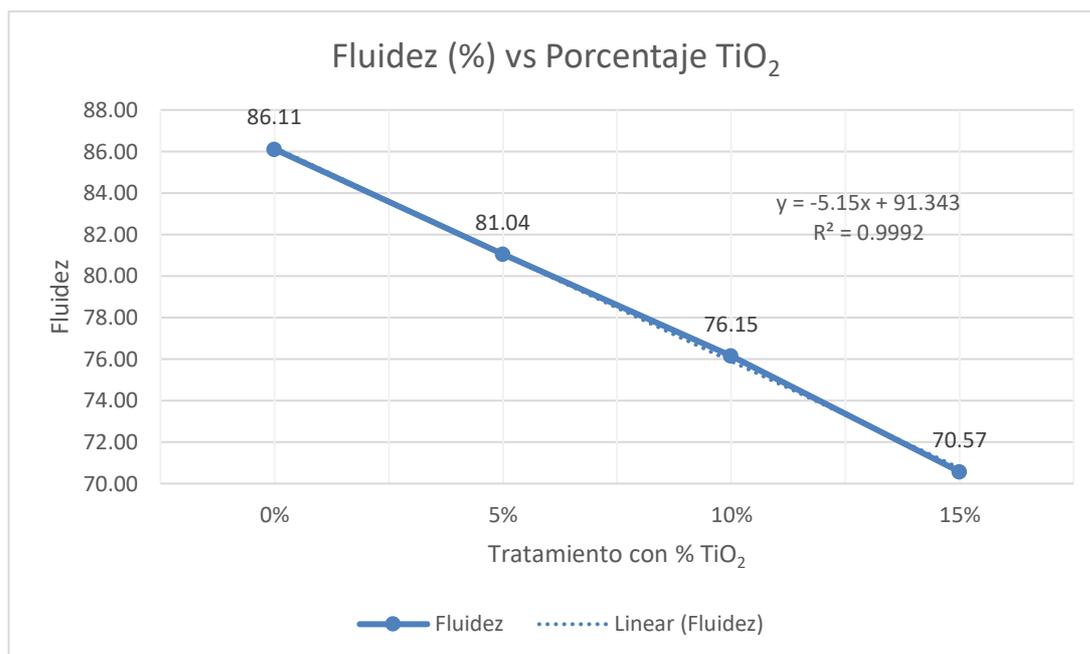


Figura 20: Prueba de fluidez promedio vs % TiO<sub>2</sub>

En la figura 20 se observa que el mortero elaborado sin dióxido de titanio presentó el mayor promedio de fluidez (86.11 %). El tratamiento elaborado con 15% de dióxido de titanio presentó el menor promedio de fluidez (70.57 %).

Además, en la figura 20 se observa que hay una disminución paulatina y descendente de la fluidez conforme el tratamiento tuvo mayor porcentaje de dióxido de titanio. Es decir, que al adicionar mayor cantidad del fotocatalizador dióxido de titanio a los tratamientos de mortero, éstos disminuyeron su fluidez.

### 5.3.2 Análisis estadístico de la prueba de fluidez

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable fluidez. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Para el análisis de varianza (ANOVA) y Tukey se utilizó el programa Minitab 16. Los resultados se presentan a continuación:

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	Por lo menos una media es diferente
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.  
Información del factor

Factor Niveles Valores  
Factor 4 M SIN TiO<sub>2</sub>, M 5%TiO<sub>2</sub>, M 10% TiO<sub>2</sub>, M 15% TiO<sub>2</sub>

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	1194.4	398.1	32.77	0.000 < 0.05
Error	32	388.8	12.1		
Total	35	1583.2			

Resumen del modelo

S = 3.486 R-cuad. = 75.44% R-cuad.(ajustado) = 73.14%

## Comparaciones en parejas de Tukey

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

	N	Media	Agrupación
F 0% TiO <sub>2</sub>	9	86.111	A
F 5% TiO <sub>2</sub>	9	81.037	B
F 10% TiO <sub>2</sub>	9	76.148	C
F 15% TiO <sub>2</sub>	9	70.574	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En los cálculos anteriormente obtenidos para ANOVA, el valor p (0.000) proporcionó suficiente evidencia de que la fluidez difirió cuando  $\alpha$  es 0.05. En los intervalos de confianza individual del 95%, se observa que los intervalos de 0, 5, 10 y 15% de TiO<sub>2</sub> no se superponen, lo que da crédito a la teoría de que las medias fueron estadísticamente distintas.

La prueba de Tukey proporcionó tres conjuntos de intervalos de comparación múltiple: Media del mortero con 0% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 5, 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 5% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 10% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 15% TiO<sub>2</sub>.

El primer intervalo del primer conjunto de salida de Tukey fue -9.52 a -0.62. Es decir, la media de la fluidez con 0% TiO<sub>2</sub> menos la media de la fluidez con 5% TiO<sub>2</sub> es una cifra entre -9.52 a -0.62. Debido a que el intervalo no incluyó a cero, la diferencia entre la fluidez de los dos tratamientos fue estadísticamente significativa. Se interpretó de modo similar los demás resultados de la prueba de Tukey. Las medias para los tratamientos difirieron significativamente debido a que ningún intervalo de confianza incluyó el cero.

En conclusión, en el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) al ser el valor de  $p < 0.05$  se observa que la fuente de variabilidad de los tratamientos tuvo diferencia estadística entre los promedios de fluidez. De acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey todos los tratamientos son significativamente diferente entre sí. A continuación, se mostraron las figuras generadas por las comparaciones realizadas por ANOVA y TUKEY.

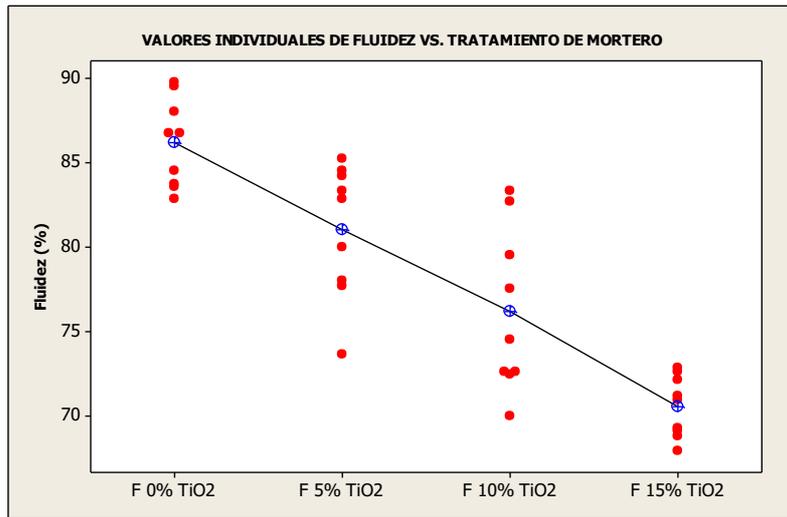


Figura 21: Valores individuales de Fluidez vs. Tratamientos en Estudio

La figura 21 de valores individuales muestra que cada tratamiento tuvo una fluidez promedio diferente. El tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  tuvo la mayor fluidez promedio y el tratamiento con 15% de  $\text{TiO}_2$  tuvo la menor fluidez promedio. Se apreció además que conforme aumentó el porcentaje de  $\text{TiO}_2$  la fluidez promedio disminuyó.

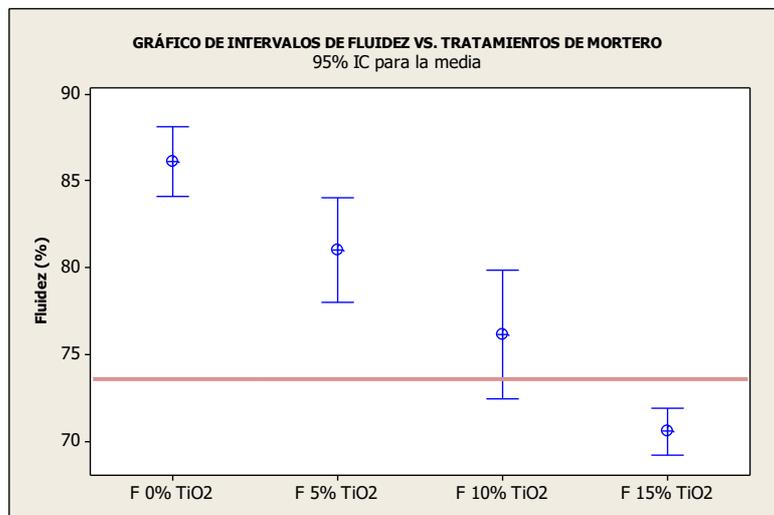


Figura 22: Gráfico de intervalos de fluidez.

La figura 22 muestra los intervalos de fluidez de cada tratamiento. Así mismo, la línea roja nos confirmó lo obtenido en las pruebas de ANOVA y Tukey, es decir, que los tratamientos difirieron estadísticamente pues la línea roja no atraviesa a todos los tratamientos.

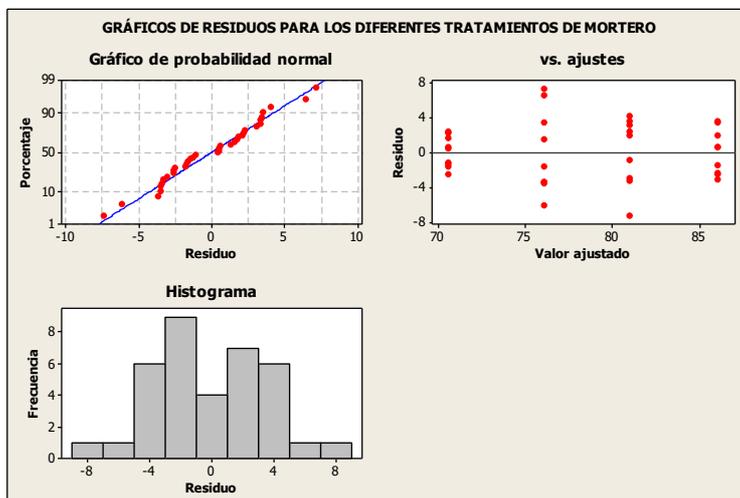


Figura 23: Gráficos de residuos para los diferentes tratamientos de mortero.

El gráfico de probabilidad normal no detectó anomalías. Una línea aproximadamente recta indica que los residuos se distribuyen normalmente y esto fue lo que sucedió. El histograma fue aproximadamente simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados no detectó varianzas no constantes, términos de orden superior omitidos, ni valores atípicos. Los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a cero.

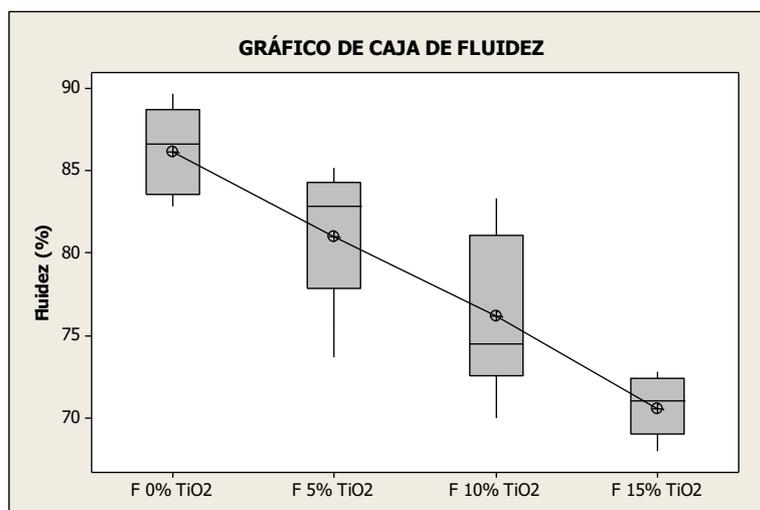


Figura 24: Gráfico de caja de fluidez.

El gráfico de caja indica que la fluidez varió entre los distintos tratamientos y no indica la presencia de valores atípicos (señalados con \*) que corresponden a un valor de fluidez con muy bajo valor o con muy alto valor.

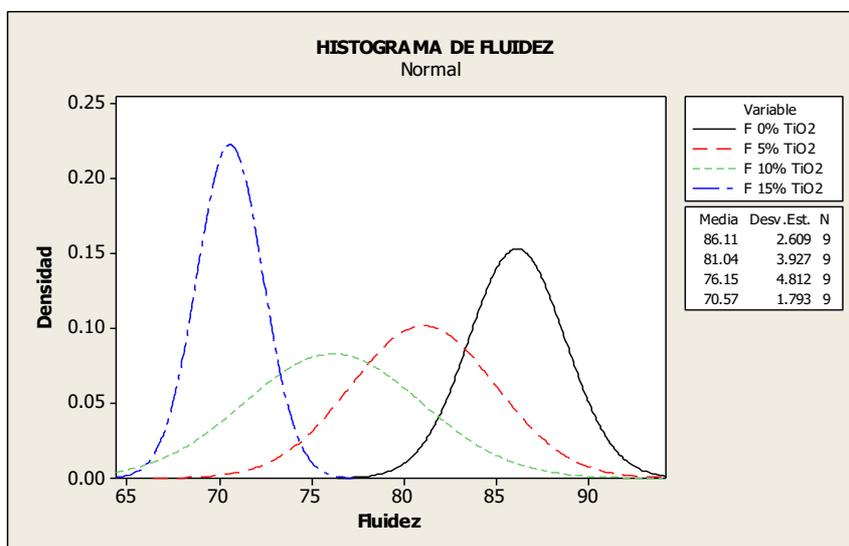


Figura 25: Histograma de fluidez

La figura 25 de histograma agrupado muestra que los tratamientos fueron diferentes en cuanto a la dispersión. Además, la fluidez promedio del tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> fue el menos disperso y la fluidez promedio del tratamiento con 10% de TiO<sub>2</sub> fue el más disperso. Se apreció además que la fluidez más alta fue la del tratamiento base y la más baja la de tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub>.

#### 5.4 Análisis de los resultados de la prueba de Rodamina (UNI 11259) – materiales fotocatalíticos

Inicialmente se realizaron los especímenes estándar de concreto para este ensayo (especímenes prismáticos rectangulares de 10 cm x 10 cm x 2 cm), posteriormente se aplicó el pigmento Rodamina B, luego se expuso los especímenes a una lámpara de rayos UV. Luego de esto, se hizo medidas con colorímetro (medidor de pigmentación) durante 26 horas, tomando énfasis en la medida inicial (t=0h), a las 4 horas (t=4h) y a las 26 horas (t=26h) pues esos resultados fueron necesarios para poder aplicar las fórmulas de la prueba de Rodamina. Para esto se realizaron 9 ensayos para cada tratamiento propuesto (0%, 5%, 10% y 15% de TiO<sub>2</sub>) los cuales fueron medidos en los siguientes tiempos en horas (0, 1, 2, 4, 5, 10, 20 y 26 horas).

**5.4.1 Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 0 horas.**

Especimen	M° sin TiO2	M° con 5% TiO2	M° con 10% TiO2	M° con 15% TiO2
<b>Au- 01</b>	17.96	17.96	17.96	17.96
<b>Au- 02</b>	17.96	17.96	17.96	17.96
<b>Au- 03</b>	17.96	17.96	17.96	17.96
<b>Au- 04</b>	17.96	17.96	17.96	17.96
<b>Au- 05</b>	17.96	17.96	17.96	17.96
<b>Au- 06</b>	17.96	17.96	17.96	17.96
<b>Au- 07</b>	17.96	17.96	17.96	17.96
<b>Au- 08</b>	17.96	17.96	17.96	17.96
<b>Au- 09</b>	17.96	17.96	17.96	17.96
Promedio	17.96	17.96	17.96	17.96

Tabla 13: Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 0 horas (t=0h).

**5.4.1.1 Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=0h)**

0% TiO2	5% TiO2	10% TiO2	15% TiO2
17.96	17.96	17.96	17.96

Tabla 14: Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=0h)

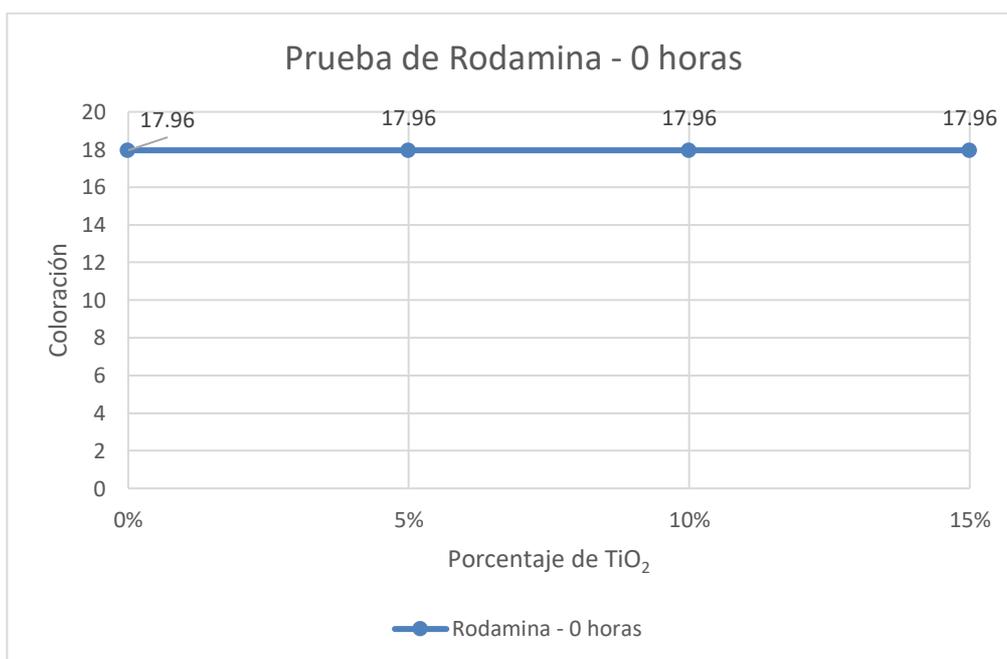


Figura 26: Prueba de Rodamina – 0 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

En la tabla 13, 14 y la figura 26 se observa que todos los tratamientos tienen la misma medida de coloración, esto debido a que se decidió valorar así los resultados para poder tener un inicio comparativo más exacto. Es decir, todos los tratamientos tuvieron su punto de inicio en la coloración obtenido para el tratamiento sin TiO<sub>2</sub> que fue de 17.96.

#### 5.4.2 Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a la 1 hora.

Especimen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	M° con 10% TiO <sub>2</sub>	M° con 15% TiO <sub>2</sub>
<b>Au- 01</b>	17.42	15.70	14.72	13.67
<b>Au- 02</b>	17.39	15.82	14.65	13.52
<b>Au- 03</b>	17.21	15.99	14.71	13.73
<b>Au- 04</b>	17.49	15.85	14.52	13.75
<b>Au- 05</b>	17.50	16.03	14.49	13.56
<b>Au- 06</b>	17.24	15.93	14.55	13.63
<b>Au- 07</b>	17.45	15.76	14.39	13.53
<b>Au- 08</b>	17.28	15.81	14.48	13.66
<b>Au- 09</b>	17.45	16.01	14.63	13.59
Promedio	17.38	15.88	14.57	13.63

Tabla 15: Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a la 1 hora (t=1h).

##### 5.4.2.1 Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=1h)

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
17.38	15.88	14.57	13.63

Tabla 16: Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=1h)

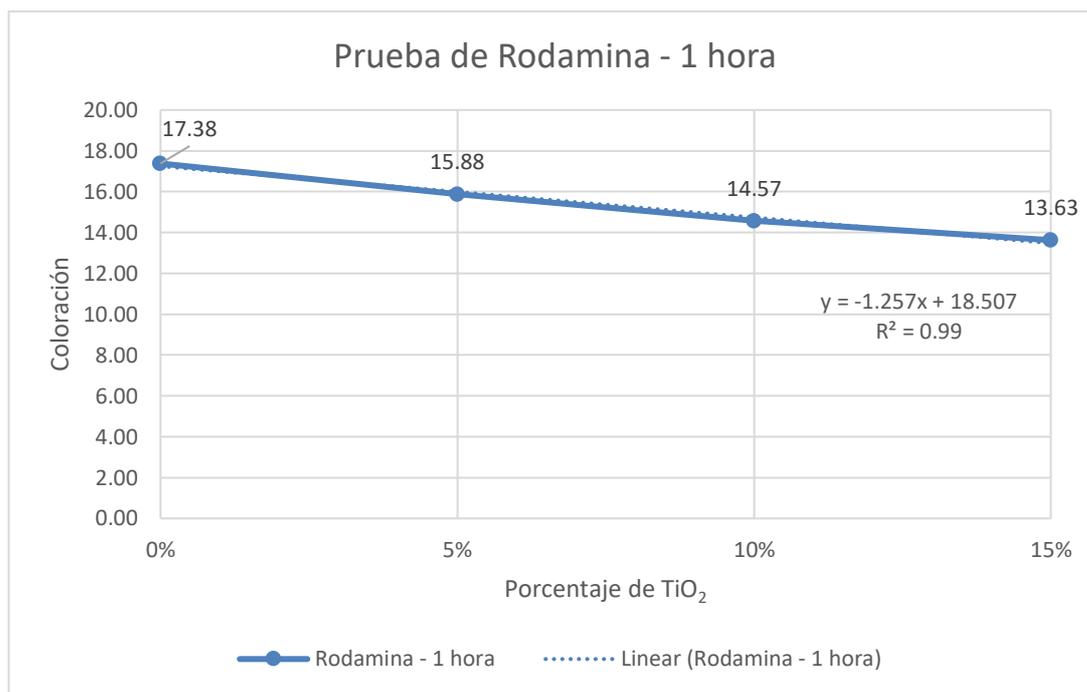


Figura 27: Prueba de Rodamina – 1 Hora. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

En la tabla 15, 16 y la figura 27 se obtuvieron los promedios medidos a 1 hora de cada tratamiento, además se observa que existió un descenso de la coloración conforme se incluye el TiO<sub>2</sub>. El valor más alto de coloración fue del tratamiento base sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 17.38 y el valor más bajo de la coloración fue el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 13.63.

#### 5.4.3 Prueba de Rodamina en especímenes rectangulares medido a las 2 horas

Especímen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	M° con 10% TiO <sub>2</sub>	M° con 15% TiO <sub>2</sub>
<b>Au- 01</b>	17.15	15.05	13.23	12.82
<b>Au- 02</b>	16.98	15.09	13.15	12.71
<b>Au- 03</b>	17.02	14.89	13.11	12.66
<b>Au- 04</b>	17.23	14.92	13.09	12.65
<b>Au- 05</b>	16.95	15.12	13.02	12.61
<b>Au- 06</b>	17.18	14.77	13.26	12.63
<b>Au- 07</b>	17.21	14.83	12.98	12.77
<b>Au- 08</b>	17.05	14.86	12.95	12.56
<b>Au- 09</b>	17.16	15.01	12.91	12.47
Promedio	17.10	14.95	13.08	12.65

Tabla 17: Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 2 horas (t=2h)

### 5.4.3.1 Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=2h)

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
17.10	14.95	13.08	12.65

Tabla 18: Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=2h)

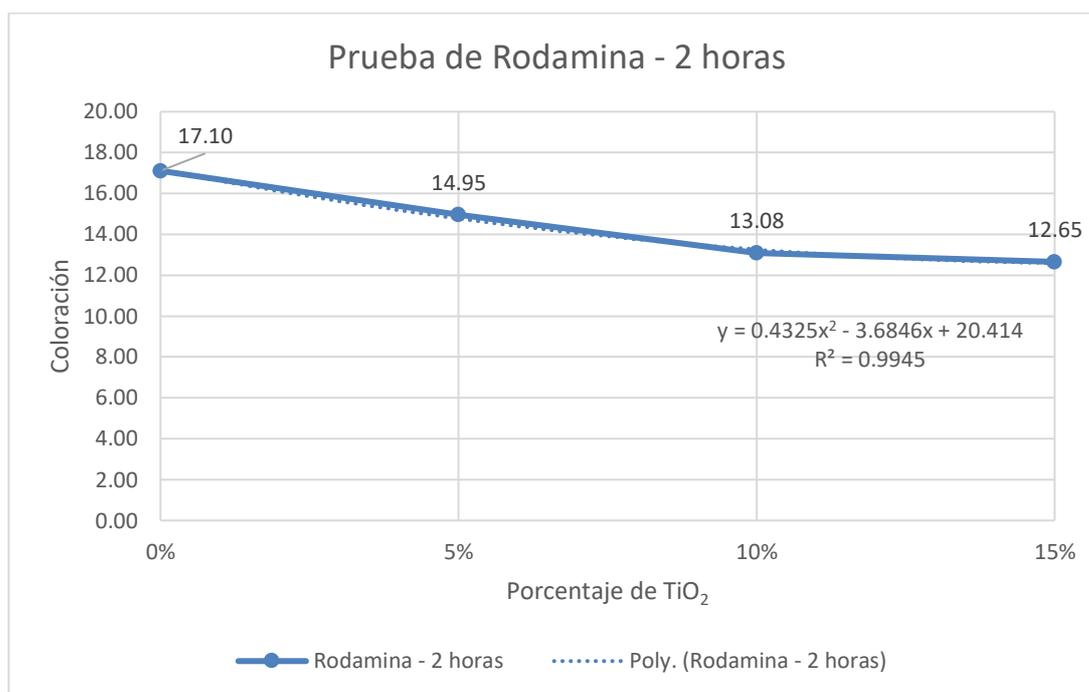


Figura 28: Prueba de Rodamina – 2 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

En la tabla 17, 18 y la figura 28 se obtuvieron los promedios medidos a las 2 horas de cada tratamiento, además se observa que existió un descenso de la coloración conforme se incluye el TiO<sub>2</sub> siguiendo la tendencia marcada en los resultados obtenidos en la figura 27. Además, los valores de coloración también descendieron respecto a los obtenidos en la medición de 1 hora y obviamente de los obtenidos a las 0 horas.

El valor más alto de coloración fue del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 17.10 y el valor más bajo de la coloración fue el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 12.65.

#### 5.4.4 Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 4 horas.

Espécimen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	M° con 10% TiO <sub>2</sub>	M° con 15% TiO <sub>2</sub>
Au- 01	16.75	12.86	10.17	9.66
Au- 02	16.59	12.72	9.97	9.45
Au- 03	16.81	12.65	10.02	9.53
Au- 04	16.66	12.81	10.15	9.61
Au- 05	16.82	12.63	10.21	9.40
Au- 06	16.71	12.70	10.04	9.39
Au- 07	16.69	12.59	9.95	9.46
Au- 08	16.77	12.57	9.99	9.42
Au- 09	16.84	12.67	10.01	9.56
Promedio	16.74	12.69	10.06	9.50

Tabla 19: Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 4 horas (t=4h)

##### 5.4.4.1 Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=4h)

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
16.74	12.69	10.06	9.50

Tabla 20: Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=4h)

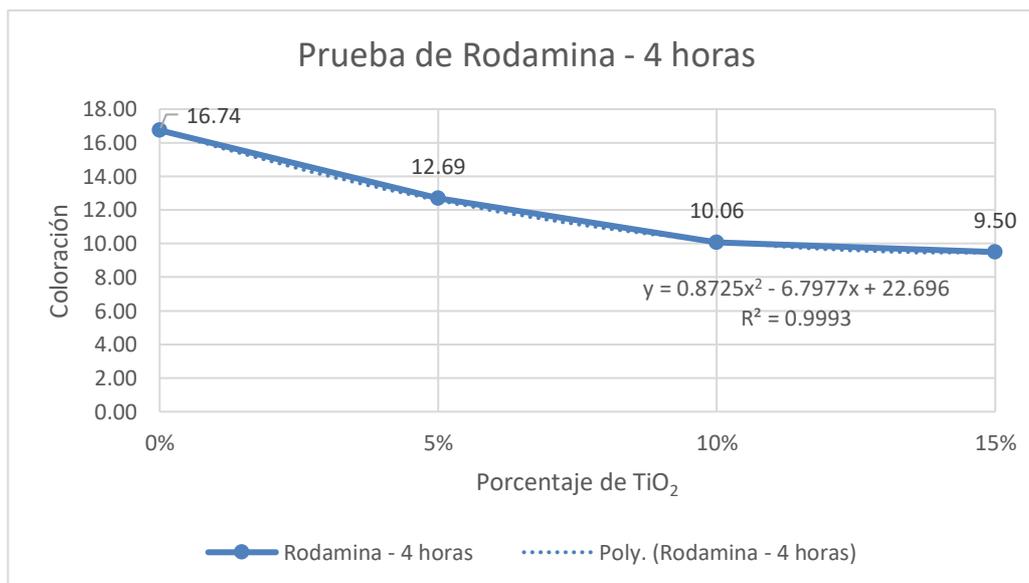


Figura 29: Prueba de Rodamina – 4 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

En la tabla 19, 20 y la figura 29 se obtuvieron los promedios medidos a las 4 horas de cada tratamiento, además se observa que existió un descenso de la coloración conforme se incluye el TiO<sub>2</sub> siguiendo la tendencia marcada en los resultados obtenido en 1 hora y 2 horas. Además, los valores de coloración también descendieron respecto a los obtenidos en las mediciones de 0, 1 y 2 horas. El valor más alto de coloración fue del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 16.74 y el valor más bajo de la coloración fue el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 9.50.

#### 5.4.5 Prueba de Rodamina en especímenes rectangulares medido a las 5 horas.

Espécimen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	M° con 10% TiO <sub>2</sub>	M° con 15% TiO <sub>2</sub>
<b>Au- 01</b>	16.59	11.45	9.02	7.71
<b>Au- 02</b>	16.22	11.34	8.84	7.41
<b>Au- 03</b>	16.51	11.39	9.08	7.73
<b>Au- 04</b>	16.45	11.28	8.76	7.55
<b>Au- 05</b>	16.43	11.25	8.79	7.59
<b>Au- 06</b>	16.37	11.48	8.81	7.48
<b>Au- 07</b>	16.39	11.21	8.77	7.47
<b>Au- 08</b>	16.28	11.29	9.06	7.66
<b>Au- 09</b>	16.21	11.41	8.71	7.52
Promedio	16.38	11.34	8.87	7.57

Tabla 21: Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 5 horas (t=5h)

##### 5.4.5.1 Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=5h)

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
16.38	11.34	8.87	7.57

Tabla 22: Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=5h)

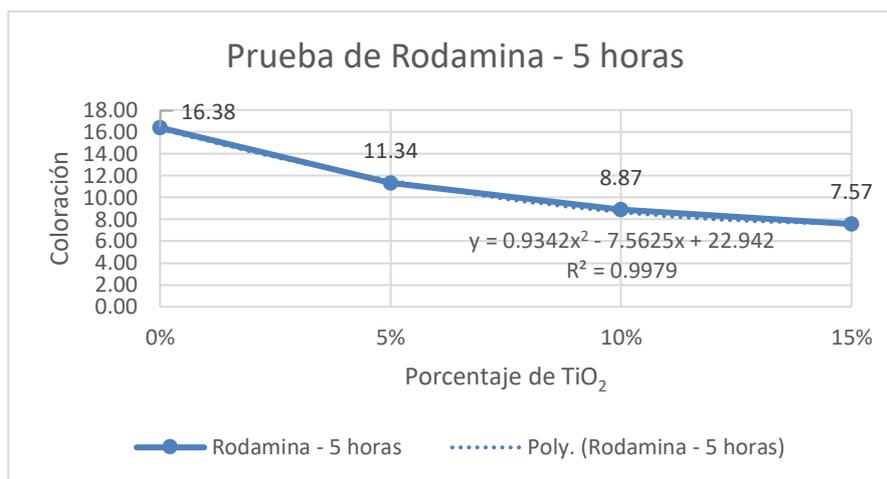


Figura 30: Prueba de Rodamina – 5 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

En la tabla 21, 22 y la figura 30 se obtuvieron los promedios medidos a las 5 horas de cada tratamiento, además se observa que existió un descenso de la coloración conforme se incluye el TiO<sub>2</sub> siguiendo la tendencia marcada en los resultados obtenidos en 1, 2 y 4 horas. Además, los valores de coloración también descendieron respecto a los obtenidos en las mediciones de 0, 1, 2 y 4 horas.

El valor más alto de coloración fue del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 16.38 y el valor más bajo de la coloración fue el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 7.57.

#### 5.4.6 Prueba de Rodamina en especímenes rectangulares medido a las 10 horas.

Especímen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	M° con 10% TiO <sub>2</sub>	M° con 15% TiO <sub>2</sub>
<b>Au- 01</b>	16.35	9.72	6.91	5.16
<b>Au- 02</b>	16.21	9.54	7.03	5.04
<b>Au- 03</b>	16.15	9.61	6.84	5.09
<b>Au- 04</b>	16.31	9.47	6.78	4.92
<b>Au- 05</b>	16.08	9.43	6.72	4.98
<b>Au- 06</b>	16.05	9.59	6.95	4.88
<b>Au- 07</b>	16.28	9.68	6.99	4.86
<b>Au- 08</b>	16.16	9.41	7.02	5.02
<b>Au- 09</b>	16.19	9.56	6.75	4.83
Promedio	16.20	9.56	6.89	4.98

Tabla 23: Prueba de Rodamina en especímen rectangular medido a las 10 horas (t=10h)

### 5.4.6.1 Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=10h)

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
16.20	9.56	6.89	4.98

Tabla 24: Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=10h)

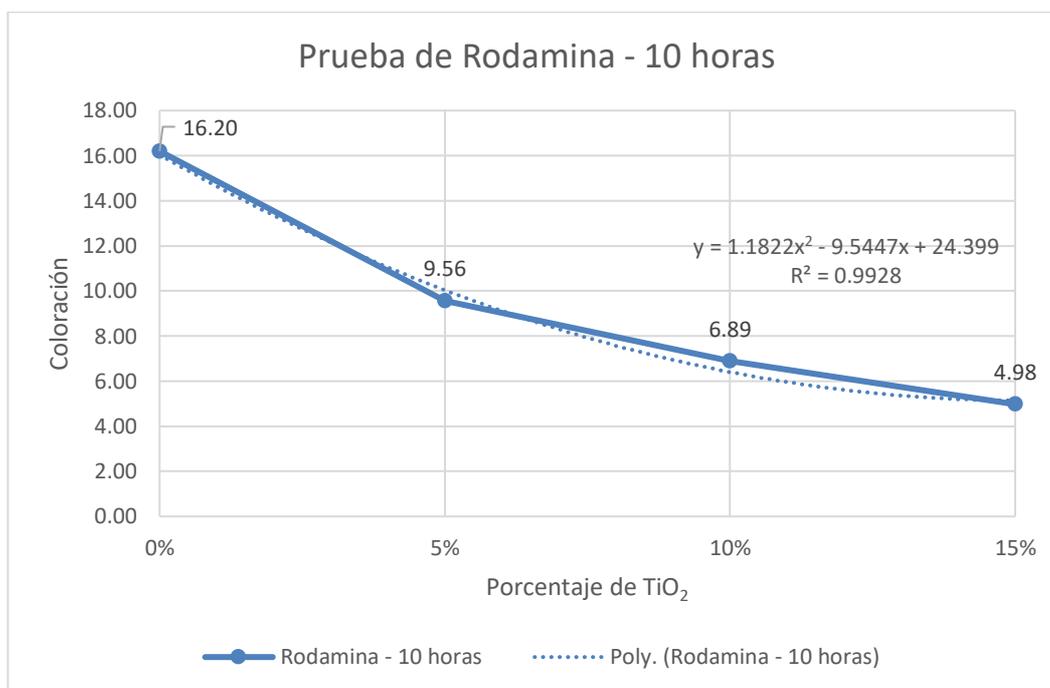


Figura 31: Prueba de Rodamina – 10 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

En la tabla 23, 24 y la figura 31 se obtuvieron los promedios medidos a las 10 horas de cada tratamiento, además se observa que existió un descenso de la coloración conforme se incluye el TiO<sub>2</sub> siguiendo la tendencia marcada en los resultados obtenidos en 1, 2, 4 y 5 horas. Además, los valores de coloración también descendieron respecto a los obtenidos en las mediciones de 0, 1, 2, 4 y 5 horas.

El valor más alto de coloración fue del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 16.20 y el valor más bajo de la coloración fue el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 4.98.

**5.4.7 Prueba de Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 20 horas.**

Espécimen	M° sin TiO2	M° con 5% TiO2	M° con 10% TiO2	M° con 15% TiO2
Au- 01	15.42	7.26	4.08	3.71
Au- 02	15.18	6.97	3.86	3.47
Au- 03	15.09	7.23	4.11	3.52
Au- 04	15.26	7.12	4.06	3.58
Au- 05	15.21	7.05	3.91	3.53
Au- 06	15.43	7.01	3.88	3.72
Au- 07	15.11	7.32	3.94	3.69
Au- 08	15.22	6.99	4.03	3.66
Au- 09	15.40	7.31	3.85	3.51
Promedio	15.26	7.14	3.97	3.60

Tabla 25: Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 20 horas (t=20h)

**5.4.7.1 Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=20h)**

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
15.26	7.14	3.97	3.60

Tabla 26: Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=20h)

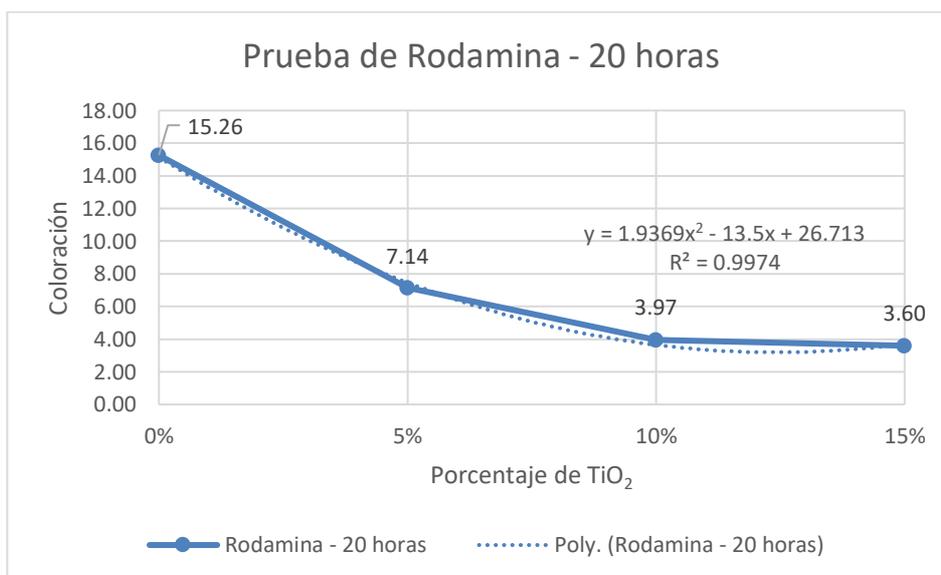


Figura 32: Prueba de Rodamina – 20 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

En la tabla 25, 26 y la figura 32 se obtuvieron los promedios medidos de cada tratamiento, además se observa que existió un descenso de la coloración conforme se incluye el TiO<sub>2</sub> siguiendo la tendencia marcada en los resultados obtenidos en 1, 2, 4, 5 y 10 horas. Además, los valores de coloración también descendieron respecto a los obtenidos en las mediciones de 0, 1, 2, 4, 5 y 10 horas.

. El valor más alto de coloración fue del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 15.26 y el valor más bajo de la coloración fue el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 3.60.

#### 5.4.8 Prueba de Rodamina en especímenes rectangulares medido a las 26 horas.

Espécimen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	M° con 10% TiO <sub>2</sub>	M° con 15% TiO <sub>2</sub>
<b>Au- 01</b>	14.55	6.01	3.29	2.91
<b>Au- 02</b>	14.42	5.96	3.34	2.86
<b>Au- 03</b>	14.38	5.83	3.07	2.74
<b>Au- 04</b>	14.26	5.76	3.09	2.79
<b>Au- 05</b>	14.30	5.87	3.13	2.63
<b>Au- 06</b>	14.29	5.79	3.11	2.67
<b>Au- 07</b>	14.49	5.91	3.18	2.86
<b>Au- 08</b>	14.33	5.80	3.20	2.70
<b>Au- 09</b>	14.21	5.71	3.02	2.60
Promedio	14.36	5.85	3.16	2.75

Tabla 27: Prueba de Rodamina en espécimen rectangular medido a las 26 horas (t=26h)

##### 5.4.8.1 Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=26h)

0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
14.36	5.85	3.16	2.75

Tabla 28: Resumen de los promedios para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=26h)

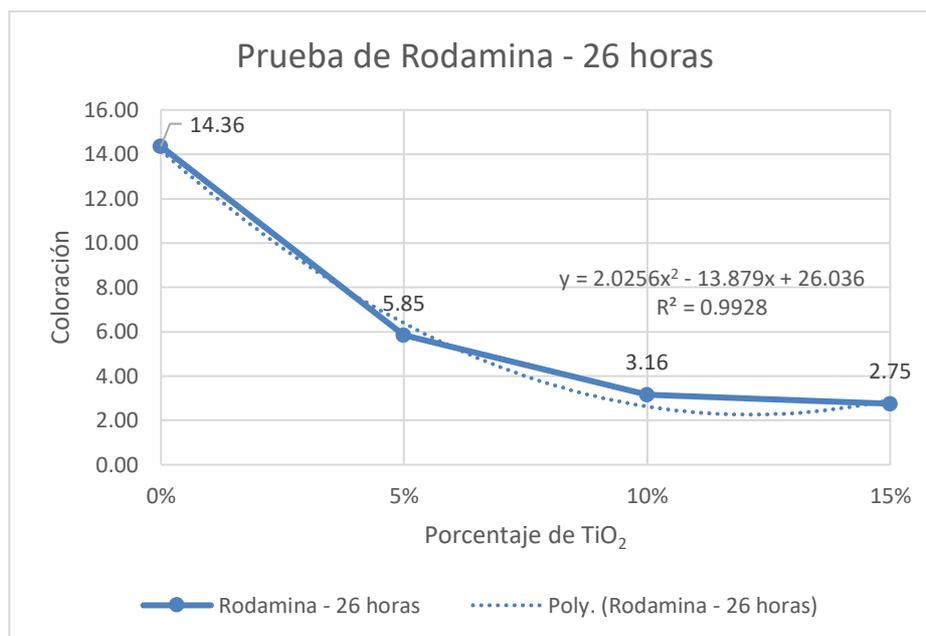


Figura 33: Prueba de Rodamina – 26 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

En la tabla 27, 28 y la figura 33 se obtuvieron los promedios medidos de cada tratamiento, además se observa que existió un descenso de la coloración conforme se incluye el TiO<sub>2</sub> siguiendo la tendencia marcada en los resultados obtenidos en 1, 2, 4, 5, 10 y 20 horas. Además, los valores de coloración también descendieron respecto a los obtenidos en las mediciones de 0, 1, 2, 4, 5, 10 y 20 horas.

El valor más alto de coloración fue del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 14.36 y el valor más bajo de la coloración fue el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 2.75.

#### 5.4.9 Análisis estadístico de la prueba de Rodamina

Al igual que en las pruebas realizadas anteriormente donde se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de rango múltiple Tukey, en la prueba de Rodamina se hizo de igual forma siendo la variable coloración para los tiempos que se utilizaron en las fórmulas de R4 y R 26, es decir los tiempos a las 0, 4 y 26 horas.

Debimos iniciar en el tiempo 0 horas pero como se mencionó líneas arriba decidimos tomar la misma medida para todos los tratamientos en esa hora de medición, por lo que no fue necesario realizar ni pruebas de ANOVA ni de Tukey ya que obviamente pertenecieron al mismo grupo estadístico.

### 5.4.9.1 Análisis estadístico de coloración al tiempo de 4 horas.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable coloración al tiempo de 4 horas. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Para el análisis de varianza (ANOVA) y Tukey se utilizó el programa Minitab 16. Los resultados se presentan a continuación:

Método

Hipótesis nula                    Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna                Por lo menos una media es diferente  
Nivel de significancia         $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	M SIN TIO2, M 5%TIO2, M 10% TIO2, M 15% TIO2

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	294.4631	98.1544	11388.47	0.000 < 0.05
Error	32	0.2758	0.0086		
Total	35	294.7389			

Resumen del modelo

S = 0.09284    R-cuad. = 99.91%    R-cuad. (ajustado) = 99.90%

### Comparaciones en parejas de Tukey

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

	N	Media	Agrupación
Au 0% TiO2	9	16.7378	A
Au 5% TiO2	9	12.6889	B
Au 10% TiO2	9	10.0567	C
Au 15% TiO2	9	9.4978	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En los cálculos anteriormente obtenidos para ANOVA, el valor p (0.000) proporcionó suficiente evidencia de que la coloración difirió cuando  $\alpha$  es 0.05. En los intervalos de confianza individual del 95%, se observa que los intervalos de 0, 5, 10 y 15% de TiO<sub>2</sub> no se superponen, lo que da crédito a la teoría de que las medias fueron estadísticamente distintas.

La prueba de Tukey proporcionó tres conjuntos de intervalos de comparación múltiple: Media del mortero con 0% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 5, 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 5% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 10% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 15% TiO<sub>2</sub>.

El primer intervalo del primer conjunto de salida de Tukey fue -4.17 a -3.93. Es decir, la media de la coloración con 0% TiO<sub>2</sub> menos la media de la coloración con 5% TiO<sub>2</sub> es una cifra entre -4.17 a -3.93. Debido a que el intervalo no incluyó a cero, la diferencia entre la coloración de los dos tratamientos fue estadísticamente significativa. Se interpretó de modo similar los demás resultados de la prueba de Tukey. Las medias de los tratamientos difirieron significativamente debido a que ningún intervalo de confianza incluyó el cero.

En conclusión, en el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) al ser el valor de  $p < 0.05$  se observa que la fuente de variabilidad de los tratamientos tuvo diferencia entre los promedios de coloración. Y de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey todos los tratamientos son significativamente diferente entre sí. A continuación, se mostraron las figuras generadas por las comparaciones realizadas por ANOVA y TUKEY.

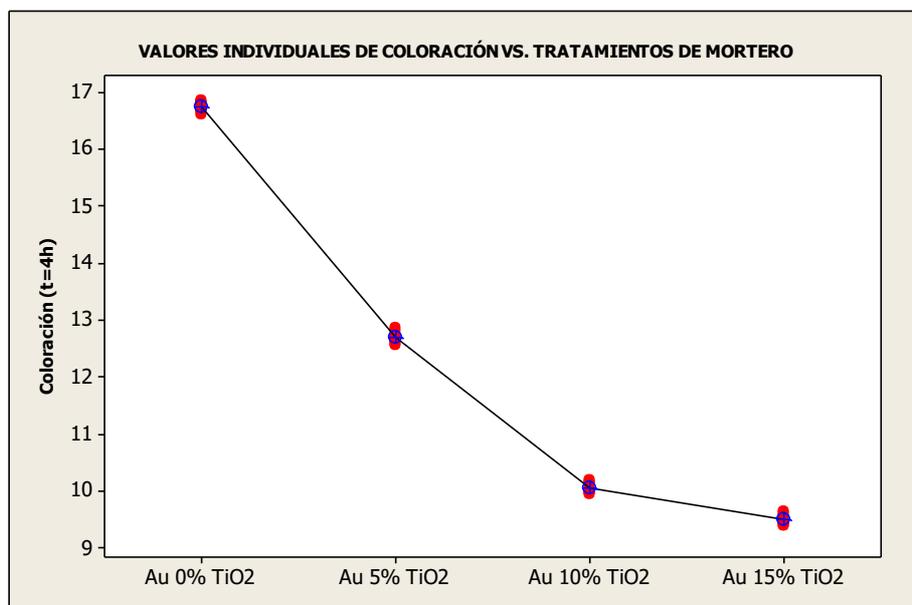


Figura 34: Valores individuales de Coloración vs. Tratamientos en Estudio

La figura 34 de valores individuales muestra que cada tratamiento tuvo una coloración promedio diferente. El tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  tuvo la mayor coloración promedio y el tratamiento con 15% de  $\text{TiO}_2$  tuvo la menor coloración promedio. Se apreció además que conforme aumentó el porcentaje de  $\text{TiO}_2$  la coloración promedio disminuyó.

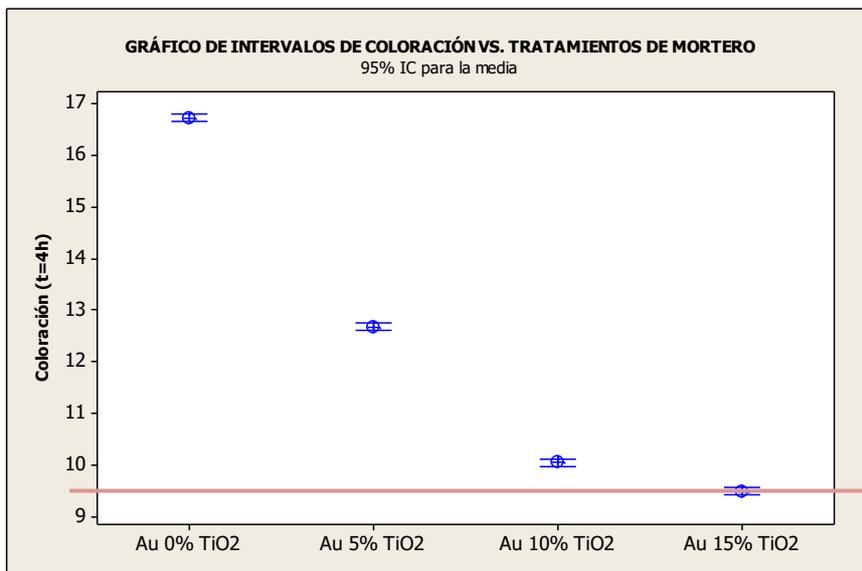


Figura 35: Gráfico de intervalos de coloración.

La figura 35 de intervalos muestra los intervalos de coloración de cada tratamiento. Así mismo, la línea roja nos confirmó lo obtenido en las pruebas de ANOVA y Tukey, es decir, que los tratamientos difirieron estadísticamente pues la línea roja no atraviesa a los tratamientos.

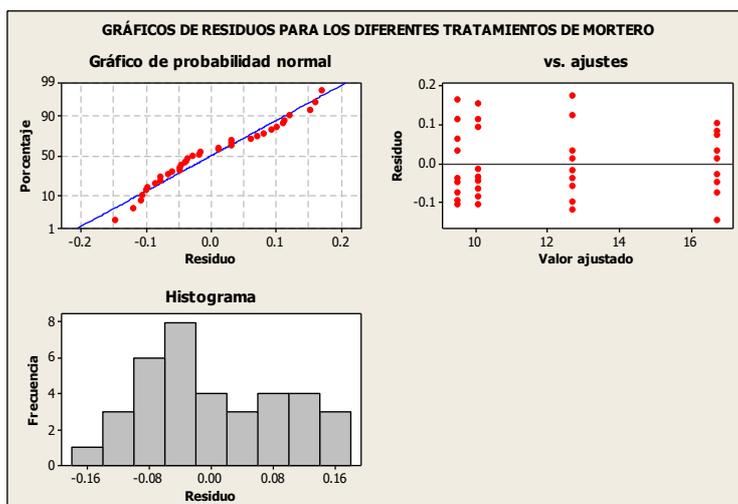


Figura 36: Gráficos de residuos para los diferentes tratamientos de mortero.

El gráfico de probabilidad normal no detectó anomalías. Una línea aproximadamente recta indica que los residuos se distribuyen normalmente y esto fue lo que sucedió. El histograma fue aproximadamente simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados no detectó varianzas no constantes, términos de orden superior omitidos, ni valores atípicos. Los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a cero.

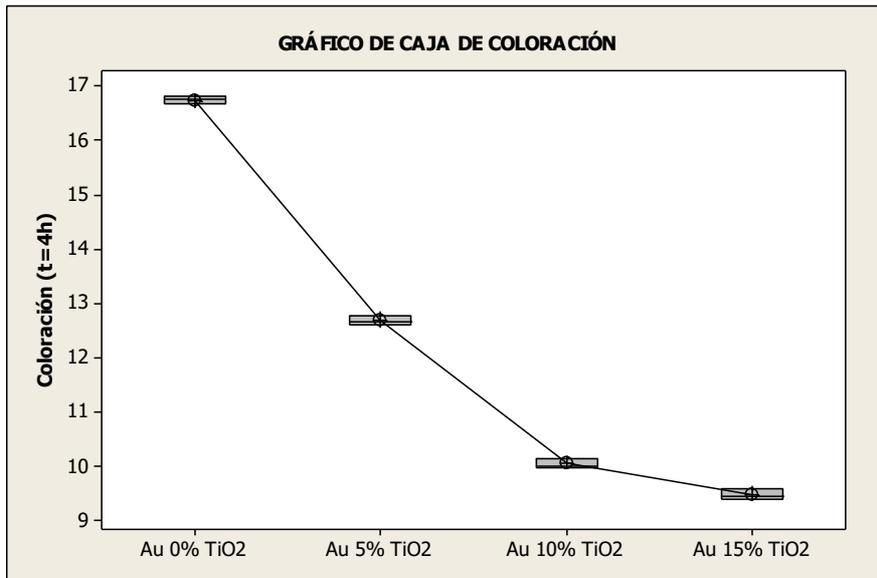


Figura 37: Gráfico de caja de coloración.

El gráfico de caja indica que la coloración varió entre los distintos tratamientos, lo que resulta coherente con la figura 34 de valores individuales. Los gráficos de caja no indicaron la presencia de valores atípicos (señalados con \*) que corresponden a un valor de coloración con muy bajo valor o con muy alto valor.

#### 5.4.9.2 Análisis estadístico de coloración al tiempo de 26 horas.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable coloración al tiempo de 26 horas. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey, para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Para el análisis de varianza (ANOVA) y Tukey se utilizó el programa Minitab 16. Los resultados se presentan a continuación:

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	Por lo menos una media es diferente
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	M SIN TiO <sub>2</sub> , M 5%TiO <sub>2</sub> , M 10% TiO <sub>2</sub> , M 15% TiO <sub>2</sub>

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	3	786.5982	262.1994	23348.41	0.000 < 0.05
Error	32	0.3594	0.0112		
Total	35	786.9576			

Resumen del modelo

S = 0.1060 R-cuad. = 99.95% R-cuad.(ajustado) = 99.95%

## Comparaciones en parejas de Tukey

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

	N	Media	Agrupación
Au 0% TiO <sub>2</sub>	9	14.359	A
Au 5% TiO <sub>2</sub>	9	5.849	B
Au 10% TiO <sub>2</sub>	9	3.159	C
Au 15% TiO <sub>2</sub>	9	2.751	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En los cálculos anteriormente obtenidos para ANOVA, el valor p (0.000) proporcionó suficiente evidencia de que la coloración difirió cuando  $\alpha$  es 0.05. En los intervalos de confianza individual del 95%, se observa que los intervalos de 0, 5, 10 y 15% de TiO<sub>2</sub> no se superponen, lo que da crédito a la teoría de que las medias fueron estadísticamente distintas.

La prueba de Tukey proporcionó tres conjuntos de intervalos de comparación múltiple: Media del mortero con 0% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 5, 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 5% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 10 y 15% TiO<sub>2</sub>. Media del mortero con 10% TiO<sub>2</sub> restada de las medias de los tratamientos con 15% TiO<sub>2</sub>.

El primer intervalo del primer conjunto de salida de Tukey fue -8.65 a -8.38. Es decir, la media de la coloración sin TiO<sub>2</sub> menos la media de la coloración con 5% TiO<sub>2</sub> es una cifra entre -8.65 a -8.38. Debido a que el intervalo no incluyó a cero, la diferencia entre la coloración de los dos tratamientos fue estadísticamente significativa. Se interpretó de modo similar los demás resultados de la prueba de Tukey. Las medias de

los tratamientos difirieron significativamente debido a que ningún intervalo de confianza incluyó el cero.

En conclusión, en el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) al ser el valor de  $p < 0.05$  se observa que la fuente de variabilidad de los tratamientos tuvo diferencia estadística entre los promedios de coloración. Y de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey todos los tratamientos son significativamente diferente entre sí. A continuación, se mostraron las figuras generadas por las comparaciones realizadas por ANOVA y TUKEY.

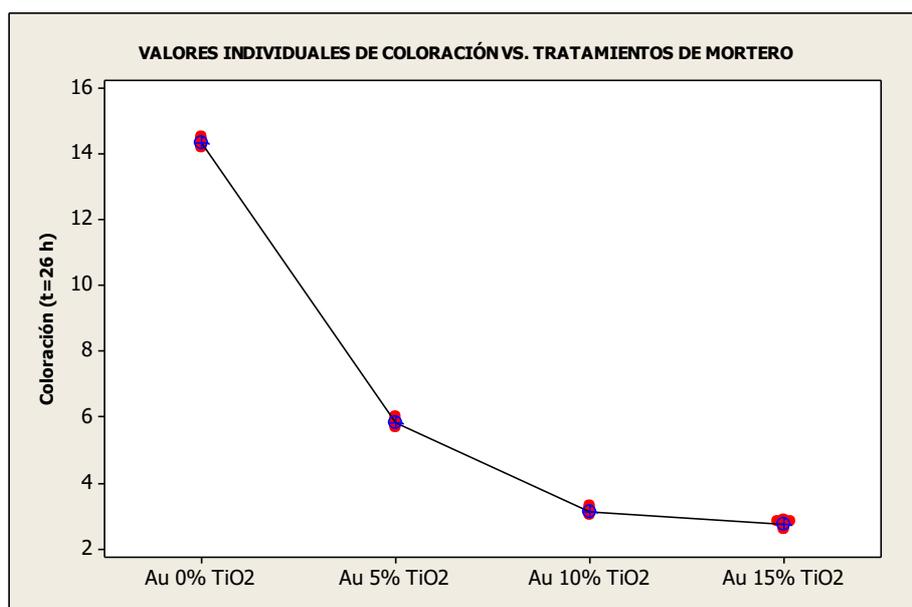


Figura 38: Valores individuales de Coloración vs. Tratamientos en Estudio

La figura 38 de valores individuales muestra que cada tratamiento tuvo una coloración promedio diferente. El tratamiento sin TiO<sub>2</sub> tuvo la mayor coloración promedio y el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> tuvo la menor coloración promedio. Se apreció además que conforme aumentó el porcentaje de TiO<sub>2</sub> la coloración promedio disminuyó.

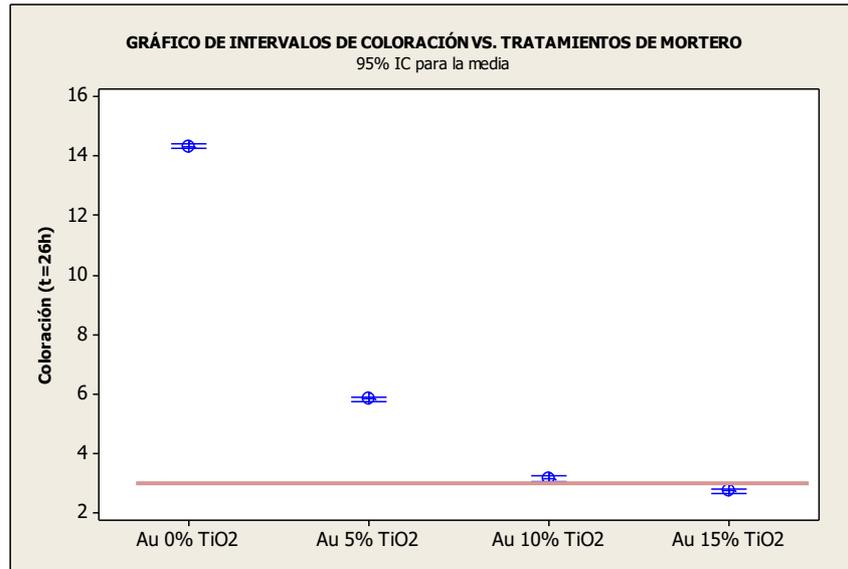


Figura 39: Gráfico de intervalos de coloración

La figura 39 de intervalos muestra los intervalos de coloración de cada tratamiento. Así mismo, la línea roja nos confirmó lo obtenido en las pruebas de ANOVA y Tukey, es decir, que los tratamientos difirieron estadísticamente pues la línea roja no atraviesa a los tratamientos.

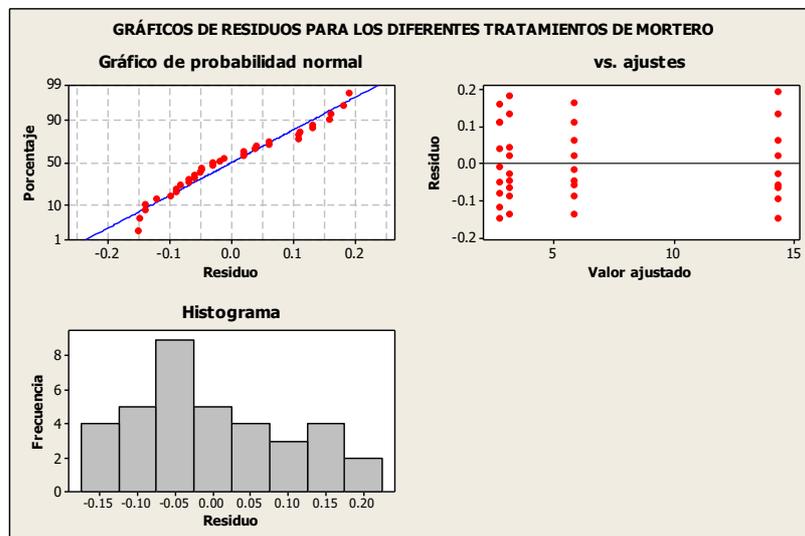


Figura 40: Gráficos de residuos para los diferentes tratamientos de mortero

El gráfico de probabilidad normal no detectó anomalías. Una línea aproximadamente recta indica que los residuos se distribuyen normalmente y esto fue lo que sucedió. El histograma fue aproximadamente simétrico y con forma de campana. La figura de residuos contra los valores ajustados no detectó varianzas no constantes, términos

de orden superior omitidos, ni valores atípicos. Los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a cero.

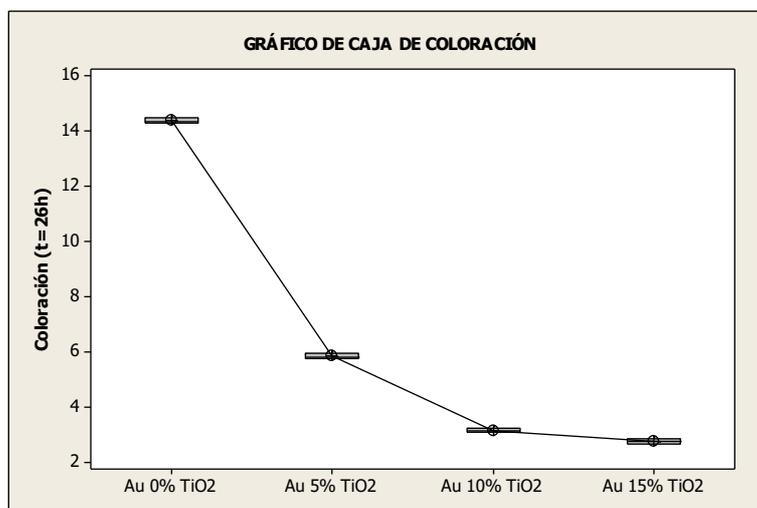


Figura 41: Gráfico de caja de coloración.

El gráfico de caja indica que la coloración varió entre los distintos tratamientos, lo que resulta coherente con la figura 38 de valores individuales. Los gráficos de caja no indicaron la presencia de valores atípicos (señalados con \*) que corresponden a un valor de coloración con muy bajo valor o con muy alto valor.

#### 5.4.10 Análisis de la coloración promedio y tiempo en horas para los distintos tratamientos de mortero con diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub>

Tiempo (h)	0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
0 horas	17.96	17.96	17.96	17.96
1 hora	17.38	15.88	14.57	13.63
2 horas	17.10	14.95	13.08	12.65
4 horas	16.74	12.69	10.06	9.50
5 horas	16.38	11.34	8.87	7.57
10 horas	16.20	9.56	6.89	4.98
20 horas	15.26	7.14	3.97	3.60
26 horas	14.36	5.85	3.16	2.75

Tabla 29: Coloración promedio y tiempo en horas para los distintos tratamientos

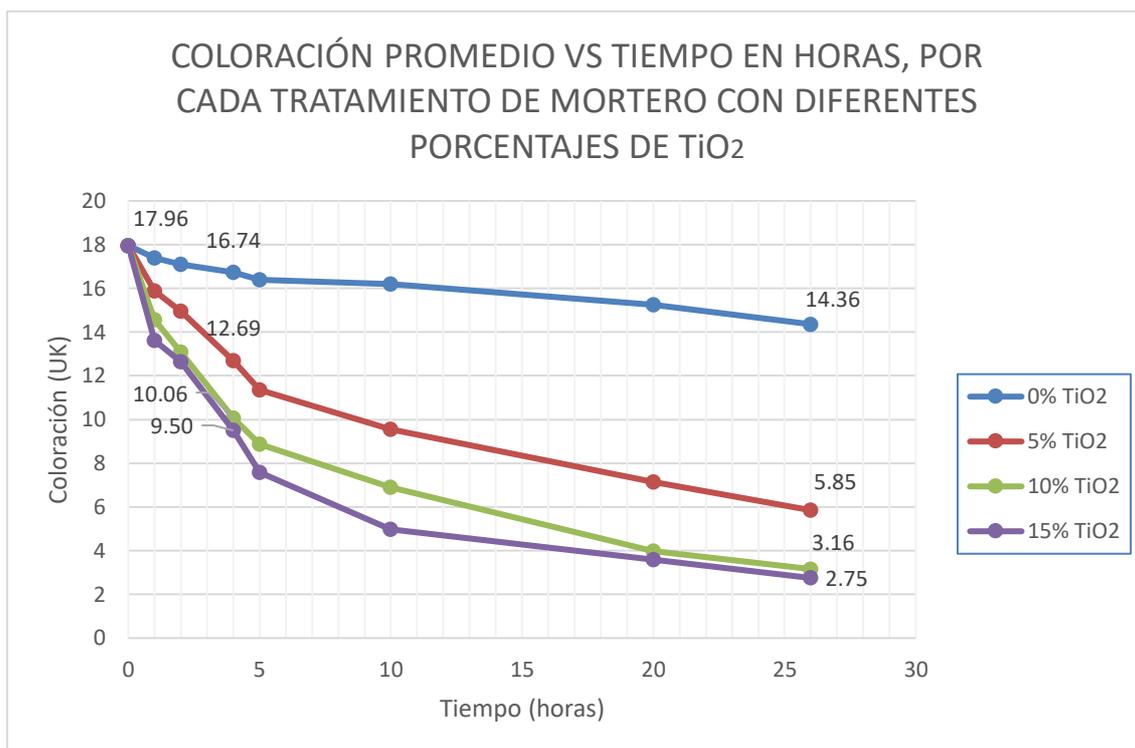


Figura 42: Coloración promedio vs. Edad, por tratamiento con diferentes % TiO<sub>2</sub>

En la figura 42 se observa que todos los tratamientos tuvieron su inicio en el mismo punto de partida para una mejor observación y comparación. La degradación del color o decoloración se midió cuantitativamente mediante la absorción de la luz como una función de longitud de onda al reflejar la luz desde la superficie de mortero en la que la rodamina fue depositada.

Se observa que hay también la degradación del color en muestras que no contienen fotocatalizador (tratamiento sin TiO<sub>2</sub>) y esto pone de manifiesto una importante fuente de tergiversación de la eficiencia del fotocatalizador en las muestras que no utilizan controles. La pérdida de color por degradación fotocatalítica del colorante es bastante común, de hecho; este efecto se observa en telas de colores al blanquearse por la luz del sol. Sin embargo, aun teniendo en cuenta este efecto, se puede demostrar que hay una degradación mejorada de color en presencia del fotocatalizador.

El tratamiento sin TiO<sub>2</sub> fue el que obtuvo menos decoloración durante el tiempo de estudio (26 horas) en comparación con el resto de tratamientos, esto debido a que no contó con el fotocatalizador dióxido de titanio. El rango de valores para el tratamiento base inició en la medida t=0 horas y fue 17.96 y finalizó en la medida t=26 horas y fue 14.36.

El tratamiento con 5% de  $\text{TiO}_2$  sufrió un descenso considerable en la coloración a comparación del tratamiento sin  $\text{TiO}_2$ , esto debido a la inclusión de dióxido de titanio. El rango de valores para el tratamiento con 5% de  $\text{TiO}_2$  inició en la medida  $t=0$  horas y fue 17.96 y finalizó en la medida  $t=26$  horas y fue 5.85; se observa que la medida final se redujo a más de la mitad con respecto el tratamiento base, por lo que dedujimos que la sola inclusión del  $\text{TiO}_2$  hizo que la decoloración se acelere.

El tratamiento con 10% de  $\text{TiO}_2$  sufrió un descenso considerable en la coloración a comparación del tratamiento sin  $\text{TiO}_2$ , esto debido a la inclusión de Dióxido de Titanio, pero a comparación del tratamiento con 5% de  $\text{TiO}_2$  el descenso no fue tan holgado. El rango de valores para el tratamiento con 10% de  $\text{TiO}_2$  inició en la medida  $t=0$  horas y fue 17.96 y finalizó en la medida  $t=26$  horas y fue 3.16.

El tratamiento con 15% de  $\text{TiO}_2$  sufrió un descenso considerable en la coloración a comparación del tratamiento base, esto debido a la inclusión de Dióxido de Titanio, pero a comparación del tratamiento con 5 y 10% de  $\text{TiO}_2$  el descenso no fue tan holgado. El rango de valores para el tratamiento con 15% de  $\text{TiO}_2$  inició en la medida  $t=0$  horas y fue 17.96 y finalizó en la medida  $t=26$  horas y fue 2.75.

A partir del tratamiento con 10% de  $\text{TiO}_2$  hasta el tratamiento con 15% de  $\text{TiO}_2$  la aceleración de la decoloración disminuyó considerablemente, esto sucedió porque el dióxido de titanio no tiene otros poros que copar y por lo tanto empezó a ya no ser necesaria la mayor incorporación del mismo.

#### **5.4.11 Análisis de mortero fotocatalítico con la prueba de Rodamina**

La prueba de Rodamina se basa en saber si el elemento es fotocatalítico o no (en nuestro caso el mortero) a través de las fórmulas planteadas en el marco teórico. Dichas fórmulas necesitaron la medida en el tiempo inicial ( $t=0\text{h}$ ), a las 4 horas y a las 26 horas para cada tratamiento propuesto.

##### **5.4.11.1 Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento sin $\text{TiO}_2$**

En la tabla siguiente se presentó todas las medidas obtenidas (0 horas – 26 horas) y se sombreó las medidas necesarias para aplicar las fórmulas del ensayo de Rodamina, fórmula (7).

Tiempo (h)	0% TiO <sub>2</sub>
0 horas	17.96
1 hora	17.38
2 horas	17.10
4 horas	16.74
5 horas	16.38
10 horas	16.20
20 horas	15.26
26 horas	14.36
R4	6.81
R26	20.05

Tabla 30: Medidas de coloración (0 – 26 horas) para el tratamiento sin TiO<sub>2</sub>

En la tabla 30 se obtuvieron los valores R4 y R26. Para que el mortero sea considerado fotocatalítico y por lo tanto autolimpiable, el valor R4 tiene que ser mayor a 20% y el valor R26 mayor a 50%. Vemos que el valor R4 de este tratamiento fue menor a 20% (6.81% < 20%) y el valor R26 de este tratamiento fue menor a 50% (20.05% < 50%). Bastaría que uno de los valores no cumpla para que el mortero no sea considerado fotocatalítico y en este caso no cumplió ninguno de los dos valores, por lo que el mortero sin de TiO<sub>2</sub> no fue fotocatalítico ni autolimpiable.

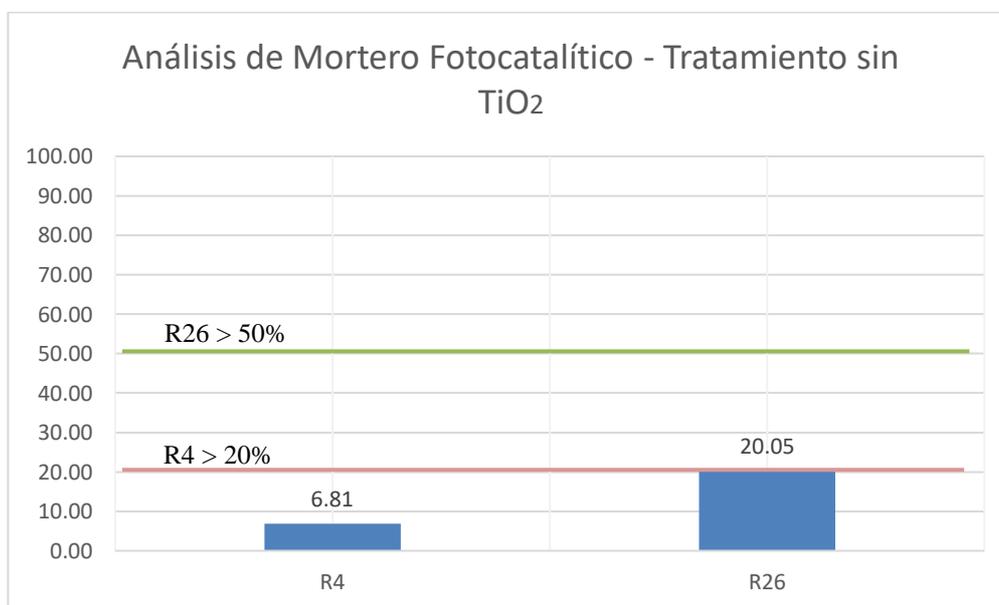


Figura 43: Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento sin TiO<sub>2</sub>

En la figura 43 observamos una línea roja que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R4, de igual forma vemos una línea verde que nos indica el

valor mínimo que debe cumplir el resultado R26. En ninguno de los casos para el tratamiento en estudio se cumplió con los valores R4 y R26.

#### 5.4.11.2 Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 5% TiO<sub>2</sub>

Tiempo (h)	5% TiO <sub>2</sub>
0 horas	17.96
1 hora	15.88
2 horas	14.95
4 horas	12.69
5 horas	11.34
10 horas	9.56
20 horas	7.14
26 horas	5.85
R4	29.35
R26	67.43

Tabla 31: Medidas de coloración (0 – 26 horas) para el tratamiento con 5% TiO<sub>2</sub>

En la tabla 31 obtuvimos los valores R4 y R26. Vemos que el valor R4 de este tratamiento fue mayor a 20% (29.35% > 20%) y el valor R26 de este tratamiento fue mayor a 50% (67.43% > 50%). En este caso los dos valores cumplieron lo necesario, por lo que el mortero con 5% de TiO<sub>2</sub> fue fotocatalítico y autolimpiable.

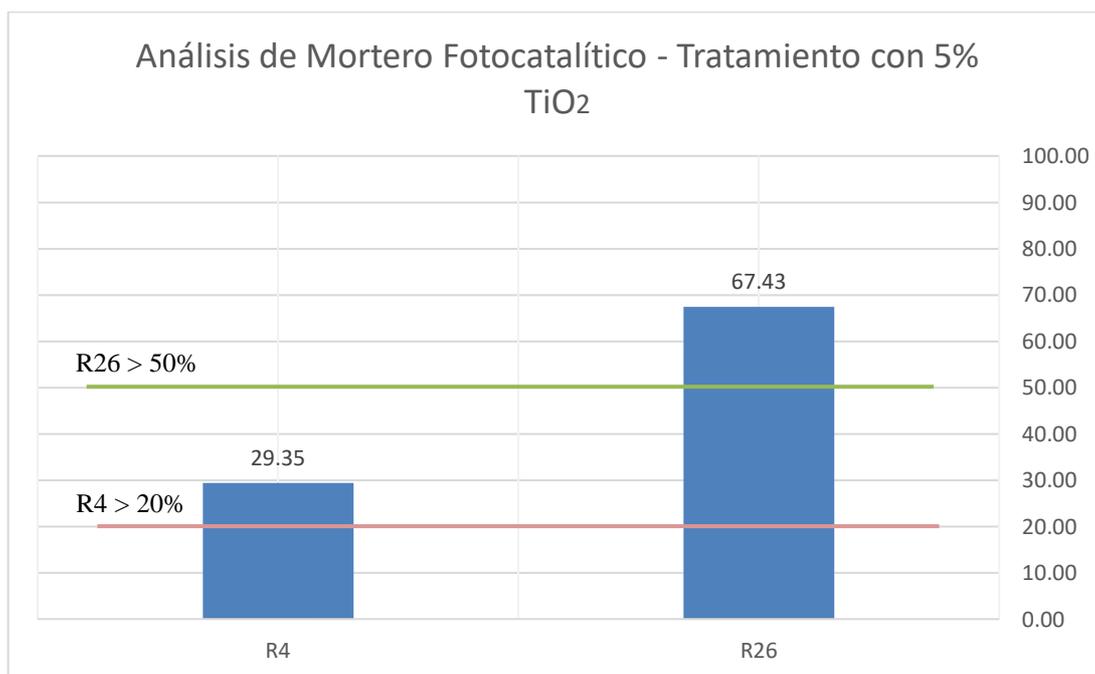


Figura 44: Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 5% TiO<sub>2</sub>

En la figura 44 se observa una línea roja que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R4, de igual forma vemos una línea verde que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R26. En ambos casos para el tratamiento en estudio se cumplió con los valores R4 y R26.

#### 5.4.11.3 Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 10% TiO<sub>2</sub>

Tiempo (h)	10% TiO <sub>2</sub>
0 horas	17.96
1 hora	14.57
2 horas	13.08
4 horas	10.06
5 horas	8.87
10 horas	6.89
20 horas	3.97
26 horas	3.16
R4	44.01
R26	82.41

Tabla 32: Medidas de coloración (0 – 26 horas) para el tratamiento con 10% TiO<sub>2</sub>

En la tabla 32 se obtuvieron los valores R4 y R26. Vemos que el valor R4 de este tratamiento fue mayor a 20% (44.01% > 20%) y el valor R26 de este tratamiento fue mayor a 50% (82.41% > 50%). En este caso los dos valores cumplieron con lo necesario, por lo que el concreto con 10% de TiO<sub>2</sub> fue fotocatalítico y autolimpiable.

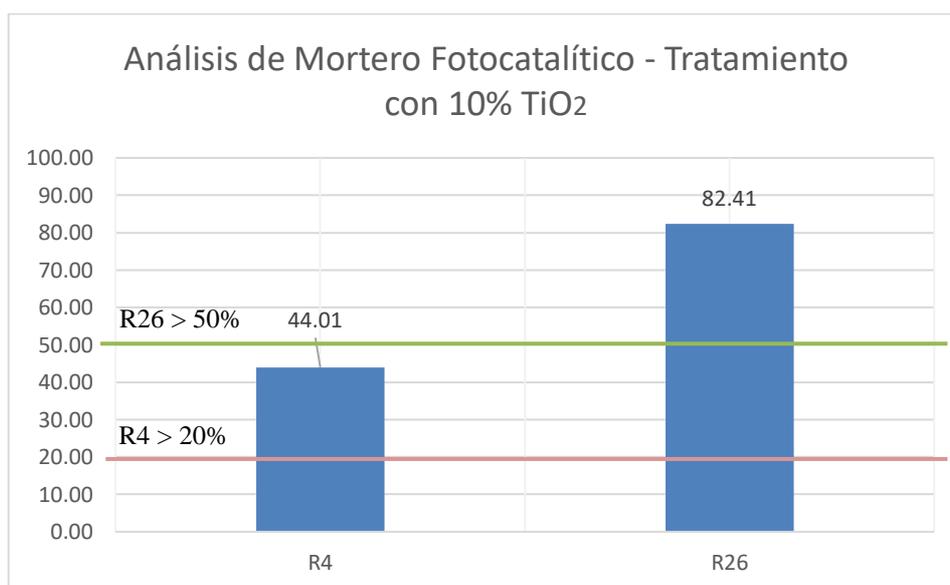


Figura 45: Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 10% TiO<sub>2</sub>

En la figura 45 se observa una línea roja que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R4, de igual forma vemos una línea verde que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R26. En ambos casos para el tratamiento en estudio se cumplió con los valores R4 y R26.

#### 5.4.11.4 Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 15% TiO<sub>2</sub>

Tiempo (h)	15% TiO <sub>2</sub>
0 horas	17.96
1 hora	13.63
2 horas	12.65
4 horas	9.50
5 horas	7.57
10 horas	4.98
20 horas	3.60
26 horas	2.75
R4	47.12
R26	84.68

Tabla 33: Medidas de coloración (0 – 26 horas) para el tratamiento con 15% TiO<sub>2</sub>

En la tabla 33 obtuvimos los valores R4 y R26. Vemos que el valor R4 de este tratamiento fue mayor a 20% (47.12% > 20%) y el valor R26 de este tratamiento fue mayor a 50% (84.68% > 50%). En este caso los dos valores cumplieron con lo necesario, por lo que el concreto con 15% de TiO<sub>2</sub> fue fotocatalítico y autolimpiable

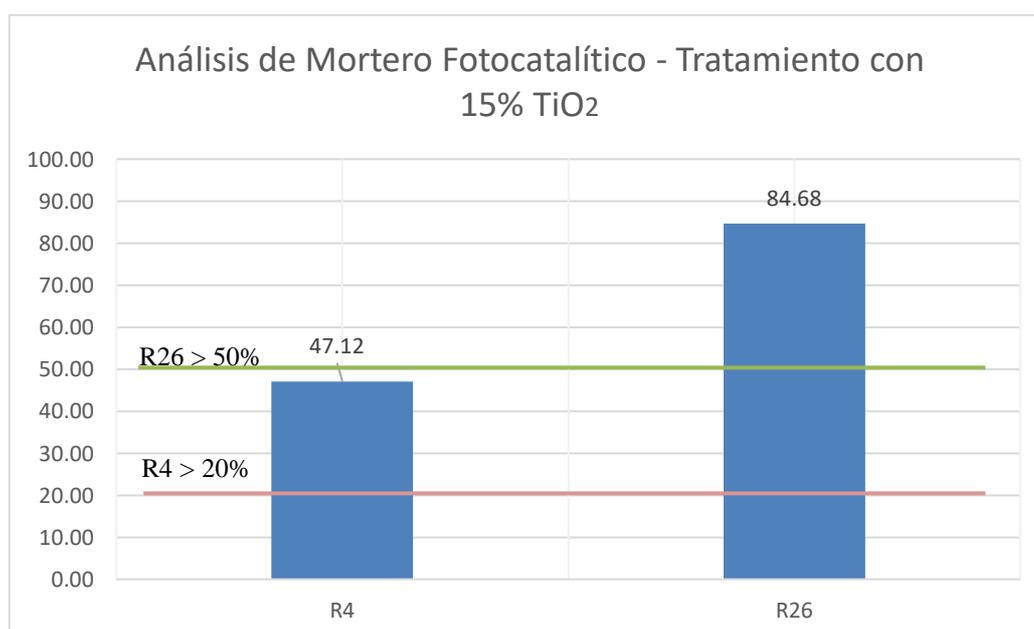


Figura 46: Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 15% TiO<sub>2</sub>

En la figura 46 se observa una línea roja que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R4, de igual forma vemos una línea verde que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R26. En ambos casos para el tratamiento en estudio se cumplió con los valores R4 y R26.

#### 5.4.11.5 Resumen - Análisis mortero fotocatalítico

En la tabla siguiente se presentan todas las medidas obtenidas (0 horas – 26 horas) y todos los tratamientos en estudio a fin de dar un estudio comparativo entre los resultados obtenidos de decoloración.

Tiempo (h)	0% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>	10% TiO <sub>2</sub>	15% TiO <sub>2</sub>
0 horas	17.96	17.96	17.96	17.96
1 hora	17.38	15.88	14.57	13.63
2 horas	17.10	14.95	13.08	12.65
4 horas	16.74	12.69	10.06	9.50
5 horas	16.38	11.34	8.87	7.57
10 horas	16.20	9.56	6.89	4.98
20 horas	15.26	7.14	3.97	3.60
26 horas	14.36	5.85	3.16	2.75
R4	6.81	29.35	44.01	47.12
R26	20.05	67.43	82.41	84.68

Tabla 34: Resumen de medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para todos los tratamientos con porcentajes de TiO<sub>2</sub>

En la tabla 34 se observa todos los valores R4 y R26 para cada tratamiento en estudio. Recordemos que para que el mortero sea considerado fotocatalítico y por lo tanto autolimpiable, el valor R4 tiene que ser mayor a 20% y el valor R26 mayor a 50%.

Se observa que el único valor de R4 que no cumplió con lo antes mencionado fue el del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> (6.81% < 20%) y el único valor de R26 que no cumplió con lo antes mencionado fue también el del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> (20.05% < 50%).

Por lo tanto, dedujimos que el único tratamiento que no fue fotocatalítico y autolimpiable fue el tratamiento sin TiO<sub>2</sub> por no cumplir con los requerimientos solicitados.

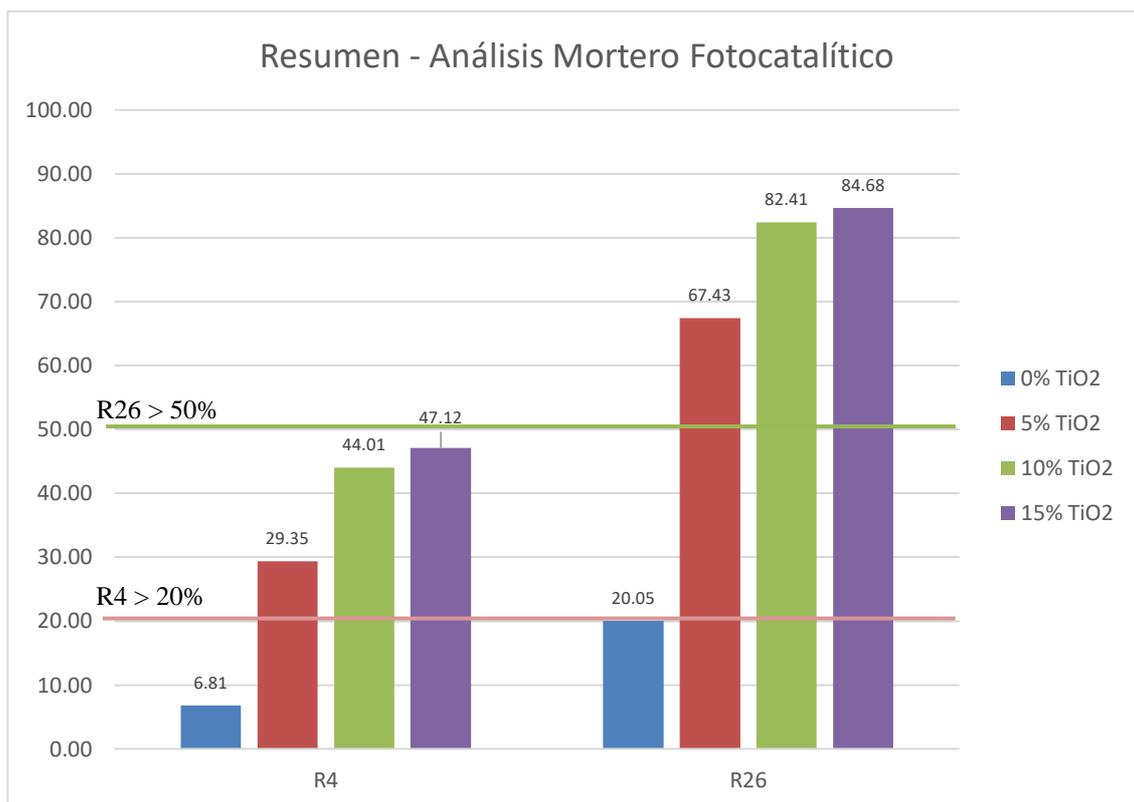


Figura 47: Resumen - Análisis de mortero fotocatalítico

En la figura 47 se observa una línea roja que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R4, de igual forma vemos una línea verde que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R26. En ambos casos el único tratamiento que no cumplió con los valores R4 y R26 fue el tratamiento con 0% TiO<sub>2</sub>, ratificando lo visto en la tabla 34.

#### 5.4.12 Análisis económico de los morteros con dióxido de titanio

Para iniciar el análisis económico de morteros con dióxido de titanio recordemos que los morteros con TiO<sub>2</sub> tuvieron los mismos componentes que un mortero ordinario, es decir, cemento, agregado fino y agua, más la incorporación de dióxido de titanio, por lo que el aumento económico dependió principalmente del aumento de dióxido de titanio.

Además, este análisis económico se hizo para una partida base de mortero con la resistencia estudiada, por lo que no solo contó con materiales, sino también con mano de obra, equipos y rendimientos.

### 5.4.12.1 Análisis Económico - Mortero sin TiO<sub>2</sub>

PARTIDA: TARRAJEO MUROS EXTERIORES E=1.5 CM, MEZCLA 1:4					
<b>Rendimiento: m2/DIA</b>	<b>MO. 12.0000</b>	<b>EQ. 12.0000</b>	<b>Costo unitario directo por: m2</b>	<b>22.37</b>	
<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/. (incluido IGV)</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	18.14	12.09
PEON	hh	0.3300	0.2200	13.69	3.01
					<b>15.10</b>
<b>Materiales</b>					
CLAVOS DE 3"	Kg		0.0200	2.88	0.06
MADERA TORNILLO	p2		0.2000	5.35	1.07
ARENA	m3		0.0160	42.00	0.67
AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0040	8.50	0.03
CEMENTO BLANCO PORTLAND TIPO I (50.0 kg)	bol		0.0995	45.00	4.48
					<b>6.31</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	15.10	0.76
REGLA DE MADERA	p2		0.0200	9.90	0.20
					<b>0.96</b>

Tabla 35: Análisis de costos unitarios de la partida tarrajeo muros exteriores e=1.5 cm, mezcla 1:4 – mortero sin TiO<sub>2</sub>

En la tabla 35 se observa el costo de elaboración de un metro cuadrado de mortero ordinario, es decir, sin adición de dióxido de titanio para la resistencia en estudio. Los costos de la mano de obra fueron tomados de acuerdo a los jornales de obreros de construcción civil al año 2016, los rendimientos de mano de obra y equipos de acuerdo al entorno laboral de Cajamarca y los costos de materiales de acuerdo al mercado de Cajamarca.

#### 5.4.12.2 Análisis económico - mortero con 5% TiO<sub>2</sub>

PARTIDA: TARRAJEO MUROS EXTERIORES E=1.5 CM, MEZCLA 1:4					
<b>Rendimiento: m3/DIA</b>	MO. <b>12.0000</b>	EQ. <b>12.0000</b>	Costo unitario directo por: m2	<b>29.08</b>	
<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/. (incluido IGV)</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	18.14	12.09
PEON	hh	0.3300	0.2200	13.69	3.01
					<b>15.10</b>
<b>Materiales</b>					
CLAVOS DE 3"	Kg		0.0200	2.88	0.06
MADERA TORNILLO	p2		0.2000	5.35	1.07
ARENA	m3		0.0160	42.00	0.67
AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0040	8.50	0.03
CEMENTO BLANCO PORTLAND TIPO I (50.0 kg)	bol		0.0995	45.00	4.48
DIÓXIDO DE TITANIO	Kg		0.2486	27.00	6.71
					<b>13.02</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	15.10	0.76
REGLA DE MADERA	p2		0.0200	9.90	0.20
					<b>0.96</b>

Tabla 36: Análisis de costos unitarios de la partida tarrajeo muros exteriores e=1.5 cm, mezcla 1:4 – mortero con 5% TiO<sub>2</sub>

En la tabla 36 se observa el costo de elaboración de un metro cuadrado de mortero con 5% de dióxido de titanio para la resistencia en estudio. Se observa que hubo un aumento de 6.73 soles por metro cuadrado con respecto al mortero sin TiO<sub>2</sub>.

### 5.4.12.3 Análisis económico - mortero con 10% TiO<sub>2</sub>

PARTIDA: TARRAJEO MUROS EXTERIORES E=1.5 CM, MEZCLA 1:4					
<b>Rendimiento: m3/DIA</b>	MO. 12.0000	EQ. 12.0000		Costo unitario directo por: m2	<b>35.80</b>
<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/. (incluido IGV)</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	18.14	12.09
PEON	hh	0.3300	0.2200	13.69	3.01
					<b>15.10</b>
<b>Materiales</b>					
CLAVOS DE 3"	Kg		0.0200	2.88	0.06
MADERA TORNILLO	p2		0.2000	5.35	1.07
ARENA	m3		0.0160	42.00	0.67
AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0040	8.50	0.03
CEMENTO BLANCO PORTLAND TIPO I (50.0 kg)	bol		0.0995	45.00	4.48
DIÓXIDO DE TITANIO	Kg		0.4973	27.00	13.43
					<b>19.74</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	15.10	0.76
REGLA DE MADERA	p2		0.0200	9.90	0.20
					<b>0.96</b>

Tabla 37: Análisis de costos unitarios de la partida tarrajeo muros exteriores e=1.5 cm, mezcla 1:4 – mortero con 10% TiO<sub>2</sub>

En la tabla 37 se observa el costo de elaboración de un metro cuadrado de mortero con 10% de dióxido de titanio para la resistencia en estudio. Se observa que hubo un aumento de 13.43 soles por metro cuadrado respecto al mortero sin TiO<sub>2</sub> y de 6.73 soles respecto al mortero con 5% TiO<sub>2</sub>.

#### 5.4.12.4 Análisis económico - mortero con 15% TiO<sub>2</sub>

PARTIDA: TARRAJEO MUROS EXTERIORES E=1.5 CM, MEZCLA 1:4					
<b>Rendimiento: m3/DIA</b>	MO. <b>12.0000</b>	EQ. <b>12.0000</b>		Costo unitario directo por: m2	<b>42.51</b>
<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/. (incluido IGV)</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	18.14	12.09
PEON	hh	0.3300	0.2200	13.69	3.01
					<b>15.10</b>
<b>Materiales</b>					
CLAVOS DE 3"	Kg		0.0200	2.88	0.06
MADERA TORNILLO	p2		0.2000	5.35	1.07
ARENA	m3		0.0160	42.00	0.67
AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0040	8.50	0.03
CEMENTO BLANCO PORTLAND TIPO I (50.0 kg)	bol		0.0995	45.00	4.48
DIÓXIDO DE TITANIO	Kg		0.7459	27.00	20.14
					<b>26.45</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	15.10	0.76
REGLA DE MADERA	p2		0.0200	9.90	0.20
					<b>0.96</b>

Tabla 38: Análisis de costos unitarios de la partida tarrajeo muros exteriores e=1.5 cm, mezcla 1:4 – mortero con 15% TiO<sub>2</sub>

En la tabla 38 se observa el costo de elaboración de un metro cuadrado de mortero con 15% de dióxido de titanio para la resistencia en estudio. Se observa que hubo un aumento de 20.14 soles por metro cuadrado respecto al mortero sin TiO<sub>2</sub>, de 13.43 soles respecto al mortero con 5% TiO<sub>2</sub> y de 6.73 soles respecto al mortero con 10% TiO<sub>2</sub>.

### 5.4.12.5 Resumen del análisis económico

A continuación, se presenta el resumen del análisis económico de los tratamientos estudiados.

Tratamiento	Costo Unitario por m2	Porcentaje (%)	Diferencia Porcentual (%)
Mortero sin TiO <sub>2</sub>	S/. 22.37	100.00%	0.00%
Mortero con 5% TiO <sub>2</sub>	S/. 29.08	130.00%	30.00%
Mortero con 10% TiO <sub>2</sub>	S/. 35.80	160.04%	60.04%
Mortero con 15% TiO <sub>2</sub>	S/. 42.51	190.03%	90.03%

Tabla 39: Resumen del análisis económico y porcentual de los tratamientos en estudio

En la tabla 39 se observa que mientras más se adicionó el dióxido de titanio más caro fue el costo unitario del mortero, esto debido a que el aumento del costo es proporcional al aumento de dióxido de titanio. Obviamente el mortero que tuvo menor diferencia monetaria y porcentual fue el mortero con 5% TiO<sub>2</sub>.



Figura 48: Resumen - Análisis económico

En la figura 48 se observa el aumento ascendente del precio por metro cuadrado conforme los tratamientos aumentaron sus porcentajes de dióxido de titanio.

#### 5.4.12.6 Análisis de Inversión

A continuación, se presenta un análisis de inversión entre los tratamientos sin TiO<sub>2</sub> y con 5% de TiO<sub>2</sub>. Supongamos que existe un edificio con un área de 1000 m<sup>2</sup> de tarrajeo exterior. El tiempo de análisis propuesto es de 20 años. El TMAR (Tasa mínima atractiva de retorno) para proyectos de variación o reducción de costo varía entre 0% y 11%, por lo que se creyó conveniente tomar 10%. Para los datos antes mencionado se busca evaluar el VAN (Valor Actual Neto) entre los dos tratamientos para ver cuál es el más rentable, Para lo cual tomaremos en cuenta los siguientes datos

- Costo de tarrajeo de muros exteriores (Mortero sin TiO<sub>2</sub>) por m<sup>2</sup> = 22.37 soles.  
Costo total por los 1000 m<sup>2</sup> de tarrajeo exterior = 22 370 soles.
- Costo de pintura de muros exteriores (Mortero sin TiO<sub>2</sub>) por m<sup>2</sup> = 5.83 soles.  
Costo total por los 1000 m<sup>2</sup> de pintura = 5 830 soles.
- Limpieza de muros exteriores (Mortero sin TiO<sub>2</sub>) por m<sup>2</sup> = 18.00 soles. Costo total por los 1000 m<sup>2</sup> de limpieza = 18 000 soles. (Una limpieza cada 5 años)
- Costo de tarrajeo de muros exteriores (Mortero 5% TiO<sub>2</sub>) por m<sup>2</sup> = 29.08 soles.  
Costo total por los 1000 m<sup>2</sup> de tarrajeo exterior = 29 080 soles.
- Rociado de agua por m<sup>2</sup> para mortero 5% TiO<sub>2</sub> = 1.00 soles. Costo total por los 1000 m<sup>2</sup> de tarrajeo exterior = 1 000 soles. (Dos limpiezas al año). Costo total por año = 2 000 soles.

Recordemos además que el VAN es una herramienta financiera procedente de las matemáticas financieras que nos permite evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión; en este caso, nos permite determinar cuál proyecto es el más rentable entre dos opciones de inversión. La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n} \quad \dots \dots (8)$$

Donde:

VA= Valor Actual Neto.

A= Desembolso inicial requerido para la inversión.

K= Tipo de actualización o de descuento aplicable a la inversión.

Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, ..., Q<sub>n</sub> = Flujo de caja de cada período.

A continuación, se presenta el análisis de inversión incremental entre los tratamientos sin TiO<sub>2</sub> y con 5% de TiO<sub>2</sub>.

ANÁLISIS DE INVERSIÓN INCREMENTAL M° 5% - M° 0%			
Periodo	FLUJO DE CAJA		FLUJO DE CAJA INCREMENTAL M° 5% - M° 0%
	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 5% TiO <sub>2</sub>	
0	-28200	-29080	-880
1	0	-2000	-2000
2	0	-2000	-2000
3	0	-2000	-2000
4	0	-2000	-2000
5	-18000	-2000	16000
6	0	-2000	-2000
7	0	-2000	-2000
8	0	-2000	-2000
9	0	-2000	-2000
10	-18000	-2000	16000
11	0	-2000	-2000
12	0	-2000	-2000
13	0	-2000	-2000
14	0	-2000	-2000
15	-18000	-2000	16000
16	0	-2000	-2000
17	0	-2000	-2000
18	0	-2000	-2000
19	0	-2000	-2000
20	-18000	-2000	16000
VNA			S/. 8,073.88
VAN INCREMENTAL M° 5% - M° 0%			S/. 7,193.88
TIR INCREMENTAL			24.43%

Tabla 39-A: Análisis de inversión incremental – VAN y TIR

De la tabla 39-A se observa que el valor de VAN es mayor a 0 por lo que el tratamiento con 5% TiO<sub>2</sub> es el más rentable. Además, el TIR es 24.43% es mayor al 10% del TMAR por lo que esto reafirma que el tratamiento con 5% TiO<sub>2</sub> es el más rentable.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. La incorporación de 5%, 10% y 15% de dióxido de titanio disminuyó el porcentaje de absorción en 2.40%, 5.33% y 5.56% respectivamente, en relación al tratamiento sin dióxido de titanio. El tratamiento sin TiO<sub>2</sub> presentó el mayor porcentaje de absorción con 13.31% y el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> presentó el menor con 12.57%. Además, se observa que todos los tratamientos pertenecieron a diferentes grupos estadísticos; a excepción de los tratamientos con 10% y 15% de TiO<sub>2</sub>.
2. La incorporación de 5%, 10% y 15% de dióxido de titanio disminuyó su resistencia a la compresión en 5.87%, 10.48% y 24.71% respectivamente, en relación al tratamiento sin dióxido de titanio. El tratamiento sin TiO<sub>2</sub> presentó la mayor resistencia a la compresión con 213.21 Kg/cm<sup>2</sup> y el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> presentó la menor con 160.52 Kg/cm<sup>2</sup>. Además, se observa que todos los tratamientos pertenecieron al mismo grupo estadístico; a excepción del tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub>.
3. La incorporación de 5%, 10% y 15% de dióxido de titanio disminuyó el porcentaje de fluidez en 5.89%, 11.57% y 18.05% respectivamente, en relación al tratamiento sin dióxido de titanio. El tratamiento sin TiO<sub>2</sub> presentó el mayor porcentaje de fluidez con 86.11% y el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> presentó el menor con 70.57%. Además, se observa que todos los tratamientos pertenecieron a diferentes grupos estadísticos.
4. La incorporación de 5%, 10% y 15% de dióxido de titanio disminuyó la coloración en la prueba de Rodamina en 59.26%, 77.99% y 80.85% respectivamente, en relación al tratamiento sin dióxido de titanio. El tratamiento sin TiO<sub>2</sub> presentó la mayor coloración con 14.36 y el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> presentó la menor con 2.75. Además, se observa que todos los tratamientos pertenecieron a diferentes grupos estadísticos.
5. La prueba de Rodamina nos dio como resultado que el único tratamiento que no fue fotocatalítico y autolimpiable fue el tratamiento sin TiO<sub>2</sub> debido a que no cumplió con lo

estipulado en la norma UNI 11259; contrastando con el resto de tratamiento que si fueron fotocatalíticos y autolimpiables. A partir del tratamiento con 10% de TiO<sub>2</sub> hasta el tratamiento con 15% de TiO<sub>2</sub> la decoloración se desaceleró considerablemente, esto porque el dióxido de titanio no tuvo otros poros que copar y por lo tanto empieza a ya no ser necesario la mayor incorporación del mismo.

6. El análisis económico dio como resultado que el tratamiento sin TiO<sub>2</sub> fue el más económico de todos con un precio de 22.37 soles por metro cuadrado; conforme aumentó el dióxido de titanio también aumentó el costo, llegando así a que el tratamiento con 15% TiO<sub>2</sub> fue el más elevado con un valor de 42.51 soles por metro cuadrado.
7. El análisis de inversión entre los tratamientos sin TiO<sub>2</sub> y con 5% de TiO<sub>2</sub> utilizando el VAN determinó que el VAN incremental fue de 7 193.88 soles y fue mayor a 0 por lo que el tratamiento con 5% de TiO<sub>2</sub> es el más rentable entre las dos opciones de inversión y obviamente es más rentable que los tratamientos con 10 y 15% de TiO<sub>2</sub>, pues cumplen los mismos flujos de caja cambiando solamente en la inversión, la cual es mayor en ambos casos.
8. Utilizando los estudios realizados a la absorción, resistencia a la compresión, fluidez, prueba de Rodamina – decoloración y precio se concluyó que el tratamiento óptimo para la ejecución es el tratamiento con 5% TiO<sub>2</sub> pues es un mortero que no modifica sustancialmente las propiedades físicas del mortero, es fotocatalítico, autolimpiable y el precio de fabricación no es muy elevado.

## **Recomendaciones**

1. Realizar un estudio de morteros con dióxido de titanio y con aditivos plastificantes como SIKAMENT 290 N a fin de mejorar las propiedades físicas de resistencia a la compresión, fluidez y absorción.
2. Realizar un estudio de morteros con cemento Portland tipo I gris (ASTM C 150) y dióxido de titanio para comparar, discutir y evaluar los resultados que se obtendrían con los obtenidos en la presente investigación a fin de obtener el más favorable.
3. Realizar una prueba autolimpiable a escala real, contaminando las probetas con CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y exponiéndolas a los rayos UV, con el fin de comparar, discutir y evaluar los resultados que se obtendrían con los obtenidos en la presente investigación.
4. Realizar un estudio de morteros con dióxido de titanio con diferentes intensidades de radiación como 320, 340, 360 y 380 nm, para ver si el dióxido de titanio se activa con estas intensidades.
5. Realizar un estudio de morteros con otros fotocatalizadores como el Fe- TiO<sub>2</sub> y el grafeno a fin de comparar los resultados obtenidos.
6. Realizar un estudio de mortero con porcentajes de 1, 2, 3 y 4% de dióxido de titanio para calcular el porcentaje mínimo que hace que el mortero sea fotocatalítico y autolimpiable.
7. Obtener y almacenar las muestras de agregado fino adecuadamente con el fin de evitar alteraciones que puedan variar los resultados.
8. Almacenar el dióxido de titanio, la rodamina y el cemento blanco en sitios adecuados para su buena conservación y por seguridad.
9. Revisar que los equipos y máquinas se encuentren calibradas y en óptimas condiciones para ser utilizadas.
10. Realizar los ensayos siguiendo los procedimientos establecidos en las normas ASTM y NTP.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adán Delgado, Cristina. (2008) “Fotocatalizadores nanoestructurados de TiO<sub>2</sub> y Fe- TiO<sub>2</sub> para la degradación de compuestos aromáticos en medio acuoso empleando luz solar”. Madrid, España.
2. Aguilar Bazignan, Ana María Marcela (2013) “Evaluación técnico ambiental del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en los morteros de cemento chilenos”.
3. Arenas Cabello, Francisco (2006). “Los materiales de construcción y el medio ambiente”.
4. ASTM C 144 Agregado para morteros de albañilería. Especificaciones.
5. Carbajo Olleros, Jaime (2013). “Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores nanoestructurados de TiO<sub>2</sub>”.
6. Cárdenas Ramírez, Carolina. (2012). “Evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de dióxido de titanio”.
7. Chiguay Velasquez Valdivia, Assna Elizabeth. (2007), “Análisis razón agua/cemento con mortero de cemento blanco”, Chile.
8. Comisión Europea (CORDIS, 2004), Europa.
9. Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, 2012), España.
10. De La Sotta Monreal, Juan Pablo (2010), “Análisis comparativo entre mortero de junta para albañilería fabricado en obra y mortero premezclado húmedo para albañilería”, Chile.
11. Elkoro Ugarteburu, Ander (2013) “Optimización de la aplicación de nanopartículas fotocatalíticas en morteros”, Barcelona.
12. Garcés G. Luis, et al. (2004). “La fotocatalisis como alterativa para el tratamiento de aguas residuales”.
13. Guerrero Alarcón, Guillermo Leonidas (1998), “Análisis de mezclas para morteros de enlucidos utilizando arena cuarcífera de la formación hollín”, Guayaquil.
14. Harmsen Teodoro E. (2002) “Diseño de estructuras de concreto armado, 3ra. Edic. Pontificia Universidad Católica del Perú”.

15. Navarrete Anabalón, Giovana Damaris (2006) “Caracterización del cemento blanco”.
16. Lisbona García, Lucía Espiga (2016), “Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción”, Barcelona.
17. Martínez Verdú, Francisco Miguel (2001), “Diseño de un colorímetro triestímulo a partir de una cámara CCD-RGB”, Catalunya.
18. Molina Escobar, Kenneth Alejandro (2006), “Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno”, Guatemala.
19. Norma UNI 11259, “Determinación de la actividad fotocatalítica de las aglutinantes hidráulicas - Método de prueba de rodamina”, Italia.
20. Orozco Caballero, Alberto (2011). “Uso de matrices nanoestructuradas de TiO<sub>2</sub> como fotocatalizador para la descontaminación de aguas”.
21. Ramírez Arias, Yazmín L. (2013). “Diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor tubular fotocatalítico (UV-A) para la degradación de desechos químicos orgánicos”.
22. Rivera L. Gerardo A. (2012) “Tecnología del Concreto y Mortero”.
23. Rivva Lopez, E. 2010. “CONCRETO, TOMO II: Diseño de Mezclas, Lima, PER. Instituto de la Construcción y Gerencia”.
24. Rodríguez García, José Rubén (2012), “Morteros fotocatalíticos: análisis de su autolimpieza en función del tipo de cemento y rugosidad superficial”, Madrid.
25. Siñeriz Martínez, María (2015), “Aplicaciones arquitectónicas de los nanomaterials en base de Titanio envolventes fotocatalíticas”.
26. Vásquez Espinoza, Manuel Alexander André. (2016) “Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio sobre la propiedad autolimpiable del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”, Cajamarca, Perú.

# APÉNDICES

**APÉNDICE I: Matriz de consistencia metodológica**

<b>“Influencia de fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento - arena 1:4 – Cajamarca”</b>							
<b>Formulación del problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos de recolección de datos</b>	<b>Población y Muestra</b>
¿Cuál es la influencia de la utilización del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento – arena 1:4 de la ciudad de Cajamarca?	Determinar la influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento – arena 1:4 de la ciudad de Cajamarca.	Al adicionar el aditivo fotocatalizador dióxido de titanio del 5% al 15% del peso del cemento dosificado el mortero adicionará la propiedad autolimpiable y disminuirán sus propiedades mecánicas de 5% a 30% respecto a un mortero sin adición de dióxido de titanio.	Resistencia a la compresión	Ensayos generales del mortero Ensayo de Resistencia a la Compresión	Kg/cm <sup>2</sup>	Observación experimental	36 ensayos
			Fluidez	Ensayo de la fluidez de pastas de mortero	Porcentaje (%)	Observación experimental	36 ensayos
			Absorción	Ensayo de absorción	Porcentaje (%)	Observación experimental	36 ensayos
			Capacidad Fotocatalítica	Ensayo Rodamina (PICADA)	Porcentaje (%)	Observación experimental	36 ensayos
			Costo por m <sup>2</sup>	-	Soles (S/.)	Observación experimental	-

Tabla 40: Matriz de consistencia metodológica

**APÉNDICE II:**  
**CÁLCULOS Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL**  
**AGREGADO FINO (ASTM C 136 – NTP 400.012)**

**A.II.1 Análisis granulométrico del Agregado Fino:**

Peso de la muestra = 355 gr

Malla		Peso Retenido	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado. (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
Nº	mm	(gr)			
3/8"	9.51	0	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.34	0	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.76	0	0.00	0.00	100.00
Nº 8	2.36	0.6	0.17	0.17	99.83
Nº 16	1.18	5.7	1.61	1.78	98.22
Nº 30	0.60	167.9	47.55	49.33	50.67
Nº 50	0.36	126.7	35.88	85.22	14.78
Nº 100	0.15	28.9	8.18	93.40	6.60
Nº 200	0.07	15.2	4.30	97.71	2.29
Cazoleta		8.10	8.1	2.29	100.00
<b>TOTAL</b>		353.10			

Tabla 41: Análisis granulométrico del agregado fino

**A.II.2 Cálculo de módulo de fineza o de finura del agregado fino**

**Módulo de fineza del Agregado Fino (AF)**

*Módulo fineza AF:*

$$\frac{\sum \%ret. acum. en mallas N^{\circ} 4; N^{\circ} 8; N^{\circ} 16; N^{\circ} 30; N^{\circ} 50; y N^{\circ} 100}{100}$$

Módulo fineza AF:

$$\frac{0.00 + 0.17 + 1.78 + 49.33 + 85.22 + 93.40}{100}$$

Módulo fineza AF: **2.30**

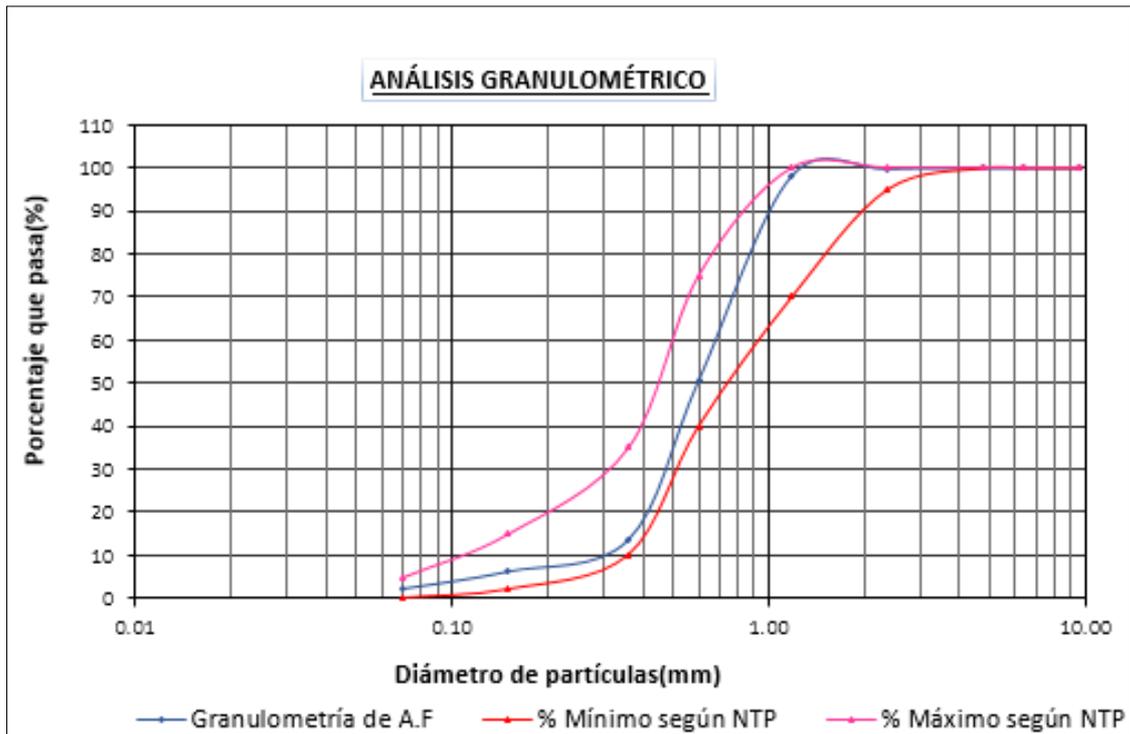


Figura 49: Granulometría de Agregado Fino ASTM C 144 – NTP 399.607

$$D_{10} = 0.298 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0.453 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0.655 \text{ mm}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 2.198$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1.051$$

**APÉNDICE III:**  
**CÁLCULOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO, Y**  
**ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

**A.III.1 Determinación del peso específico y absorción del agregado fino**  
**(ASTM C 128 – NTP 400.022)**

	1	2	3
Peso en el aire de la muestra seca al horno ( $W_o$ g )	488.9	489.2	488.2
Volumen del frasco ( $V$ cm <sup>3</sup> )	500	500	500
Peso en ( gr ) o volumen ( cm <sup>3</sup> ) del agua añadida al frasco ( $V_a$ )	310.0	309.4	309.0
Peso específico de masa $Pem = W_o/(V - V_a)$ gr/cm <sup>3</sup>	2.573	2.566	2.556
<b>Promedio Peso específico de masa</b> <b><math>Pem = W_o/(V - V_a)</math></b>	<b>2.565 g/cm<sup>3</sup></b>		
Peso específico de masa saturada con superficie seca $Pemsss = V/(V - V_a)$	2.63	2.62	2.62
<b>Promedio Pemsss</b> <b><math>Pemsss = V/(V - V_a)</math></b>	<b>2.623 g/cm<sup>3</sup></b>		
Peso específico aparente $Pea = W_o/[(V - V_a) - (500 - W_o)]$	2.73	2.72	2.72
<b>Promedio Peso específico aparente</b> <b><math>Pea = W_o/[(V - V_a) - (500 - W_o)]</math></b>	<b>2.72 g/cm<sup>3</sup></b>		
Absorción $Abs = [(500 - W_o)*100]/W_o$ %	2.27	2.21	2.42
<b>Promedio Absorción</b> <b><math>Abs = [(500 - W_o)*100]/W_o</math> %</b>	<b>2.30 %</b>		

Tabla 42: Determinación del peso específico y absorción del agregado fino

**APÉNDICE IV**  
**CÁLCULOS DE LOS ENSAYOS DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO**  
**(ASTM C 566)**

**A.IV.1 Determinación del contenido de humedad del agregado fino**

	1	2	3
Peso de la tara	39.2 g	39.3 g	39.2 g
Peso de la tara + material húmedo	244.9 g	258.9 g	302.7 g
Peso de la tara + material seco	241.1 g	254.9 g	297.9 g
Peso del agua	3.8 g	4.0 g	4.8 g
Peso de la muestra seca	202 g	216 g	259 g
Contenido de humedad (W %)	1.88 %	1.86 %	1.86 %
<b>Promedio contenido de humedad (W %)</b>	<b>1.86 %</b>		

Tabla 43: Determinación del contenido de humedad del agregado fino

**APÉNDICE V**  
**CÁLCULOS DE LOS ENSAYOS DE CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA**  
**EL TAMIZ N° 200 DEL AGREGADO FINO (ASTM C 117 – NTP 400.018)**

**A.V.1 Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado fino**

	1	2	3
Peso inicial de la muestra = W0	2000 g	2035 g	2000 g
Peso de la muestra seca lavada = W1	1918 g	1953 g	1919 g
PARTÍCULAS < TAMIZ N° 200 (%) = F	4.10%	4.03%	4.05%
<b>PROMEDIO F</b>	<b>4.06%</b>		

Tabla 44: Determinación de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado fino

**APÉNDICE VI**  
**CÁLCULOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO**  
**FINO (ASTM C 29 – NTP 400.017)**

$$PU = W_s * f \quad \dots \dots (9)$$

Donde :

$W_s$  = Peso neto del agregado  
 $f$  = Factor

**Calculo del factor f :**

$$F = \frac{1000 \text{ Kg} / \text{m}^3}{W_a} \quad \dots \dots (10)$$

Donde :

$W_a$  = Peso del agua para llenar el recipiente a 16 °C

Densidad del agua	1.00 g/cm <sup>3</sup>
Volumen del agua en el recipiente	2935.00 cm <sup>3</sup>
Peso del agua del recipiente	2935.00 g
<b>Factor f</b>	<b>340.72 /m<sup>3</sup></b>

Tabla 45: Determinación del factor f

**A.VI.1 Determinación del peso unitario suelto seco del agregado fino**

Peso del recipiente	3825 g
Peso del recipiente + material	8082 g
Peso del material	4257 g
Factor f	340.72 /m <sup>3</sup>
<b>Peso unitario suelto seco</b>	<b>1450.33 Kg/m<sup>3</sup></b>

Tabla 46: Determinación del peso unitario seco suelto agregado fino

**A.VI.2 Determinación del peso unitario seco compactado del agregado fino**

Peso del recipiente	3825 g
Peso del recipiente + material	8435 g
Peso del material	4610 g
Factor f	340.72 /m <sup>3</sup>
<b>Peso unitario suelto compactado</b>	<b>1570.70 Kg/m<sup>3</sup></b>

Tabla 46: Determinación del peso unitario seco compactado agregado fino

## APÉNDICE VII

### DISEÑO DE MEZCLAS Y AJUSTE DE PROPORCIONES DEL MORTERO 1:4

#### A.IX.1 Selección de las proporciones del mortero 1:4 y resumen de las propiedades de los elementos de la mezcla

Antes de realizar el diseño del mortero, se brindó un resumen de las propiedades obtenidas:

AGREGADO FINO DE CERRO	CANTERA: LA COLLPA
Peso específico de masa:	2570 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico de masa sss:	2620 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente:	2720 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario suelto seco:	1450.33 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario suelto compactado:	1570.70 kg/m <sup>3</sup>
Humedad natural:	1.86 %
Absorción:	2.30 %
Módulo de finura:	2.3
Partículas < Tamiz N°200:	4.06 %

Tabla 47: Resumen de propiedades del agregado fino

CEMENTO	PASTORURI
Tipo:	Tipo I - Blanco
Peso específico:	3120 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 48: Resumen de propiedades del cemento

ADITIVO	DIÓXIDO DE TITANIO
Tipo:	Fotocatalizador
Peso específico:	4000 kg/m <sup>3</sup>

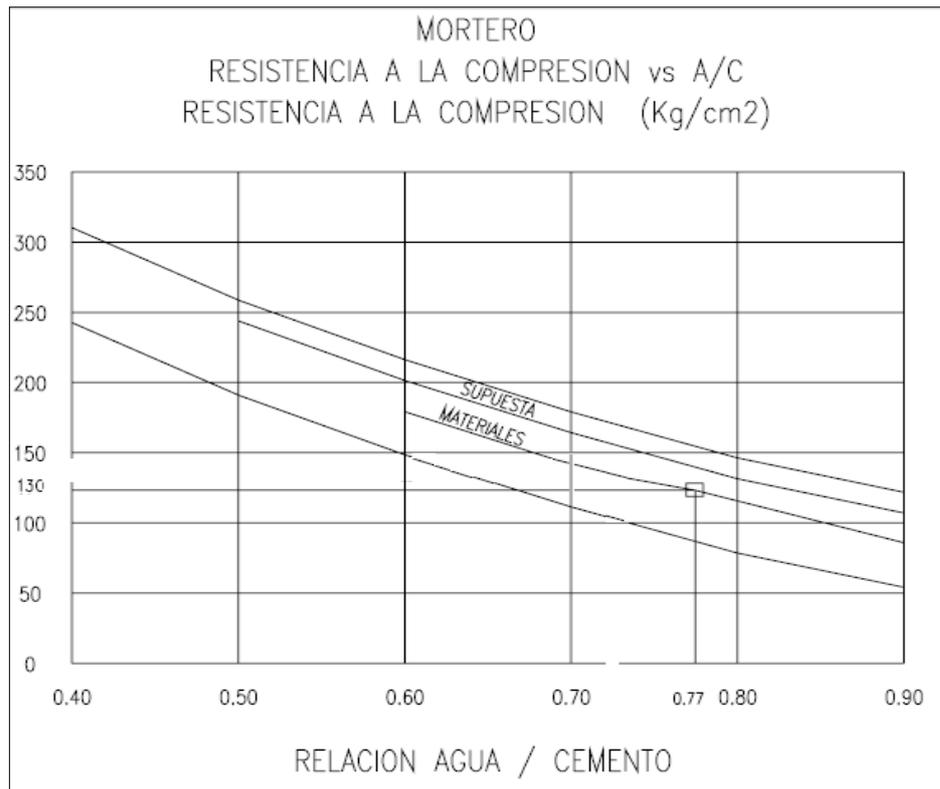
Tabla 49: Resumen de propiedades del dióxido de titanio

### A.IX.2 Proporción en volumen 1:4 / A/C = 0.77 Peso (Diseño)

- Cemento =  $1 \text{ pie}^3 = 42.5 \text{ Kg}$
- Arena =  $4 \text{ pies}^3$   
Arena =  $4 \text{ pies}^3 \times \left( \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pies}^3} \right) \times \text{Peso Unitario Suelto Seco}$   
Arena =  $4 \text{ pies}^3 \times \left( \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pies}^3} \right) \times 1450.33 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$   
Arena =  $164.27 \text{ Kg}$
- Agua =  $42.5 \times 0.77 = 32.725 \text{ litros}$
- Aire atrapado =  $2.5 \%$

### A.IX.3 Rendimiento de mezcla.

- Cemento =  $\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso específico del cemento}}$   
Cemento =  $\frac{42.5 \text{ Kg}}{3120 \text{ kg/m}^3} = 0.013622 \text{ m}^3$
- Arena =  $\frac{\text{Peso arena}}{\text{Peso específico de la arena}}$   
Arena =  $\frac{164.27 \text{ Kg}}{2570 \text{ Kg/m}^3} = 0.063920 \text{ m}^3$
- Agua =  $\frac{\text{Peso cemento} \times \text{relación a/c}}{\text{Peso específico del agua}}$   
Agua =  $\frac{42.5 \text{ Kg} \times 0.77}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 0.032725 \text{ m}^3$



$$R a/c = 0.77$$

Figura 50: Relación agua cemento par morteros C: A

- Cemento = 0.013622 m<sup>3</sup>
- Arena = 0.063920 m<sup>3</sup>
- Agua = 0.032725 m<sup>3</sup>
- Subtotal = 0.110266 m<sup>3</sup>
- Aire = 0.002757 m<sup>3</sup> (2.5% del subtotal)
- Total = 0.113023 m<sup>3</sup> (Total Rendimiento)

#### A.IX.4 Cálculo de cantidad de material por metro cúbico.

- Cemento (bolsa) =  $\frac{1}{\text{Total Rendimiento}} = \frac{1}{0.113023} = 8.848$  bolsas
- Cemento (Kg) = 42.5 x 8.848 = 376.029 Kilos
- Arena (Kg) = Cemento(bolsas) x Peso Arena
- Arena (Kg) = 8.848 x 0.063920 x 2570 = 1453.451 Kilos
- Agua (litros) = Cemento(Kg) x Relación agua/cemento
- Agua (litros) = 376.029x 0.77 = 289.543 litros

- Aire atrapado = 2.5 %

#### A.IX.5 Materiales corregidos por humedad.

- Arena H (Kg) = Arena seca x  $\left(1 + \frac{W\%}{100}\right)$
- Arena H (Kg) = 1453.451 x  $\left(1 + \frac{1.86}{100}\right) = 1480.48$  Kg
- Agua Efectiva = Agua(litros) -  $\frac{(W\% - Abs\%)}{100}$  x Arena (Kg)  
 Agua Efectiva = 289.543 -  $\frac{(1.86 - 2.30)}{100}$  x 1453.451 = 295.94 litros

#### A.IX.6 Materiales por tanda - $V_t = 0.0012 \text{ m}^3$ (9 especímenes de 5 x 5 x 5 cm)

- Cemento = Volumen tanda x Cemento(Kg) = 0.0012 x 376.029 = 0.451 Kg
- Arena(Kg) = Volumen tanda x Arena (Kg) = 0.0012 x 1453.451 = 1.744 Kg
- Agua = Volumen tanda x Agua Efectiva = 0.0012 x 295.94 = 0.355 litros

#### A.IX.7 Proporciones en volumen y peso.

Material	Proporción en Volumen	Proporción en Peso
Cemento	1 m <sup>3</sup>	1 Kg
Arena	4 m <sup>3</sup>	3.94 Kg
Agua E.	33.45 lt/bolsa	33.45 lt/bolsa

Tabla 50: Proporciones en volumen y peso

### AJUSTE DE MEZCLA

#### A.IX.8 Datos de Laboratorio

- Agua adicional = 0.08 lts
- Peso unitario del mortero fresco =  $\frac{\text{Peso del mortero fresco}}{\text{volumen espécimen}} = 2217.38 \text{ Kg/m}^3$   
 Peso de la colada:
  - Cemento = 0.451 Kg
  - Arena(Kg) = 1.744 Kg

- Agua = 0.435 litros
- Aire = 0.064 kg
- Peso de la colada = 2.694 kg

$$\text{Rendimiento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso de la colada}}{\text{Peso unitario del mortero fresco}} = 0.001215066$$

#### A.IX.9 Agua de mezclado

- Humedad superficial de la Arena (%) =  $\frac{(w\% - Abs\%)}{100}$

$$\text{Humedad superficial de la Arena (\%)} = \frac{(1.86 - 2.30)}{100}$$

$$\text{Humedad superficial de la Arena} = -0.44 \%$$

- Aporte de humedad de la arena =  $\frac{\text{Humedad superficial} \times \text{Volumen por tanda} \times \text{Arena}}{100}$

$$\text{Aporte de humedad de la arena} = \frac{-0.44 \times 0.0012 \times 1453.451}{100}$$

$$\text{Aporte de humedad de la arena} = -0.008 \text{ litros}$$

- Agua añadida = Agua adicional + agua efectiva

$$\text{Agua añadida} = 0.08 + 0.355 = 0.435 \text{ litros}$$

- Agua de mezcla por tanda = Aporte de humedad arena + agua añadida

$$\text{Agua de mezcla por tanda} = -0.008 + 0.435 = 0.427 \text{ litros}$$

- Agua de mezcla por m<sup>3</sup> =  $\frac{\text{Agua de mezcla por tanda}}{\text{Rendimiento}}$

- Agua de mezcla por m<sup>3</sup> =  $\frac{0.427}{0.001215066} = 351.792 \text{ litros}$

#### A.IX.10 Contenido de Aire: método volúmenes absolutos

- Colada

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Peso del cemento} \times \text{tanda}}{\text{Peso específico del cemento}} = \frac{376.029 \times 0.0012}{3120} = 0.000145\text{m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{\text{Agua de mezcla por tanda}}{1000} = \frac{0.427}{1000} = 0.000427 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Peso de la arena x tanda}}{\text{Peso específico de la arena}} = \frac{1453.451 \times 0.0012}{2570} = 0.000679 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 2.5\% \text{ Subtotal} = 0.025 \times 0.001251 = 0.000031 \text{ m}^3$$

$$\text{Total Colada} = 0.001282 \text{ m}^3$$

#### A.IX.11 Materiales corregidos por humedad:

- Cemento = 376.029 Kg
- Arena =  $\frac{\text{Arena húmeda} \times (100 + \text{Humedad})}{100} = \frac{1480.48 \times (100 + 1.86)}{100} = 1508.022 \text{ Kg}$
- Agua Efectiva = Agua de mezcla  $- \frac{(\text{Humedad superficial de la arena})}{100} \times \text{Arena}$   
 $\text{Agua Efectiva} = 351.792 - \frac{(-0.44)}{100} \times 1480.48 = 358.306 \text{ litros}$

#### A.IX.12 Materiales por tanda (0.0012 m<sup>3</sup> = 9 especímenes)

- Cemento = 376.029 Kg x 0.0012 = 0.451 Kg
- Arena = 1508.022 Kg x 0.0012 = 1.810 Kg
- Agua Efectiva = 358.306 litros x 0.0012 = 0.430 litros

Material	Proporción en Volumen	Proporción en Peso
Cemento	1	1
Arena	4	4.01
Agua E	40.50 lt/bolsa	40.50 lt/bolsa

Tabla 51: Proporciones en volumen y peso ajustados

## APÉNDICE VIII

### GRÁFICAS TÍPICAS ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

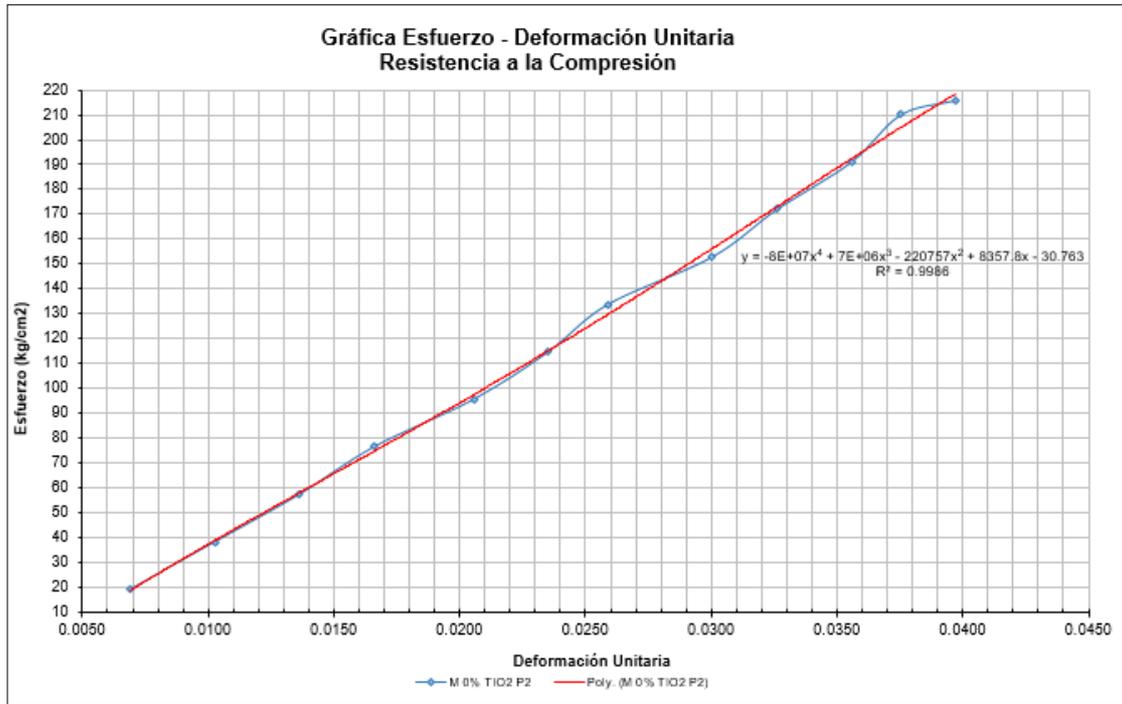


Figura 51: Esfuerzo vs. Deformación Unitaria – sin TiO<sub>2</sub>

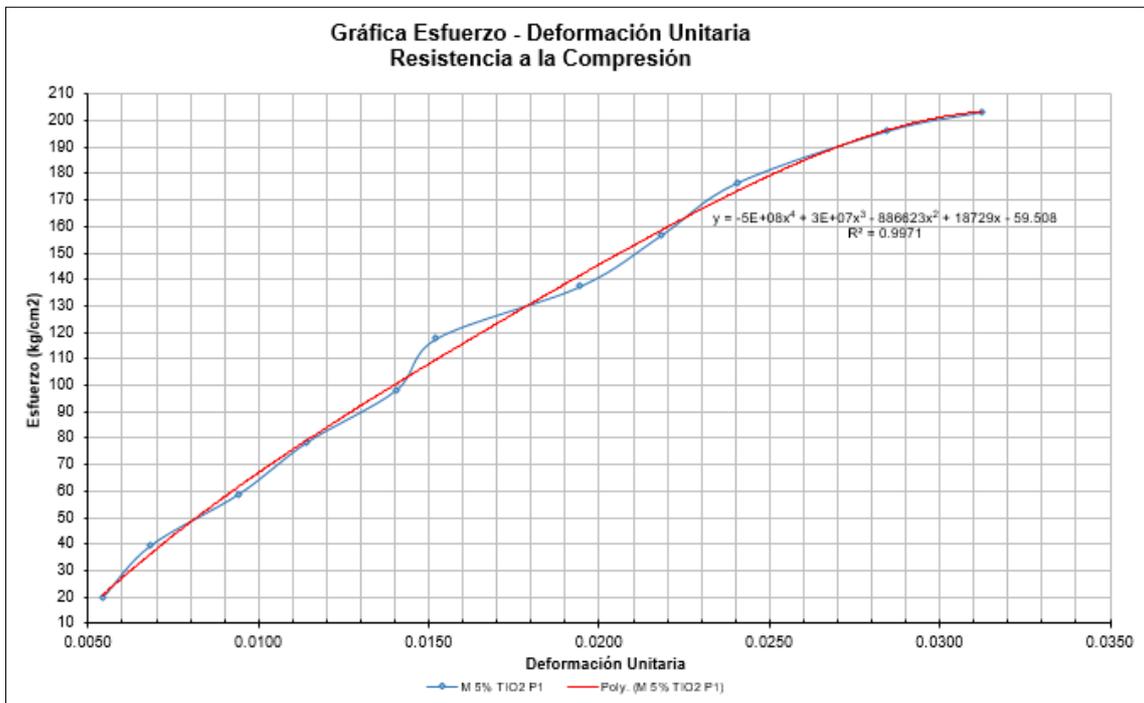


Figura 52: Esfuerzo vs. Deformación Unitaria – 5% TiO<sub>2</sub>

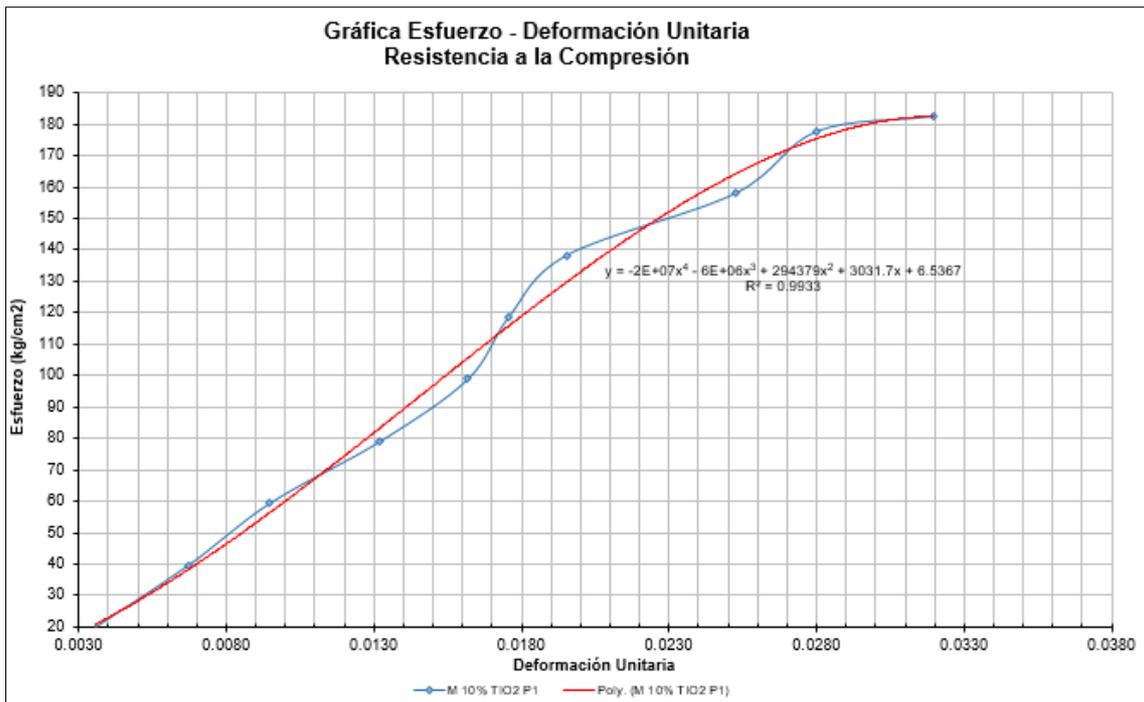


Figura 53: Esfuerzo vs. Deformación Unitaria – 10% TiO<sub>2</sub>

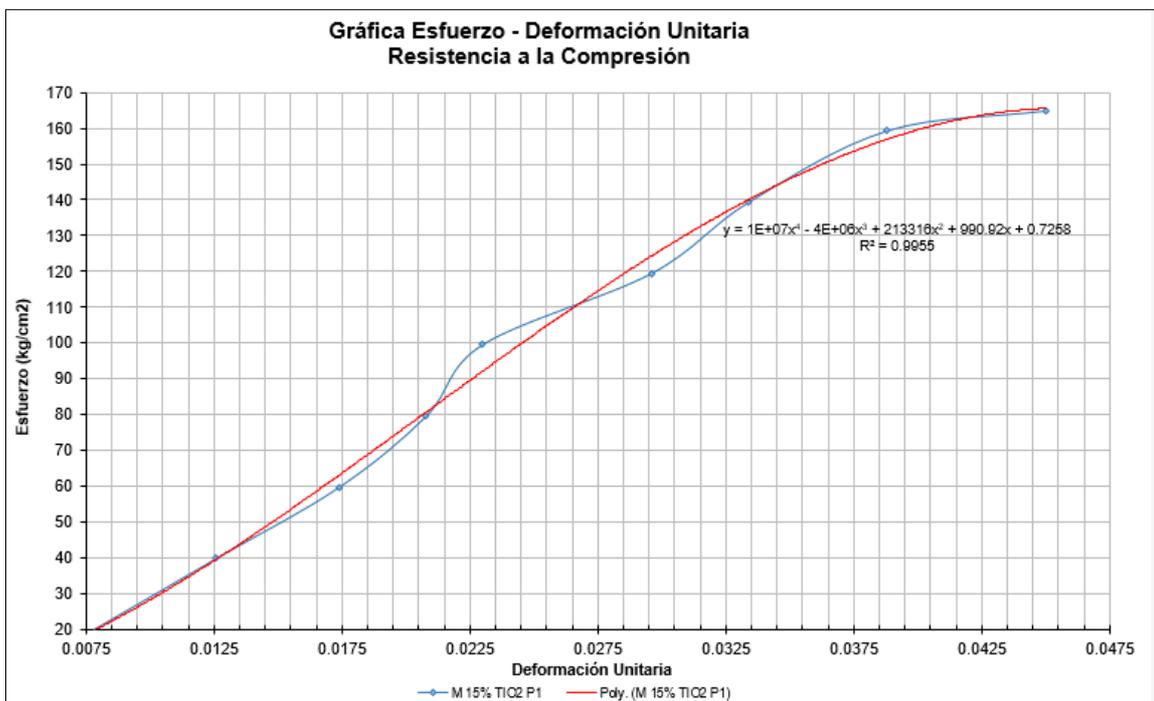


Figura 54: Esfuerzo vs. Deformación Unitaria – 15% TiO<sub>2</sub>

**APÉNDICE IX**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



Foto 01: Cemento Blanco Pastoruri  
Portland Tipo I



Foto 02: Dióxido de Titanio



Foto 03: Granulometría de la arena con los diferentes tamices normalizados

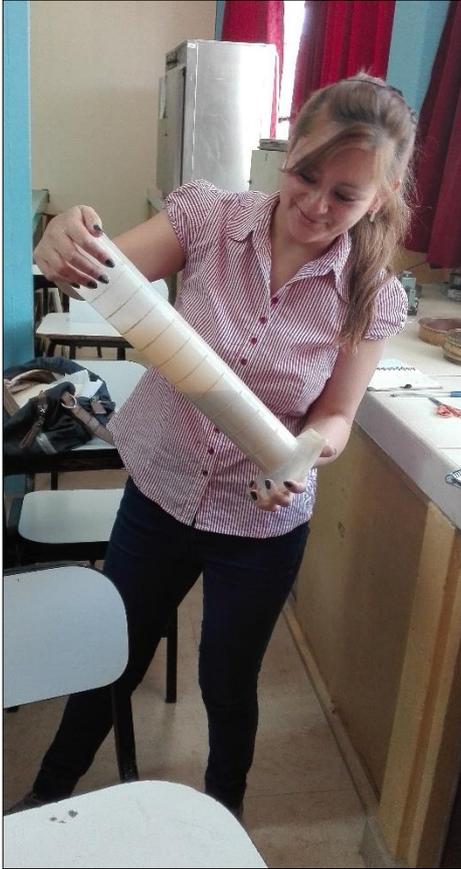


Foto 04: Determinación de los pesos específicos del agregado fino



Foto 05: Peso del molde para peso unitario suelto seco y compactado del agregado

fino



Foto 06: Moldes para probetas prismáticas cuadradas de mortero



Foto 07: Mezcla del mortero

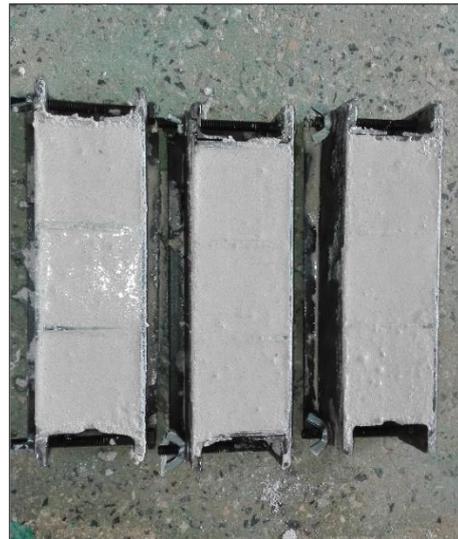


Foto 08: Llenado de probetas de mortero en estado fresco



Foto 09: Desencofrado de probetas



Foto 10: Curado de probetas de mortero para resistencia



Foto 11: Colocación de probetas en el horno



Foto 12: Peso de probeta seca



Foto 13: Moldes para probetas de mortero – ensayo autolimpiable



Foto 14: Probetas de mortero para ensayo a compresión y autolimpiable



Foto 15: Probetas para ensayo de absorción con 10% de TiO<sub>2</sub>



Foto 16: Probetas para ensayo de resistencia a la compresión



Foto 17: Colocando deformímetro en cero



Foto 18: Anotando deformaciones totales que sufre la probeta de mortero

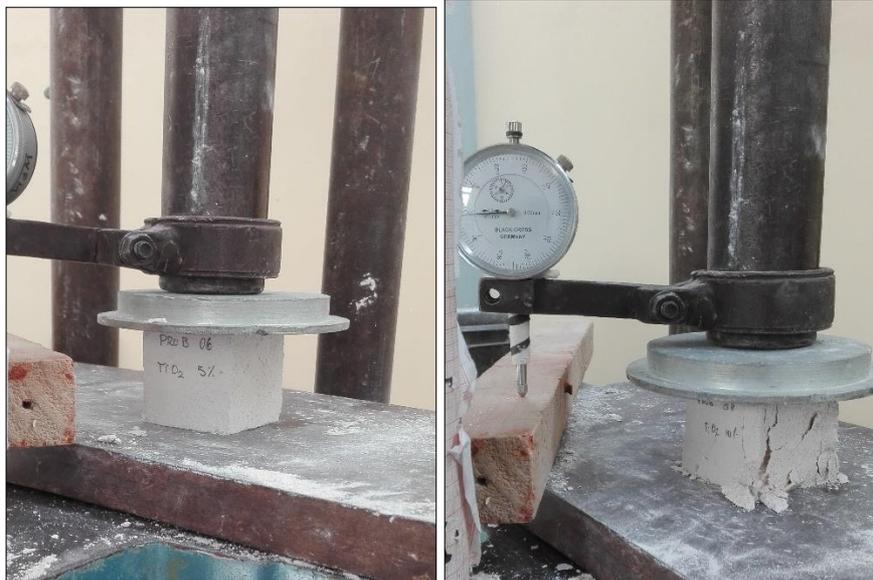


Foto 19: Resultado de espécimen ensayado a la compresión



Foto 20: Mezcla de mortero para determinar la fluidez



Foto 21: Colocación de mezcla en cono invertido



Foto 22: Medición del diámetro de la mezcla



Foto 23: Especímenes para ensayo de Rodamina - decoloración



Foto 24: Aplicación de Rodamina B a especímenes de mortero



Foto 25: Especímenes de mortero con Rodamina B

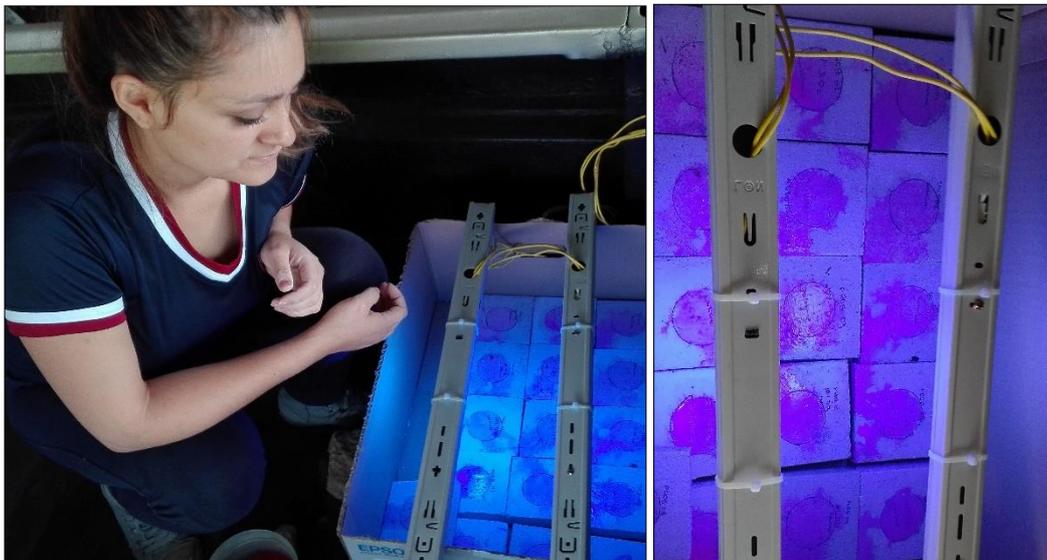


Foto 26: Probetas con Rodamina B y expuestas a rayo UV t = 0 horas



Foto 27: Probetas con Rodamina B expuestas a rayo UV por  $t = 4$  h

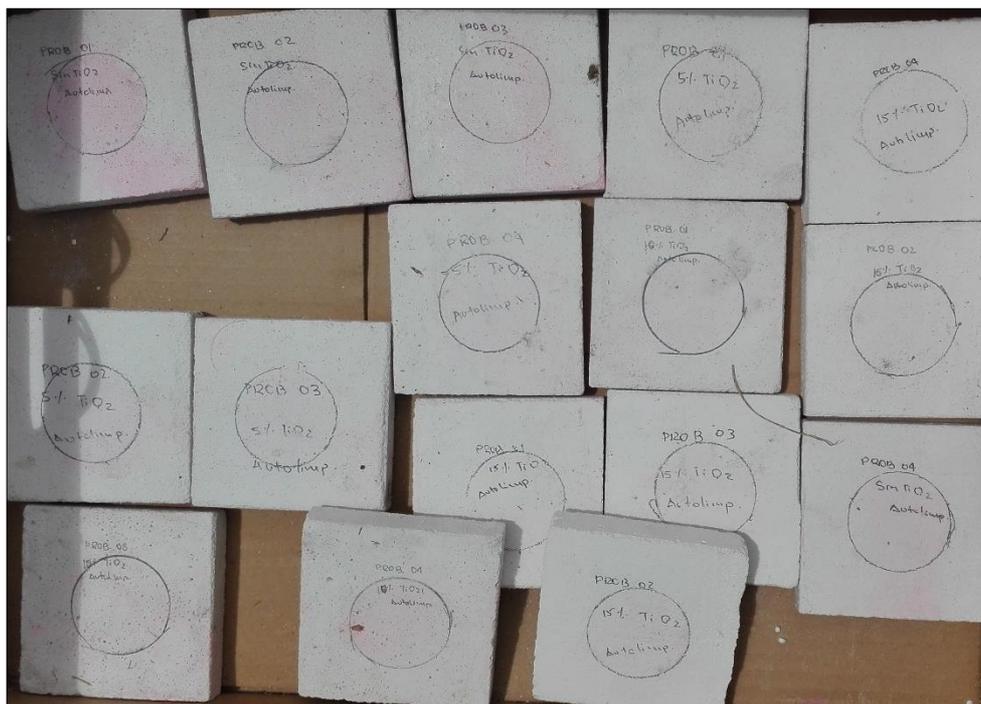


Foto 28: Probetas con Rodamina B expuestas a rayo UV por  $t = 26$  h

# ANEXOS

## ANEXO I

### HOJA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I



**COMACSA**  
Cía. Minera  
AGREGADOS CALCAREOS S.A.



Código	VNT-HT-088
Versión	01
Página	1 / 1

#### HOJA TECNICA CEMENTO BLANCO PASTORURI

<b>Resistencia Compresión (MPa):</b>	<b>Rango</b>	<b>Requisito Tipo I Norma ASTM C 150</b>
3días	20 - 30	Mínimo 12 Mpa
7días	30 - 40	Mínimo 19 Mpa
28días	40 - 50	NE

<b>Análisis físicos</b>	<b>Rango</b>	<b>Requisito Tipo I Norma ASTM C 150</b>
Superficie Específica (cm <sup>2</sup> /g)	3600 - 4400	Mínimo 2800
Aire en mortero (%)	Máximo 12	Máximo 12%
<i>Tiempo de Fraguado Vicat (minutos):</i>		
Fragua Inicial	45 - 95	Mínimo 45 min - Máximo 375
Expansión en autoclave (%)	Mínimo 0,8	Máximo 0,80%
Expansión 14 días (%)	0,000 - 0,018	Máximo 0,020%
Densidad (g/mL)	3,12	NE

<b>Análisis Químicos</b>	<b>Rango</b>	<b>Requisito Tipo I Norma ASTM C 150</b>
%SO <sub>3</sub> cuando el (C <sub>3</sub> A) <sup>o</sup> > 8%	3,00 - 4,50	Máximo 3,5%
%MgO	0,00 - 3,00	Máximo 6,0%
%Pérdida por ignición	0,00 - 3,00	Máximo 3,0%
%Residuo insoluble	0,00 - 0,75	Máximo 0,75%

\* Las especificaciones del cemento Blanco Pastoruri producido por Cia. Minera Agregados Calcáreos S.A. cumplen con los valores de la Norma ASTM C 150 para cemento Portland Tipo I.

Prohibido reproducir sin autorización del CSGC de Cia. Minera Agregados Calcáreos S.A.

AV. UNIVERSITARIA N° 6330 - LOS OLIVOS TELF.: (511)20-6363 FAX: (511) 202-6364  
E-mail : comacsa@comacsa.com.pe Apartado 3942 - LIMA PERU  
<http://www.comacsa.com.pe>

## ANEXO II

### HOJA TÉCNICA DEL DIÓXIDO DE TITANIO

**Comparação de tipos de Ti-Pure, para revestimentos**

<b>Propriedade</b>	<b>R-706</b>	<b>R-700</b>	<b>R-900</b>	<b>R-902</b>	<b>R-960</b>
TiO <sub>2</sub> , % em peso, min	93	96	94	91	89
Alumina, % em peso	2,5	3,1	4,3	4,3	3,3
Silica amorfa, % em peso	3,0	—	—	1,4	5,5
Peso especifica	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9
Volume específico, L/kg	0,25	0,25	0,25	0,25	0,255
gal/lb	0,03	0,03	0,03	0,03	0,031
Tratamento orgânico	Sim	Sim	Nao	Nao	Nao
Cor CIE L*	99,4	99,3	99,8	99,8	99,9
Tamanho médio de partícula, µm	0,36	0,34	0,41	0,42	0,50
Absorção de óleo	13,9	13,5	15,2	16,1	18,7
pH	8,2	7,3	8,1	8,1	7,2
Resistência a 30°C (86°F) (1.000 ohm)	10	14	12	10	6
Subtonalidade em negro-de-fumo	14,5	14,8	12,4	11,7	11,6

Nota: Todos os valores são típicos a menos que especificado em contrário.

## ANEXO III

### CERTIFICADO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
Norte de la Universidad Peruana  
Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Telefax N° 0051-76-36-5976 Anexo N° 129-130 / 147  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**



Certif. N° 004 – 2016

LA QUE SUSCRIBE JEFA DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
SUELOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

## CERTIFICA

Que la Bachiller en Ingeniería Civil MEDINA SALAZAR EMMY CAROL, ex alumna de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, según consta en el cuaderno de asistencia del Laboratorio de Mecánica de Suelos, ha registrado su asistencia a dicho Laboratorio para la elaboración de la tesis profesional: "INFLUENCIA DEL FOTOCATALIZADOR DIÓXIDO DE TITANIO EN LAS PROPIEDADES AUTOLIMPIABLES Y MECÁNICAS DEL MORTERO CEMENTO – ARENA 1:4 – CAJAMARCA", en el siguiente periodo:

Del 16 de Setiembre al 02 de noviembre del 2016

El Laboratorio no se responsabiliza por la ejecución y los resultados de los ensayos realizados.

Se expide el presente a solicitud verbal de la interesada para los fines que estime por conveniente,

Cajamarca, 16 de diciembre del 2016.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS

  
Dra. Ing. Rosa H. Llique Mondragin  
C.I.P. 34682  
JEFE DE LABORATORIO

## ANEXO IV

### CONSTANCIA DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
Norte de la Universidad Peruana

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERIA

Telefax Nº 0051-76-82-5976 Anexo Nº 129-130 / 154

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



### EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA CONSTANCIA

Que el Bach. en Ing. MEDINA SALAZAR, Emmy Carol ex alumna de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la universidad Nacional de Cajamarca ha realizado su asistencia al Laboratorio de Ensayo de Materiales para la elaboración de la tesis profesional: "Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento - arena 1:4 - Cajamarca" en el siguiente periodo:

Del 15 de noviembre al 30 de noviembre de 2016

El laboratorio no se responsabiliza por la ejecución y los resultados de los ensayos realizados.

Se expide el presente a solicitud verbal del interesado para los fines que estime conveniente.

Cajamarca, 19 de diciembre de 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería

M. Cs. Ing. MAURICIO CERVANTES VARGAS  
DIRECTOR

