

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TESIS:**

**OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL  
MORTERO AUTOLIMPIABLE C:A:A CON DIÓXIDO DE TITANIO.**

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Presentada por:

**Bachiller: EMMY CAROL MEDINA SALAZAR**

Asesor:

**M. Cs. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**

**Cajamarca - Perú**

**2019**

**COPYRIGHT © 2019 by**  
**EMMY CAROL MEDINA SALAZAR**  
Todos los derechos reservados

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TESIS APROBADA:**

**OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL  
MORTERO AUTOLIMPIABLE C:A:A CON DIÓXIDO DE TITANIO.**

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Presentada por:

**Bachiller: EMMY CAROL MEDINA SALAZAR**

### **JURADO EVALUADOR**

M. Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas  
Asesor

Dra. Rosa Haydeé Llique Mondragón  
Jurado Evaluador

Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno  
Jurado Evaluador

M. Cs. José Luis Marchena Araujo  
Jurado Evaluador



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

**Escuela de Posgrado**  
CAJAMARCA - PERU



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Siendo las ..16:00.. horas del día 20 de noviembre de Dos Mil Diecinueve, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por la **Dra. ROSA HAYDEÉ LLIQUE MONDRAGÓN** y **Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO**, M.Cs. **JOSÉ LUIS MARCHENA ARAUJO**, y en calidad de Asesor el **M.Cs. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL MORTERO AUTOLIMPIABLE C:A:A CON DIÓXIDO DE TITANIO**, presentada por la **Bach. En Ingeniería Civil EMMY CAROL MEDINA SALAZAR**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó ~~APROBAR~~.....con la calificación de DIECISIETE.....la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bach. En Ingeniería Civil EMMY CAROL MEDINA SALAZAR**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Siendo las 17:30... horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....  
**M.Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas**  
Asesor

.....  
**Dra. Rosa Haydeé Llique Mondragón**  
Jurado Evaluador

.....  
**Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno**  
Jurado Evaluador

.....  
**M.Cs. José Luis Marchena Araujo**  
Jurado Evaluador

Dedico este trabajo a mi papá Renato, por su apoyo incondicional, la educación y los valores que me inculcó; a mi esposo Manuel por su amor y apoyo; a mi hijo Luka que me alegra la vida, gracias por existir; a la memoria del M. en Ing. Héctor Pérez Q.D.D.G y E.P.D.

Carol Medina S.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por no dejarme sola, por rodearme de buenas personas y darme la familia que tengo.

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 demasiado. A mi tía Doris por ser una segunda madre para mí

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. Mauro Augusto Centurión Vargas, asesor de esta tesis, por la ayuda y el interés prestado, quien guió la elaboración de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis, gracias a todos por su ánimo y sobre todo cariño y amistad.

Carol Medina S.

Lo que vemos cambia lo que sabemos. Lo que  
conocemos cambia lo que vemos.

Jean Piaget

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE APÉNDICES</b> .....	xv
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	xv
<b>RESUMEN</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xvii
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Planteamiento del problema de investigación</b> .....	1
1.1.1. Contextualización.....	1
1.1.2. Descripción del problema.....	2
1.1.3. Formulación del problema.....	3
<b>1.2. Justificación e importancia de la investigación</b> .....	3
1.2.1. Justificación técnica - práctica.....	3
1.2.2. Justificación institucional y personal.....	3
<b>1.3. Delimitación de la investigación</b> .....	3
<b>1.4. Limitaciones</b> .....	4
<b>1.5. Objetivos</b> .....	4
1.5.1. Objetivo general.....	4
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	5
<b>2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial</b> .....	5
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	5
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	5
2.1.3. Antecedentes locales .....	6
<b>2.2. Marco teórico conceptual</b> .....	7
2.2.1. Dióxido de titanio - TiO <sub>2</sub> .....	7
2.2.2. Fundamentos teóricos de la fotocatalisis heterogénea .....	8
2.2.3. El sistema cemento - TiO <sub>2</sub> .....	9
2.2.4. Aplicación de TiO <sub>2</sub> como fotocatalizador en materiales de construcción.....	9
2.2.5. La reacción fotocatalítica con TiO <sub>2</sub> como catalizador aplicada a materiales de construcción....	10



2.2.6 Factores influyentes en la eficiencia de morteros fotocatalíticos .....	11
2.2.7. Contaminación del aire .....	13
2.2.8. Descontaminación del aire.....	13
2.2.9. Autolimpieza .....	14
2.2.10. Durabilidad de materiales fotocatalíticos .....	15
2.2.11. Limitaciones del mortero fotocatalítico .....	15
2.2.12. Proyecto PICADA .....	16
2.2.13. Normativa .....	16
2.2.14. UNI 11259 .....	18
2.2.15. Cemento .....	20
2.2.16. Arena para mortero .....	22
2.2.17. Estudio de las características físicas del agregado para mortero .....	22
2.2.18. Agua .....	27
2.2.19. Mortero .....	28
2.2.20. Mortero de cemento – arena .....	28
2.2.21. Aplicaciones del mortero .....	29
2.2.22. Permeabilidad .....	29
2.2.23. Absorción de los morteros .....	31
2.2.24. Resistencia a la compresión de los morteros .....	32
<b>2.3. Definición de términos básicos .....</b>	<b>32</b>
<b>CAPITULO III: PLANTEAMIENTO DE LA (S) HIPÓTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1. Hipótesis.....</b>	<b>33</b>
3.1.1. Hipótesis general .....	33
3.1.2. Hipótesis específicas .....	33
<b>3.2. Variables/Categorías.....</b>	<b>33</b>
3.2.1. Variables Dependientes .....	33
3.2.2. Variables Independientes .....	33
<b>3.3. Operacionalización / categorización de la hipótesis .....</b>	<b>34</b>
<b>CAPITULO IV: MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1. Ubicación Geográfica .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2. Diseño de la investigación.....</b>	<b>35</b>
<b>4.3. Métodos de investigación.....</b>	<b>37</b>
<b>4.4. Población, muestra y unidad de análisis.....</b>	<b>38</b>
<b>4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....</b>	<b>39</b>

<b>4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de información.....</b>	<b>39</b>
<b>4.7. Equipos, materiales e insumos.....</b>	<b>39</b>
<b>4.8. Matriz de consistencia metodológica .....</b>	<b>41</b>
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1. Análisis de los resultados de la prueba de Rodamina (UNI 11259) – materiales fotocatalíticos .....</b>	<b>42</b>
5.1.2. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 0 horas .....	42
5.1.2. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a la 1 hora .....	42
5.1.3. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 2 horas .....	43
5.1.4. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 4 horas .....	44
5.1.5. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 5 horas .....	45
5.1.6. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 10 horas .....	45
5.1.7. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 20 horas .....	46
5.1.8. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 26 horas .....	47
5.1.9. Análisis estadístico de la Rodamina .....	48
A. Análisis estadístico de coloración al tiempo de 4 horas .....	48
B. Análisis estadístico de coloración al tiempo de 26 horas .....	52
5.1.10. Análisis de la coloración promedio y tiempo en horas para los distintos tratamientos de mortero con diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> .....	56
5.1.11. Análisis de mortero fotocatalítico con la prueba de Rodamina.....	58
A. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento sin TiO <sub>2</sub> .....	58
B. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 3% TiO <sub>2</sub> .....	59
C. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 4% TiO <sub>2</sub> .....	60
D. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 5% TiO <sub>2</sub> .....	61
E. Resumen – Análisis Optimización mortero fotocatalítico .....	62
<b>5.2. Análisis de los resultados para la optimización de la absorción en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:5 .....</b>	<b>64</b>
5.2.1. Análisis estadístico de absorción .....	65
<b>5.3. Análisis de los resultados para la optimización de la resistencia a la compresión en especímenes rectangulares de mortero cemento arena 1:5 a la edad de 28 días .....</b>	<b>69</b>
5.3.1. Análisis estadístico de resistencia a la compresión a la edad de 28 días .....	70
<b>5.4. Análisis de los resultados para la optimización de permeabilidad en especímenes rectangulares de mortero cemento arena 1:5 .....</b>	<b>75</b>
5.4.1. Análisis estadístico de permeabilidad .....	76

<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	82
<b>6.1. Conclusiones</b> .....	82
<b>6.2. Recomendaciones</b> .....	83
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	84
<b>APÉNDICES</b> .....	87
<b>ANEXOS</b> .....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Propiedades físicas del TiO <sub>2</sub> .....	7
<b>Tabla 2:</b> Composición química del clinker blanco y gris de cemento de Portland .....	22
<b>Tabla 3:</b> Límites granulométricos para el agregado para mortero de albañilería .....	23
<b>Tabla 4:</b> Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura .....	24
<b>Tabla 5:</b> Coeficiente de permeabilidad según A. Casagrande y R. E. Fadum .....	30
<b>Tabla 6:</b> Coeficiente de permeabilidad según Terzaghi y Peck .....	31
<b>Tabla 7:</b> Optimización/ categorización de la hipótesis .....	34
<b>Tabla 8:</b> Criterio y tipo de investigación .....	37
<b>Tabla 9:</b> Población, muestra y unidades de análisis .....	38
<b>Tabla 10:</b> Número de ensayos por tratamiento .....	38
<b>Tabla 11:</b> Número de ensayos con tratamiento óptimo .....	38
<b>Tabla 12:</b> Matriz de consistencia metodológica .....	41
<b>Tabla 13:</b> Coloración para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=0h) .....	42
<b>Tabla 14:</b> Coloración para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=1h) .....	42
<b>Tabla 15:</b> Coloración para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=2h) .....	43
<b>Tabla 16:</b> Coloración para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=4h) .....	44
<b>Tabla 17:</b> Coloración para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=5h) .....	45
<b>Tabla 18:</b> Coloración para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=10h) .....	45
<b>Tabla 19:</b> Coloración para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=20h) .....	46
<b>Tabla 20:</b> Coloración para diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> (t=26h) .....	47
<b>Tabla 21:</b> Coloración promedio y tiempo en horas para los distintos tratamientos .....	56
<b>Tabla 22:</b> Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para el tratamiento sin TiO <sub>2</sub> .....	58
<b>Tabla 23:</b> Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para el tratamiento con 3% TiO <sub>2</sub> .....	59
<b>Tabla 24:</b> Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para el tratamiento con 4% TiO <sub>2</sub> .....	60
<b>Tabla 25:</b> Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para el tratamiento con 5% TiO <sub>2</sub> .....	61
<b>Tabla 26:</b> Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para todos los tratamientos de TiO <sub>2</sub> .....	62
<b>Tabla 27:</b> Absorción para los diferentes tratamientos en estudio expresado en porcentaje .....	64

<b>Tabla 28:</b> Resistencia a la compresión obtenidas a los 28 días para los diferentes tratamientos .....	69
<b>Tabla 29:</b> Permeabilidad para los diferentes tratamientos (cm/s) .....	75
<b>Tabla 30:</b> Análisis granulométrico del agregado fino .....	88
<b>Tabla 31:</b> Peso específico y absorción del agregado fino .....	89
<b>Tabla 32:</b> Contenido de humedad del agregado fino .....	89
<b>Tabla 33:</b> Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado fino .....	90
<b>Tabla 34:</b> Determinación del factor f .....	91
<b>Tabla 35:</b> Peso unitario seco suelto agregado fino .....	91
<b>Tabla 36:</b> Peso unitario seco compactado agregado fino .....	91
<b>Tabla 37:</b> Propiedades del agregado fino .....	92
<b>Tabla 38:</b> Propiedades del cemento .....	92
<b>Tabla 39:</b> Propiedades del dióxido de titanio .....	93
<b>Tabla 40:</b> F'c por tipo de mortero .....	93
<b>Tabla 41:</b> Proporciones en volumen y peso .....	96
<b>Tabla 42:</b> Proporciones en volumen y peso ajustados.....	98
<b>Tabla 43:</b> Coloración medida a las 0 horas (t=0h) .....	99
<b>Tabla 44:</b> Coloración medida a la 1 hora (t=1h) .....	99
<b>Tabla 45:</b> Coloración medida a las 2 horas (t=2h) .....	100
<b>Tabla 46:</b> Coloración medida a las 4 horas (t=4h) .....	100
<b>Tabla 47:</b> Coloración medida a las 5 horas (t=5h) .....	101
<b>Tabla 48:</b> Coloración medida a las 10 horas (t=10h) .....	101
<b>Tabla 49:</b> Coloración medida a las 20 horas (t=20h) .....	102
<b>Tabla 50:</b> Coloración medida a las 26 horas (t=26h) .....	102
<b>Tabla 51:</b> Absorción de los tratamientos en estudio para la optimización del mortero con 3% TiO <sub>2</sub> .	103
<b>Tabla 52:</b> Resistencia a la compresión a la edad de 28 días de los tratamientos en estudio para la optimización del mortero con 3%TiO <sub>2</sub> .....	104
<b>Tabla 53:</b> Permeabilidad de los tratamientos en estudio para la optimización del mortero con 3%TiO <sub>2</sub> .....	105

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Minerales de TiO <sub>2</sub> , Anastasa y Rutilo, y sus estructuras cristalográficas .....	8
<b>Figura 2:</b> Proceso de la reacción fotocatalítica con dióxido de titanio como catalizador y óxidos de nitrógeno como contaminante .....	10
<b>Figura 3:</b> Esquema de descomposición y fijación del NO <sub>x</sub> .....	14
<b>Figura 4:</b> Aplicación de la solución de rodamina en la superficie de la muestra .....	19
<b>Figura 5:</b> Fotografía de la evolución de la degradación del color .....	19

<b>Figura 6:</b> Ubicación de la cantera La Colpa .....	35
<b>Figura 7:</b> Rodamina – 0 Hora. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	42
<b>Figura 8:</b> Rodamina – 1 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	43
<b>Figura 9:</b> Rodamina – 2 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	43
<b>Figura 10:</b> Rodamina – 4 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	44
<b>Figura 11:</b> Rodamina – 5 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	45
<b>Figura 12:</b> Rodamina – 10 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	46
<b>Figura 13:</b> Rodamina – 20 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	47
<b>Figura 14:</b> Rodamina – 26 Horas. Coloración vs % TiO <sub>2</sub> .....	47
<b>Figura 15:</b> Valores individuales de coloración (4h) vs. Tratamientos en estudio .....	50
<b>Figura 16:</b> Gráfica de ICs simultáneos de 95% de Tukey (4h) .....	51
<b>Figura 17:</b> Gráfica de caja de coloración (4h) .....	51
<b>Figura 18:</b> Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero (4h) .....	52
<b>Figura 19:</b> Valores individuales de coloración (26h) vs. Tratamientos en estudio .....	54
<b>Figura 20:</b> Gráfica de ICs simultáneos de 95% de Tukey (26h) .....	54
<b>Figura 21:</b> Gráfica de caja de coloración (26h) .....	55
<b>Figura 22:</b> Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero (26h) .....	55
<b>Figura 23:</b> Coloración promedio vs. Edad, por tratamiento con diferentes % TiO <sub>2</sub> .....	56
<b>Figura 24:</b> Análisis de mortero fotocatalítico - tratamiento sin TiO <sub>2</sub> .....	59
<b>Figura 25:</b> Análisis de mortero fotocatalítico - tratamiento con 3% TiO <sub>2</sub> .....	60
<b>Figura 26:</b> Análisis de mortero fotocatalítico - tratamiento con 4% TiO <sub>2</sub> .....	61
<b>Figura 27:</b> Análisis de mortero fotocatalítico - tratamiento con 5% TiO <sub>2</sub> .....	62
<b>Figura 28:</b> Resumen – Análisis de mortero fotocatalítico .....	63
<b>Figura 29:</b> Resumen – Análisis de mortero fotocatalítico – gráfico barras .....	63
<b>Figura 30:</b> Absorción promedio vs M° con diferentes % agua efectiva (A. E.) .....	64
<b>Figura 31:</b> Gráfica de valores individuales de absorción .....	67
<b>Figura 32:</b> Gráfica ICs simultáneos de 95% de Tukey absorción .....	67
<b>Figura 33:</b> Gráfica de caja de absorción .....	68
<b>Figura 34:</b> Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero de absorción .....	69
<b>Figura 35:</b> Resistencia a la compresión promedio vs % agua efectiva (A.E.) .....	70
<b>Figura 36:</b> Gráfica de valores individuales de resistencia a la compresión .....	72
<b>Figura 37:</b> Gráfica ICs simultáneos de 95% de Tukey de resistencia a la compresión .....	73
<b>Figura 38:</b> Gráfica de caja de resistencia a la compresión .....	73
<b>Figura 39:</b> Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero de resistencia a la compresión .....	74
<b>Figura 40:</b> Permeabilidad promedio vs % agua efectiva (A. E.) .....	75

<b>Figura 41:</b> Gráfica de valores individuales de permeabilidad .....	78
<b>Figura 42:</b> Gráfica ICs simultáneos de 95% de Tukey de permeabilidad .....	79
<b>Figura 43:</b> Gráfica de caja de permeabilidad .....	79
<b>Figura 44:</b> Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero de permeabilidad .....	80
<b>Figura 45:</b> Relación agua cemento para mortero C:A .....	94
<b>Figura 46:</b> Cemento Blanco Pastoruri Portland Tipo I .....	106
<b>Figura 47:</b> Dióxido de Titanio .....	106
<b>Figura 48:</b> Rodamina B .....	106
<b>Figura 49:</b> Moldes para probetas prismáticas cuadradas de mortero .....	106
<b>Figura 50:</b> Moldes para probetas de mortero – ensayo autolimpiable .....	107
<b>Figura 51:</b> Peso del molde para peso unitario suelto seco y compactado del agregado fino .....	107
<b>Figura 52:</b> Muflas .....	107
<b>Figura 53:</b> Tamices normalizados para granulometría del agregado fino .....	107
<b>Figura 54:</b> Cuarteo del agregado fino .....	107
<b>Figura 55:</b> Granulometría con tamices normalizados .....	108
<b>Figura 56:</b> Lavado de finos .....	108
<b>Figura 57:</b> Determinación de peso específico y absorción del agregado fino .....	108
<b>Figura 58:</b> Probetas sin desencofrar para permeabilidad y prop. autolimpiable .....	108
<b>Figura 59:</b> Probetas de mortero para ensayos de propiedad autolimpiable .....	108
<b>Figura 60:</b> Especímenes de mortero con diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> con Rodamina B .....	109
<b>Figura 61:</b> Especímenes de mortero con 0%, 3%, 4% y 5% de TiO <sub>2</sub> con Rodamina B expuesta a rayos UV, t = 0 horas .....	109
<b>Figura 62:</b> Especímenes de mortero con 0%, 3%, 4% y 5% de TiO <sub>2</sub> con Rodamina B expuesta a rayos UV, t = 4 horas .....	109
<b>Figura 63:</b> Especímenes de mortero con 0%, 3%, 4% y 5% de TiO <sub>2</sub> con Rodamina B expuesta a rayos UV, t = 26 horas .....	109
<b>Figura 64:</b> Probetas con 0% TiO <sub>2</sub> para resistencia a la compresión .....	110
<b>Figura 65:</b> Probetas con 3% TiO <sub>2</sub> para absorción .....	110
<b>Figura 66:</b> Curado de probetas de mortero .....	110
<b>Figura 67:</b> Peso de la canastilla sumergida para la absorción .....	110
<b>Figura 68:</b> Peso de la probeta seca al horno .....	110
<b>Figura 69:</b> Probetas para permeabilidad .....	110
<b>Figura 70:</b> Probetas a 12 horas de ser ensayadas a permeabilidad .....	111
<b>Figura 71:</b> Máquina de compresión uniaxial .....	111
<b>Figura 72:</b> Probeta para resistencia a la compresión en la máquina de compresión uniaxial .....	111
<b>Figura 73:</b> Rotura de probeta ensayada a resistencia a la compresión .....	111

## INDICE DE APÉNDICES

<b>Apéndice I:</b> Cálculo y resultado del análisis granulométrico del agregado fino (ASTM C 136 – NTP 339.128) .....	88
<b>Apéndice II:</b> Cálculo y resultado del peso específico y absorción del agregado fino .....	89
<b>Apéndice III:</b> Cálculo de la humedad del agregado fino (ASTM D 2216/ D 4643 – NTP 339.127) .....	89
<b>Apéndice IV:</b> Cálculo de la cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado fino (ASTM C 117 – NTP 400.018) .....	90
<b>Apéndice V:</b> Cálculo del peso unitario suelto del agregado fino (ASTM C29 – NTP 400.017) .....	90
<b>Apéndice VI:</b> Diseño de mezclas y ajuste de proporciones del Mortero 1:5 .....	92
<b>Apéndice VII:</b> Resultados del análisis de la prueba de rodamina (UNI 11259) .....	99
<b>Apéndice VIII:</b> Resultados para la optimización de la prueba de absorción en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:5 .....	103
<b>Apéndice IX:</b> Resultados para la optimización de la prueba de resistencia a la compresión en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:5 a la edad de 28 días .....	104
<b>Apéndice X:</b> Resultados para la optimización de la prueba de permeabilidad en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:5 a la edad de 28 días .....	105
<b>Apéndice XI:</b> Panel Fotográfico.....	106

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo I:</b> Hoja técnica del Cemento Portland Tipo I .....	113
<b>Anexo II:</b> Hoja técnica del Dióxido de Titanio .....	114
<b>Anexo III:</b> Certificado de química y técnica(o) de Rodamina B .....	115
<b>Anexo IV:</b> Certificado de ejecución de ensayo de materiales .....	116

## RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo determinar los porcentajes adecuados de dióxido de titanio y agua para la optimización de las propiedades de absorción, permeabilidad y resistencia a la compresión del mortero autolimpiable C:A 1:5 con dióxido de titanio en Cajamarca. Para esto, se emplearon los agregados de la cantera La Colpa y el agua de la ciudad de Cajamarca, con los cuales se realizaron tratamientos de mortero C:A 1:5 con  $\text{TiO}_2$ , con 3%, 4% y 5% de  $\text{TiO}_2$  con el fin de optimizar la propiedad autolimpiable. Ya obtenido el porcentaje óptimo de  $\text{TiO}_2$  (3%  $\text{TiO}_2$ ), se realizaron probetas prismáticas rectangulares de 5 x 5 x 5 cm de prueba para obtener 4 nuevos tratamientos con diferentes porcentajes de agua, tratamiento 1: Mortero C:A 1:5 sin  $\text{TiO}_2$  y con el 100% de agua efectiva (tratamiento base), tratamiento 2: Mortero C:A 1:5 con 3%  $\text{TiO}_2$  y con el 100% de agua efectiva, tratamiento 3: Mortero C:A 1:5 con 3%  $\text{TiO}_2$  y con 90% de agua respecto al agua efectiva, tratamiento 4: Mortero C:A 1:5 con 3%  $\text{TiO}_2$  y con 85% de agua respecto al agua efectiva; con el fin de optimizar las propiedades de permeabilidad, absorción y resistencia a la compresión. Luego de realizados los estudios correspondientes, se concluyó que el tratamiento óptimo fue el de 3%  $\text{TiO}_2$  con 90% de agua efectiva por mostrar un equilibrio entre las 4 propiedades evaluadas.

Palabras Clave: Optimización, Dióxido de Titanio, Autolimpiable, Fotocatalizador, Resistencia a la compresión, absorción, permeabilidad.



## **ABSTRACT**

The objective of this study was determining the percentages of titanium dioxide and water to optimize the properties of absorption, permeability and compressive strength of the self-cleaning mortar C: A 1: 5 with titanium dioxide in Cajamarca. For this, was used the aggregates of La Colpa quarry and the water of the city of Cajamarca, with which were made the C: A 1: 5 mortar treatments without TiO<sub>2</sub>, with 3%, 4% and 5% of TiO<sub>2</sub> and with the purpose of optimizing the self-cleaning property. We already obtained the optimum percentage of TiO<sub>2</sub> (3% TiO<sub>2</sub>), we tested rectangular prismatic samples of 5 x 5 x 5 cm of test to obtain 4 new treatments with different percentages of water, treatment 1: Mortar C: A 1: 5 without TiO<sub>2</sub> and with the 100% of effective water (base treatment), treatment 2: Mortar C: A 1: 5 with 3% TiO<sub>2</sub> and with the 100% of effective water, treatment 3: Mortar C: A 1: 5 with 3% TiO<sub>2</sub> and with 90% of water respect to effective water, treatment 4: Mortar C: A 1: 5 with 3% TiO<sub>2</sub> and with 85% of water respect to effective water; with the purpose to optimize the properties of permeability, absorption and resistance to compression. After made the corresponding studies, we concluded that the optimal treatment was 3% of TiO<sub>2</sub> and 90% of water for show a balance between the 4 properties evaluated.

Keywords: Optimization, Titanium Dioxide, Self-cleaning, Photocatalyst, Compression Resistance, Absorption, Permeability.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema de investigación

#### 1.1.1 Contextualización

En nuestro país y en el mundo la industria de la construcción genera un alto impacto sobre la naturaleza, como es la contaminación ambiental que se genera del efecto de la polución. El uso de los aditivos fotocatalíticos hoy en día son muy utilizados en todo el mundo y con constante expansión, debido a que brinda la capacidad autolimpiable, y ayuda al medioambiente en la descontaminación de mismo, además de ser materiales económicos a largo plazo y durables. (Vásquez, 2016)

Una importante tecnología estudiada en los últimos años en los materiales de construcción ha sido la inclusión de semiconductores como el  $\text{TiO}_2$  en las mezclas de concreto o mortero, con el fin de eliminar contaminantes en las superficies expuestas al medio ambiente. Esta tecnología basada en la incorporación del dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), mezclado en la matriz o adicionado en la superficie del concreto o mortero permite la purificación del aire “auto-limpieza” de la superficie durante la irradiación solar. (Jimenez, 2016)

Con respecto a la propiedad autolimpiable se buscó un rango de porcentajes que optimicen dicha propiedad. Luego considerando como óptimo al mortero sin dióxido de titanio, se optimizaron las propiedades de permeabilidad, absorción y resistencia a la compresión, propiedades fundamentales del mortero autolimpiable de revestimiento pues sin estas el mortero en estudio no cumpliría su función primordial, que es revestir y se buscó las mejores condiciones a través de la manipulación de los porcentajes de dióxido de titanio y agua para que la adición del dióxido de titanio no generara cambios sobre dichas propiedades.

### 1.1.2 Descripción del problema

Con el pasar del tiempo la construcción sustentable está tomando una importancia relevante, ya que en los proyectos que 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 es atractivo. (Casanovas, 2009)

De manera permanente 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 están inmersos en la construcción conocen 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, 2012)

El efecto invernadero se produce por la liberación de gases contaminantes como monóxido de carbono, dióxido de carbono, exóxidos de azufre, exóxidos de nitrógeno a la atmósfera, lo que produce el calentamiento global, problema ambiental de gran impacto en estos días y que nos debe mantener alertas y en busca soluciones. (Vásquez, 2016)

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 ayuden al 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, 2013), la introducción del TiO<sub>2</sub> podría afectar propiedades físico mecánicas importantes para el mortero de revestimiento tales como la permeabilidad, absorción y resistencia a la compresión; por lo que es importante obtener porcentajes de TiO<sub>2</sub> que no afecten las propiedades antes mencionadas a través de la optimización (con la manipulación de los porcentajes de TiO<sub>2</sub> y agua, teniendo como línea base al mortero sin dióxido de titanio).

### **1.1.3 Formulación del problema**

¿Cuáles son los porcentajes adecuados de dióxido de titanio y agua para la optimización de las propiedades físico – mecánicas del mortero autolimpiable C:A 1:5 con dióxido de titanio en Cajamarca?

### **1.2 Justificación e importancia de la investigación**

Con el presente trabajo de investigación se obtendrán nuevos conocimientos sobre la optimización de las propiedades de permeabilidad, absorción y resistencia a la compresión de los morteros cemento arena con dióxido de titanio.

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. Al adicionar el dióxido de titanio el mortero se vuelve fotocatalítico, por lo que sus propiedades como la permeabilidad, absorción y resistencia a la compresión se afectan, por lo que se optimizaron dichas propiedades para que el mortero siga presentando un buen desempeño.

La Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) a través de su Escuela de Posgrado, está en capacidad de desarrollar investigaciones a través de sus estudiantes a fin de resolver los problemas sociales y laborales que se enmarcan en su campo de acción; esta investigación se realizó con el fin de buscar innovaciones y soluciones en el campo de la construcción.

### **1.3 Delimitación de la investigación**

La investigación se realizó usando los agregados provenientes de una cantera representativa de cerro del Valle de Cajamarca “La Colpa” por los buenos resultados en sus propiedades físicas del agregado fino su color blanquecino que ayuda al mortero autolimpiable, por lo que los resultados son aplicables solo para canteras de cerro que su agregado fino tenga propiedades similares a las de la cantera La Colpa, se hizo uso de cemento blanco tipo I Pastoruri que cumple con las normas ASTM C 150. La investigación se realizó entre los meses de julio y febrero, en un periodo de 8 meses durante los años 2018-2019, por lo que la información obtenida de las Normas Técnicas Peruanas, ASTM o 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 limitó a la optimización de la propiedad autolimpiable con dióxido de titanio, de las propiedades de permeabilidad, absorción y resistencia a la compresión del mortero autolimpiable C:A 1:5 con agregados de la cantera La Colpa, agua potable de la ciudad de Cajamarca y la adición del aditivo fotocatalítico realizados en la misma ciudad.

#### **1.4 Limitaciones**

No se realizaron las propiedades físico – mecánicas de flexión y durabilidad.

#### **1.5 Objetivos**

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

- ✓ Determinar los porcentajes adecuados de dióxido de titanio y agua para la optimización de las propiedades físico – mecánicas del mortero autolimpiable C:A 1:5 con dióxido de titanio.

##### **1.5.2 Objetivos específicos**

- ✓ Establecer los porcentajes de dióxido de titanio, para que el mortero sea autolimpiable.
- ✓ Determinar los porcentajes de agua a utilizar en los tratamientos del mortero C:A 1:5 utilizando el porcentaje establecido de dióxido de titanio a través de mezclas de prueba.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

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

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Aguilar (2013), estudió la “Evaluación técnico ambiental del dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en los morteros de cemento chilenos”, Universidad del Bio-Bio Facultad de Arquitectura, construcción y diseño, Concepción, donde concluyó que al aumentar la cantidad en peso de  $\text{TiO}_2$ , 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.

Cárdenas (2012), en su estudio de “Evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de dióxido de titanio” - Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, concluyó que mediante la degradación del colorante orgánico Rodamina B y la degradación de los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) 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.

Elkoro (2013), en su estudio de “Optimización de la aplicación de nanopartículas fotocatalíticas en morteros” – Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, concluyó que las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  muestran tendencia a la deposición. Esta tendencia está influenciada por su elevada densidad, cercana a  $4 \text{ g/cm}^3$ , pero es necesario estudiarlo en profundidad para llegar a conocer el alcance de otros factores que posiblemente influyan, como por ejemplo el tiempo de fraguado, la consistencia de la mezcla, el vibrado.

Chiguay (2007), estudió el “Análisis razón agua/cemento con mortero de cemento blanco” – Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, donde concluyó: “Según datos obtenidos de docilidad, no existe una tendencia de la influencia de la razón agua/cemento respecto del descenso del cono”.

Guerrero (2008), en su estudio de “Análisis de mezclas para morteros de enlucidos utilizando arena cuarcífera de la formación hollín” – Escuela Superior Politécnica del Litoral”, Guayaquil, Ecuador, concluyó que de las pruebas realizadas con productos cementantes nacionales se deduce que la mezcla que produjo las mejores condiciones mecánicas y de acabado fue realizada con una relación cementante/arena de 1:3.

Rodríguez (2012), en su investigación de “Morteros fotocatalíticos: Análisis de su autolimpieza en función del tipo de cemento y rugosidad superficial”, Madrid, concluyó: “que las normas actuales de autolimpieza, están diseñadas para morteros de cemento y materiales blancos, ya que a la hora de evaluar materiales autolimpiantes de otros colores, su análisis se complica, ya que hay que empezar a valorar parámetros que las normas actuales no tienen en cuenta, para poder tener unos resultados que se aproximen a la realidad”.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Martínez (2019), investigó el “Efecto del dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en el comportamiento del mortero de cemento Portland tipo I para fachadas – Lima Metropolitana (2018)”, Universidad Ricardo Palma, Perú, concluyó: “La tasa de absorción de agua a las 24 horas de exposición del mortero con 5%, 7.5% y 10% de  $\text{TiO}_2$  disminuyó en 11.33%, 15.78% y 18.13% respectivamente en relación al mortero sin  $\text{TiO}_2$ ”.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Vásquez (2016), estudió: “Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en la propiedad autolimpiable del concreto  $f'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ”, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, concluyó: “Utilizando los estudios realizados a la resistencia a la compresión y prueba de Rodamina – decoloración, el tratamiento óptimo para la ejecución real está entre los rangos de 3%  $\text{TiO}_2$  – 6%  $\text{TiO}_2$  pues es 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.”



## 2.2. Marco teórico conceptual

### 2.2.1. 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, 2012)

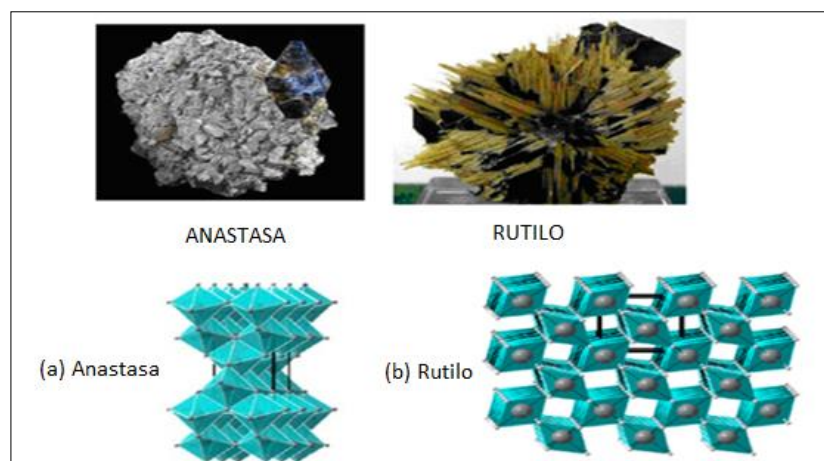
Tabla 1

#### Propiedades físicas del TiO<sub>2</sub>

PROPIEDAD	RUTILO	ANATASA	BROOKITA
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> ]	4274.	3895	4123

Fuente: Rodríguez, 2012.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las propiedades físicas generales de las fases del óxido de titanio. 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. 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 (Ramírez, 2013).



**Figura 1: Minerales de  $\text{TiO}_2$ , Anastasa y Rutilo, y sus estructuras cristalográficas.**

Fuente: Rodríguez, 2012.

### 2.2.2. Fundamentos teóricos de la fotocatalisis heterogénea

La fotocatalisis heterogénea es un ejemplo del empleo de catalizador para el tratamiento y degradación de contaminantes. (Adán, 2008)

La catálisis es uno de los procesos químicos más estudiados a nivel mundial, en donde se busca modificar, mediante la incorporación de un agente llamado catalizador, la velocidad de una reacción ya sea aumentándola o disminuyéndola. Existen dos tipos de catálisis, la homogénea y la heterogénea. A su vez, dentro de los tipos de catálisis heterogénea se encuentra una catálisis que ocurre bajo radiación, llamada fotocatalisis. (Rodríguez, 2012). Este proceso es muy estudiado a nivel mundial pues se puede emplear en aplicaciones de gran valor como lo es la limpieza ambiental, donde 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, 2012).

Los materiales de construcción tratados con un fotocatalizador eliminan sobre todo las partículas  $\text{NO}_x$  que están producidas por los vehículos, la industria y la producción de energía. Por medio de la fotocatalisis se puede eliminar la mayor parte de los contaminantes presentes en las zonas urbanas:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , compuestos orgánicos volátiles (VOCs), CO, metil mercaptano, formaldehído, compuestos orgánicos clorados, compuestos poliaromáticos. (CEMEX, 2018)

En resumen, la fotocatalisis es un fenómeno en el que una sustancia utiliza la luz para alterar la velocidad de una reacción química. La energía de la luz aprovecha para

acelerar la formación de reactivos oxidantes fuertes que dan lugar a la descomposición de los contaminantes orgánicos e inorgánicos. La tecnología fotocatalítica aplicada a las estructuras de concreto ofrece dos beneficios principales: Edificios y estructuras más limpias y aire más limpio (Folli, 2010).

### **2.2.3. El sistema cemento – TiO<sub>2</sub>**

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, TiO<sub>2</sub> está presente en todas partes de la estructura de cemento formada. TiO<sub>2</sub> es un óxido muy estable, muy inerte. No reacciona con ninguna fase del cemento y no se implica en ninguna reacción de la hidratación (Cárdenas, 2012).

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 TiO<sub>2</sub> 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 Ca<sup>2+</sup> 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 TiO<sub>2</sub> (Lisbona, 2016).

### **2.2.4. Aplicación de TiO<sub>2</sub> como fotocatalizador en materiales de construcción – Mortero autolimpiable**

El objetivo es tener tanto TiO<sub>2</sub> como sea posible en la superficie del material, sin el riesgo de que sea eliminado por abrasión o intemperie. Hasta ahora, la manera más eficiente de aplicar el TiO<sub>2</sub> está en una capa delgada en la preparación del cemento, por lo que la aplicación en morteros es muy conveniente. (CEMEX, 2018)

Otras aplicaciones se pueden encontrar 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 quita lavando más fácilmente debido a las propiedades propias del fotocatalizador o se descompondrá. (Lisbona, 2016)

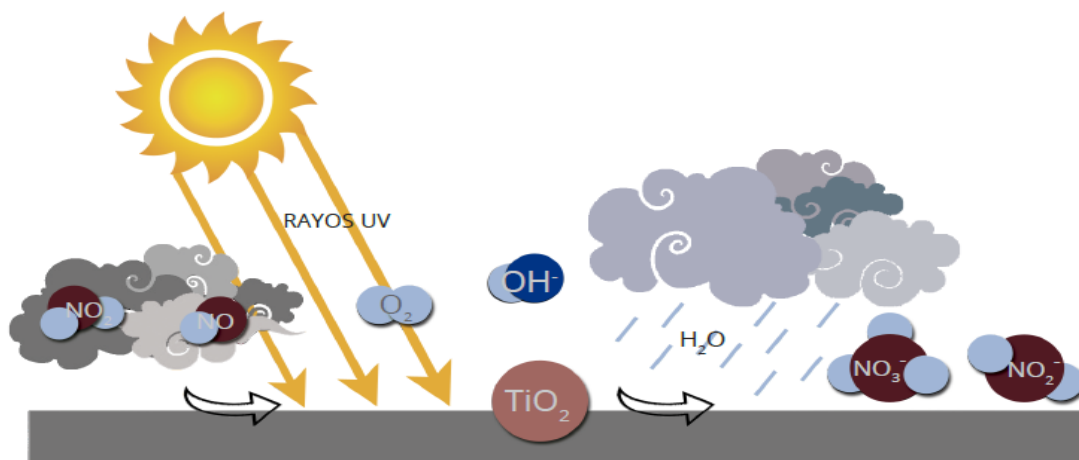
Las causas principales por qué  $\text{TiO}_2$  es, hasta ahora, el fotocatalizador más usado para tales aplicaciones:

- a. Su color blanco brillante, de ahí muy conveniente para hormigón de cemento blanco.
- b.  $\text{TiO}_2$  es muy barato comparado con otros fotocatalizadores de semiconductor.
- c.  $\text{TiO}_2$  es muy estable; no se somete a la corrosión (como otros semiconductores usados en la fotocatalisis) y no reacciona con las fases cementantes.

Aunque el uso de cemento fotocatalítico todavía se restringe y se limite 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 que contienen  $\text{TiO}_2$ . La aplicación de la fotocatalisis con  $\text{TiO}_2$  busca conseguir dos objetivos principales, el efecto autolimpiable (en particular para la estructura basada en el concreto de cemento blanco) y el efecto descontaminador debido a la oxidación de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en la atmósfera. (FYM, 2012)

### 2.2.5. La reacción fotocatalítica con $\text{TiO}_2$ como catalizador aplicada a materiales de construcción

Estudios previos de la actividad fotocatalítica del dióxido de titanio indican que los materiales de construcción que contienen dióxido de titanio, cuando son expuestos a la radiación solar, pueden oxidar eficientemente los contaminantes adsorbidos sobre su superficie (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, COVs, formaldehído, emisiones industriales, etc) (CONAMA, 2015)



**Figura 2: Proceso de la reacción fotocatalítica con dióxido de titanio como catalizador y óxidos de nitrógeno como contaminante**

Fuente: Siñeriz, 2015.

El número de contaminantes atmosféricos que pueden ser degradados con aplicaciones  $\text{TiO}_2$  es extraordinariamente extenso dado que, prácticamente cualquier compuesto orgánico es susceptible de ser oxidado mediante fotocatalisis heterogénea (Siñeriz, 2015). Los procesos de oxidación heterogénea fotocatalítica representan una vía prometedora para solventar los problemas causados por los  $\text{NO}_x$  en nuestras ciudades, mediante su conversión fotoquímica a nitratos y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Estos compuestos generados a partir de la reacción son compuestos solubles que pueden ser arrastrados por el agua de lluvia o riego de mantenimiento. (Meza, 2004)

Las concentraciones de  $\text{NO}_x$  suelen ser lo suficientemente bajas para que, incluso con elevados niveles de conversión a nitratos y nitritos, no represente un problema para el tratamiento del agua en las estaciones depuradoras de aguas residuales, a través de un proceso de desnitrificación.

#### **2.2.6. Factores influyentes en la eficiencia de morteros fotocatalíticos.**

Los factores que afectan la eficiencia de foto-oxidación son muchos y la comprensión de estas relaciones a menudo varía según el material fotocatalítico. Sin embargo, en el caso concreto del dióxido de titanio, se tiene conocimiento sobre los siguientes factores: tipos de contaminantes, la competencia contaminante, concentraciones de contaminación, velocidad del aire, humedad relativa, intensidad de la luz UV, y la degeneración y la regeneración fotocatalítica. (Elkoro, 2013)

Diversos contaminantes tanto en los ambientes interiores como exteriores amenazan nuestra sociedad. Las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y los compuestos orgánicos volátiles ( $\text{COV}$ ) procedentes de la combustión de los vehículos son una amenaza para la salud humana y el medio ambiente y son los más abundantes en ambientes urbanos. El  $\text{NO}_x$  y  $\text{COV}$ s son la principal causa del smog, frecuente en los días calurosos y soleados, y los  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$  son las principales causantes de la lluvia ácida, que no sólo destruye el medio ambiente, matando y reduciendo la biodiversidad de los bosques y lagos, sino también degrada nuestros edificios (Berdahl, 2008). El aire exterior también afecta a los ambientes interiores.

En cuanto a la partícula, el tamaño también es un factor importante, ya que, cuanto menor es la partícula, mayor es su superficie específica, y por tanto es mayor el número de moléculas en superficie con relación a la masa. La tipología del cristal y sus

modificaciones afecta a la movilidad de los radicales y por tanto a la eficiencia. (Elkoro, 2013)

Los **óxidos de nitrógeno** tienen un alto potencial de eliminación sin embargo tienen efectos perjudiciales sobre el medio ambiente al aire libre mediante la promoción de la lluvia ácida y los efectos sobre la calidad del aire interior. Además, los microambientes de carreteras contribuyen con el 58% de las emisiones de NOx. Actualmente, la EPA limita dióxido de nitrógeno, a una media registrada 0,053 ppm anual (EPA, 2017). Esta regulación se espera sea más estricta en el futuro cercano.

Demeestere et al. 2008 citado en Elkoro (2013) “El dióxido de titanio, cuando se añade al mortero, puede eliminar hasta el 92% de NOx en 7 horas de exposición de una lámpara de 300 W. Una capa de mortero similar se aplicó a una carretera a gran escala en Segrate, Italia, con el tráfico de vehículos de más de 1200 unidades por hora. La aplicación del mortero fotocatalítico, en los días soleados, dio lugar a una medida de reducción de 50% de NOx con la estabilidad de un año”.

Otro de los factores es la cantidad y de los periodos de exposición de **concentración de los contaminantes y los flujos de aire**. Un aumento en el flujo tiende a disminuir con el tiempo de residencia en el reactor fotocatalítico, mientras que un aumento en la concentración de contaminantes tiende a aumentar la tasa de transferencia de masa y la acumulación de productos finales (Elkoro, 2013)

El agua forma una o más capas de película, lo que impide el contaminante llegue a la capa de TiO<sub>2</sub>. Así, el exceso como la insuficiencia de humedad interfiere con las velocidades de reacción, variando la condición óptima en función del contaminante estudiado. (Wang, 2007)

El TiO<sub>2</sub> tiene necesidades de **luz** como proveedor de energía para funcionar y degradar los contaminantes, experimentos muestran que, con la ausencia de luz, la fotodegradación no tiene lugar (Nonami, 2004). La fuente de luz afecta a la longitud de onda y al flujo de fotones. La longitud de onda es principalmente responsable de la actividad fotocatalítica, mientras que el flujo o intensidad de fotones afecta la velocidad de degradación. En el caso del TiO<sub>2</sub>, se requieren longitudes de onda menores que 400nm para la irradiación, que corresponde al espectro UV del sol. Cuanto más alta es la intensidad, mayor es la cantidad de fotones producidos, produciendo así mayores tasas de oxidación fotocatalítica (Wang, 2007). La relación entre la intensidad en función de las tasas de oxidación fotocatalítica a menudo presenta una correlación lineal. La tasa de incremento es dependiente de contaminante químico.

La degeneración y regeneración fotocatalítica puede presentar la necesidad de una forma de restaurar las propiedades fotocatalíticas de  $\text{TiO}_2$ . El  $\text{TiO}_2$  es un catalizador y no sufre ningún cambio, en teoría, y se puede utilizar indefinidamente. (Nonami, 2004)

### **2.2.7. Contaminación del aire**

Los contaminantes del aire principalmente incluyen óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y partículas. La mejora de la calidad del aire se logra mediante la reducción de los productos químicos orgánicos (en su mayoría altamente volátiles) presente en la atmósfera en espacios cerrados debido a las actividades humanas ordinarias. (Folli, 2010)

Estos productos químicos (alcoholes, aldehídos, solventes de hidrocarburos, compuestos aromáticos, etc.) son ingredientes comunes en una amplia serie de productos para el hogar tales como: detergentes, desinfectantes, pinturas, perfumes, desodorantes y cosméticos, y liberados a la atmósfera interior durante uso normal y almacenamiento.

Las superficies fotocatalíticas activas pueden ayudar en la reducción de la proliferación de colonias de moho inducido por la humedad, bacterias y hongos debido a la potencia oxidativa del fotocatalizador una vez que se irradia la luz de energía suficiente. (Nevárez, 2017)

Una solución para la contaminación del aire se puede encontrar en el tratamiento de los contaminadores más cercanos de la fuente posible. Por lo tanto, los materiales fotocatalíticos se pueden añadir a la superficie de pavimento y materiales de construcción y en combinación con la luz, los contaminadores se oxidan, debido a la presencia del fotocatalizador precipitándose en la superficie del material. Por consiguiente, son quitados de la superficie por la lluvia. (Molina, 2006)

### **2.2.8. Descontaminación del aire**

Los primeros estudios que se realizaron sobre la limpieza de la contaminación en fase gas a partir de materiales fotocatalíticas fueron hechos por Teichner en 1985. En teoría según los procesos químicos las sustancias susceptibles de ser descompuestas por este proceso son:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ , VOC (benceno, tolueno, etc.), metil mercaptano, cloruros orgánicos, compuestos aromáticos, acetaldehídos y formaldehídos. (FYM Italcementi Group, 2012)

Aunque hasta el momento, la que más se ha experimentado y mejor se ha demostrado es la descomposición de los óxidos de nitrógeno.

Terminado este proceso se transforman dos moléculas de los óxidos de nitrógeno en una de nitrato de calcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , un compuesto totalmente inofensivo que se utiliza en numerosas aplicaciones como fertilizantes, acondicionamiento de aguas residuales para prevención de olores, como aditivo de acelerado de fraguado del concreto, etc., y que puede ser disuelto y arrastrado por el agua de lluvia posteriormente. (Hashimoto K. 2005). El otro compuesto que obtenemos de esta reacción es el ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) un ácido débil que por ejemplo se utiliza en las bebidas carbonatadas y el cual nos puede ayudar gracias a su acidez a disolver las sustancias orgánicas que ensucian nuestras fachadas. (Nevárez, 2017)

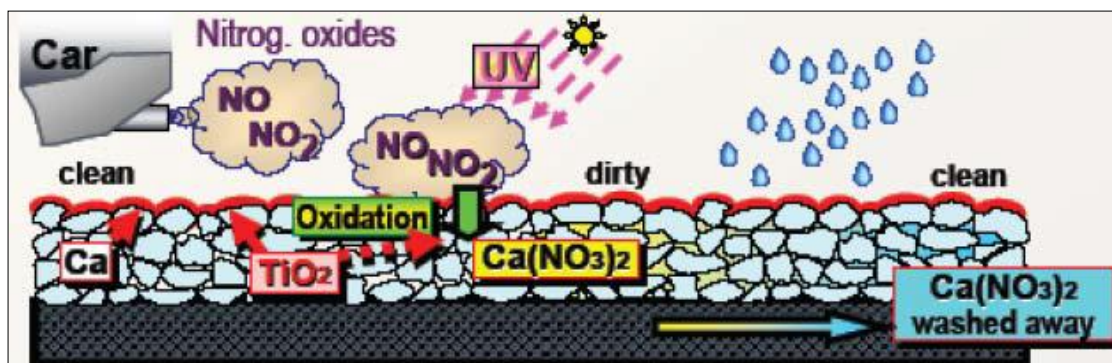


Figura 3: Esquema de descomposición y fijación del NOx.

Fuente: Rodríguez, 2012

Para poder realizar esta reacción se necesita, que haya humedad ambiental, y que todo esto se produzca en un medio en el que la base sea carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), como ocurre en los morteros y hormigones, base de los elementos que utilizaremos para adicionar el  $\text{TiO}_2$ . (Rodríguez, 2012)

### 2.2.9. 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 ( $-\text{OH}$ ) los cuales al asociarse a otros compuestos, descomponen la suciedad que se encuentra en las fachadas, sobre todo aquellas de origen orgánico (Lisbona, 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, 2012)

#### **2.2.10. 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, 2015)

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, 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, 2016)

#### **2.2.11. 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. (Aguilar, 2013)

El mortero elaborado con dióxido de titanio activo no debe 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. (FYM Italcementi Group, 2012)

La mayoría de los componentes químicos formados por el proceso fotocatalítico son benignos. Sin embargo, los subproductos de ciertas reacciones químicas pueden incluir los nitratos de calcio, carbonatos y sulfatos, que son en su mayoría sales simples lavadas por la lluvia. Estos productos resultantes son una cantidad mucho más pequeña y representan una amenaza menor al ambiente causados por los compuestos originales. (Nevárez, 2017)

La descontaminación fotocatalítica presenta básicamente ciertas limitaciones. La más importante es que no es capaz de tratar volúmenes de efluentes industriales muy grandes ni con concentraciones relativamente elevadas; a esto se le suma que el proceso debe brindar la posibilidad de ser barato, simple y con bajos requerimientos operativos. (Adán, 2008)

#### **2.2.12. Proyecto PICADA:**

El proyecto PICADA (aplicaciones innovadoras de recubrimientos fotocatalíticos para la evaluación de la descontaminación) se formó en Europa a principios del 2001, lo conforman los países de Francia, Italia, Gran Bretaña, Grecia y Dinamarca. Este proyecto hizo estudios de investigación donde 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 (CORDIS, 2007). 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.

#### **2.2.13. Normativa:**

- Japón:
  - ✓ JIS R 1701-1: 2004: Donde se analiza la purificación del aire ( $\text{NO}_x$ ) 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. (Rodríguez, 2012)

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, 2015):

- 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.

#### **2.2.14. 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.

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.



**Figura 4: Aplicación de la solución de rodamina en la superficie de la muestra.**

Fuente: Norma UNI 11259

En primer lugar, justo antes de la exposición a la UV- A de la lámpara,  $a^*$  se mide en el instante  $t_0$ , 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,  $R_4$  y  $R_{26}$  se calculan como sigue:

$$R_4 = \frac{a^*(0h) - a^*(4h)}{a^*(0h)} \times 100 \quad R_{26} = \frac{a^*(0h) - a^*(26h)}{a^*(0h)} \times 100 \quad \dots\dots (1)$$

El mortero se considera como fotocatalizador, si se cumplen los siguientes requisitos:  $R_4 > 20\%$  y  $R_{26} > 50\%$



**Figura 5: Fotografía de la evolución de la degradación del color.**

Fuente: 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, 2001)

### **2.2.15. 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, 2006)

### **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, 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, 2015).

- a. Tipo I: Normal. Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.
- b. 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.
- c. Tipo III: Altas resistencias. Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.
- d. Tipo IV: Bajo calor de hidratación. Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.

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

### **Cemento Portland blanco**

El cemento blanco es un cemento portland que difiere del cemento gris exclusivamente en cuanto a su color, se fabrica conforme a las especificaciones de la norma ASTM C-150, sin embargo, el proceso de manufactura es controlado de manera tal que el producto terminado sea blanco (Sabá, 2006).

La selección de las materias primas para fabricar el cemento blanco debe ser de naturaleza muy pura y con cantidades mínimas de óxido de hierro, por lo que es mucho más crítica que en la fabricación del cemento gris. (Chiguay, 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, 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, 2007). Los cementos portland blancos pueden tener la misma o mayor resistencia que los cementos grises. Esto se debe destacar porque todavía se cree que los cementos blancos no pueden tener alta resistencia, o que no son aptos para estructuras. La resistencia no es una característica que dependa del color del cemento portland sino de su composición. (Chiguay, 2007). Los cementos mostrados en la Tabla 2 no resisten a los sulfatos por ser cementos Portland tipo I de uso general, donde no se requieren características especiales.

Tabla 2

**Composición química del clinker blanco y gris de cemento de Portland**

Tipo de cemento	Componentes mineralógicos											
	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

Fuente: Navarrete, 2006

**2.2.16. Arena 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:

- 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. (Molina, 2006)

**2.2.17. 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 (ASTMC144-04)

**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.

Tabla 3

**Límites granulométricos para el agregado para mortero de albañilería**

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

Fuente: ASTM C 144 - NTP 399.607

**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, 2015)

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.

Tabla 4

**Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura**

Módulo de Finura	Agregado Fino
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 - 2,30	Fino
2,30 - 2,60	Ligeramente fino
2,60 - 2,90	Mediano
2,90 - 3,20	Ligeramente grueso
3,20 - 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: Rivera, 2015.

**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, 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, 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, 2010)

Peso específico de masa:

$$P_{em} = \frac{W_0}{V - V_a} \dots \dots \dots (2)$$

Peso específico de masa saturada con superficie seca:

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

Peso específico aparente:

$$P_{ea} = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \dots \dots \dots (4)$$

Absorción:

$$Abs = \left( \frac{500 - W_0}{W_0} \right) * 100 \dots \dots \dots (5)$$

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  $cm^3$

### **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, 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:

$$W\% = \left( \frac{P_h - P_s}{P_s} \right) * 100 \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

$P_h$ : Peso húmedo de la muestra.

$P_s$ : Peso seco de la muestra

### **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, 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:

$$A = \left( \frac{B - C}{B} \right) * 100 \dots \dots \dots (7)$$

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.).

### **2.2.18. 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.

#### **Agua de mezclado:**

Está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de mortero que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario para producir una pasta bien hidratada, con una fluidez tal que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. De ahí el hecho de que deba hacerse un estricto control sobre el agua de mezclado en el momento de dosificarla (Molina, 2006).

Antes de agregar agua al mortero se debe tener en cuenta lo siguiente (Guerrero, 2008):

- 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 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.

Al endurecerse la pasta como consecuencia del fraguado, parte del agua queda fija en la estructura rígida de la pasta y el resto queda como agua libre. Si la cantidad de agua de mezclado se aumenta, la parte que de ella queda fija es la misma y por consiguiente el agua libre aumenta, con lo cual aumenta la porosidad y con esta la pasta pierde resistencia y el mortero se hace más permeable.

#### **Agua de curado:**

El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias, para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate

y el mortero alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y la temperatura. Por lo tanto, el agua de curado constituye el suministro para hidratar eficientemente el cemento durante el fraguado (Molina, 2006).

### **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, 2008)

ASTM C 270 – 91a: especificación estándar para mortero usado en mampostería, esta especificación se refiere a los morteros que se usan en la construcción de estructuras de mampostería con y sin refuerzo.

### **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, 2006).

Cuando se requieren altas resistencias iniciales o resistencias elevadas del mortero, se pueden utilizar como aglomerantes los cementos naturales o los cementos portland. La confección de este mortero, ha de efectuarse de un modo continuo, de manera tal que entre el mezclado y la colocación en obra haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello se acostumbra a mezclar en obra, primero el cemento y la arena y luego se añade el agua. Desde luego, la cantidad de

cemento no puede disminuir mucho, ya que, si la mezcla es muy pobre en aglomerante, ésta se hace áspera y no trabajable porque las partículas de arena rozarán entre sí, al no existir la pasta lubricante de cemento (Sabá, 2006).

#### **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, 2008). Este estudio está dirigido hacia la tercera de las aplicaciones es decir el mortero para enlucido.

**Mortero para enlucidos:** 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, 2008)

El enlucido es conocido como el resultado de colocar una capa de mortero que cubre la mampostería corrigiendo sus irregularidades y de otra capa más fina que sirve para alisar a la superficie y pueda usarse como base para colocar encima pintura o empapelado, aunque también puede emplearse como acabado de pared, quedando al aire. En este caso, el enlucido mejora la presentación del parámetro, al mismo tiempo que lo preservará de la acción de los agentes atmosféricos, prolongando su resistencia y durabilidad (Simba, 2007). El revestido de mortero tiene, como misiones primordiales, la de cubrir las juntas de fábrica, para aumentar la adherencia del material empleado, unificar la superficie obtenida y ofrecer un mejor acabado de obra.

#### **2.2.22. Permeabilidad**

Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se dice que un material es permeable si deja pasar a través de él una capacidad apreciable de fluido en un tiempo dado. La velocidad con el que un fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos: la porosidad del material, la densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura, la presión a que está sometido el fluido. Para que un material sea permeable debe ser poroso, es decir, debe

contener espacios vacíos o poros, que le permitan absorber fluido. A su vez tales deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos a través del material (Simba, 2007). Es la característica de dejar filtrar ya sea aire o agua. Los morteros trabajables y uniformes, pueden hacer que la mampostería sea más resistente a la permeabilidad al agua. Cuando un mortero no es trabajable, los albañiles deben golpear suavemente las piezas de mampostería para colocarlas en su sitio. El resultado de esto es que la junta de mortero no es tan buena, y se pueden producir grietas que favorezcan alguna filtración (Molina, 2006) .

Aunque no hay pruebas prescritas por ASTM y NTP, la permeabilidad del mortero puede determinarse por medio de una simple prueba de laboratorio, pero los resultados son meramente comparativos. La obtención del coeficiente de permeabilidad es mediante la ley de Darcy (Meza,2004):

$$K = Q * E / (A*H*T) \dots (7)$$

Donde:

Q: Volumen de agua permeada en cm<sup>3</sup>.

T: Tiempo en que sucede Q en segundos (s).

A: Área de la sección transversal del espécimen en cm<sup>2</sup>.

E: Espesor de la muestra, longitud que recorre el flujo en cm.

H: Energía hidráulica en columnas de agua, manómetro en cm.

K: Coeficiente de permeabilidad en cm/s.

A continuación, se presentan clasificaciones utilizadas en la mecánica de suelos, para suelos según su coeficiente de permeabilidad. A fin de tener conceptos al momento de clasificar al mortero en función de su coeficiente de permeabilidad.

Tabla 5

**Coefficiente de permeabilidad según A. Casagrande y R. E. Fadum**

Clasificación	Coefficiente de permeabilidad (m/s)
Muy permeable	Mayor de 1
Permeable	1 a 10 <sup>-5</sup>
Poco Permeable	10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-8</sup>
Prácticamente Impermeable	10 <sup>-8</sup> a 10 <sup>-11</sup>
Impermeable	10 <sup>-11</sup> a 10 <sup>-14</sup>



Tabla 6

**Coefficiente de permeabilidad según Terzaghi y Peck**

Clasificación	Coefficiente de permeabilidad (m/s)
Elevada	Mayor de $10^{-3}$
Media	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
Baja	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
Muy baja	$10^{-7}$ a $10^{-9}$
Prácticamente Impermeable	Menor de $10^{-9}$

Fuente: Melo, 1991.

Existen métodos experimentales para su medición, de los cuales los principales son.

- Método Simple del ACI Materials Journals.
- Método Normas DIN 1048.
- Método Cuantitativo del Bureau of Reclamation.
- Método Cualitativo de Swedish Estándar Specification.
- Método Japonés.

Los ensayos de permeabilidad del presente estudio se realizaron con un equipo artesanal distinto a los nombrados anteriormente, debido a que en el Laboratorio de Cajamarca no se encontró un equipo para hallar la permeabilidad del mortero.

En esta investigación optimizaremos la permeabilidad del mortero con la finalidad de que dicha propiedad sea como el de un mortero sin dióxido de titanio.

**2.2.23. Absorción de los morteros**

Según la normativa peruana, la absorción en los morteros 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). En esta investigación optimizaremos la absorción del mortero con la finalidad de que dicha propiedad sea como el de un mortero sin dióxido de titanio.

#### **2.2.24. Resistencia a la compresión de los morteros**

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, 2008). 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, 2010)

Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados ( $\text{kg/cm}^2$ ), Megapascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas ( $\text{lb/pulg}^2$  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, 2012). Para poder hallar la resistencia a compresión se utilizó moldes prismáticos cuadrados ( $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ ) como indica la norma.

#### **2.3. Definición de términos básicos**

***Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ):*** Es una molécula que contiene titanio y oxígeno, en forma de cristales pigmentados.

***Mortero autolimpiable:*** Se limpia por sí solo. 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 se encuentra en las fachadas, sobre todo aquellas de origen orgánico.

***Optimización:*** Acción de buscar el equilibrio entre la propiedad autolimpiable y las propiedades físico – mecánicas del mortero fotocatalítico.

***Optimización del mortero fotocatalítico:*** Que el mortero fotocatalítico tenga las propiedades físico – mecánicas de un mortero sin dióxido de titanio.

## CAPÍTULO III

### PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis general:

Al utilizar dióxido de titanio de 3 a 4% y agua de 105 a 110% del peso del cemento dosificado se optimizarán las propiedades de absorción, permeabilidad y resistencia a la compresión del mortero autolimpiable C:A 1:5 con dióxido de titanio.

##### 3.1.2. Hipótesis específicas

- ✓ Al utilizar dióxido de titanio de 3 a 4% del peso del cemento dosificado se optimizará la propiedad autolimpiable del mortero C:A 1:5 con dióxido de titanio, y será el más rentable con respecto al resto de tratamientos.
- ✓ Los porcentajes de agua obtenidos de las mezclas de prueba del mortero C:A 1:5 con dióxido de titanio serán 100, 105, 110 y 115% del peso del cemento dosificado.

#### 3.2. Variables/categorías

##### 3.2.1. Variables Dependientes

- Propiedad Autolimpiable.
- Absorción.
- Permeabilidad.
- Resistencia a la compresión.

##### 3.2.2. Variables Independientes:

- Porcentaje de dióxido de titanio.
- Porcentaje de agua.

### 3.3. Operacionalización / categorización de la hipótesis.

Tabla 7

#### Operacionalización / categorización de la hipótesis.

##### Optimización de las propiedades físico – mecánicas del mortero autolimpiable C:A:A con dióxido de titanio.

Hipótesis	Definición conceptual de las variables	Definición Operacional Variables			Fuente o Instrumentos de recolección de datos
		Variables (explicativas)	Dimensiones	Indicadores	
Al utilizar dióxido de titanio de 3 a 4% y agua de 105 a 110% del peso del cemento dosificado se optimizarán las propiedades de absorción, permeabilidad y resistencia a la compresión del mortero autolimpiable C:A 1:5 con dióxido de titanio.		<b>V. dependientes:</b>			
	<b>Propiedad autolimpiable:</b> Propiedad del material para limpiarse por sí mismo.	Propiedad autolimpiable	Optimización de la prop. autolimpiable	Porcentaje (%)	Fichas de observación experimental.
	<b>Absorción:</b> 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.	Absorción	Optimización de la Absorción	Porcentaje (%)	Fichas de observación experimental.
	<b>Permeabilidad:</b> Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atravesase sin alterar su estructura interna.	Permeabilidad	Optimización de la permeabilidad	Centímetros/segundo (cm/s)	Fichas de observación experimental.
	<b>Resistencia a la compresión:</b> Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.	Resistencia a la compresión	Optimización de la resistencia a la compresión	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fichas de observación experimental.
		<b>V. independientes:</b>			
	<b>Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>):</b> Es una molécula que contiene titanio y oxígeno, en forma de cristales pigmentados.	Porcentaje de TiO <sub>2</sub>	Optimización del porcentaje de TiO <sub>2</sub>	Porcentaje (%)	Fichas de observación experimental.
<b>Agua:</b> Es la cantidad de agua por volumen unitario de mortero que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario para producir una pasta bien hidratada	Porcentaje de agua	Optimización del agua en el mortero con TiO <sub>2</sub> optimizado	Porcentaje (%)	Fichas de observación experimental.	

## CAPÍTULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

#### 4.1. Ubicación Geográfica

Los agregados de estudio se obtuvieron de la cantera La Colpa ubicado en el km. 11 de la Carretera 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.

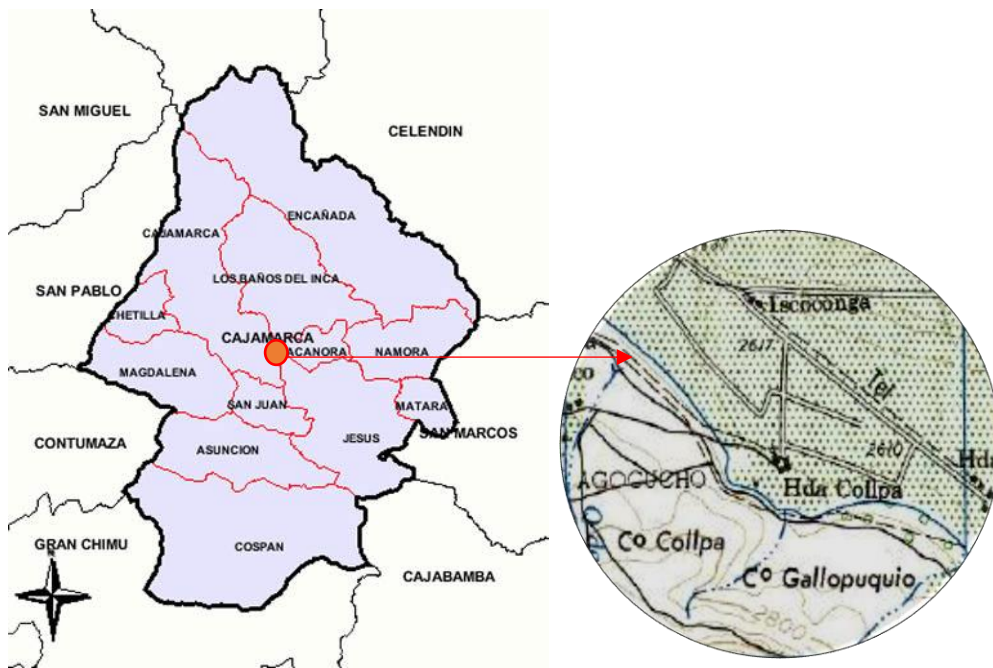


Figura 6: Ubicación de la cantera La Colpa

#### 4.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se realizó de tipo experimento porque es una situación de control en la cual participan dos grupos de comparación, donde a ambos grupos se aplica la medición sobre la variable dependiente para después realizar una comparación. Los pasos para el diseño de la investigación fueron:

1. Obtención de las propiedades generales del agregado fino, para lo que realizó los siguientes ensayos: 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 de diseños de mezclas del mortero cemento arena C:A 1:5 para los 4 tratamientos propuestos con diferentes porcentajes de dióxido de titanio 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, para optimizar la propiedad autolimpiable del mortero (se halló el menor porcentaje de dióxido de titanio con el cual el mortero sea autolimpiable) . De acuerdo a la normativa UNI 11259 se realizaron los especímenes estándar para la propiedad autolimpiable de mortero para este ensayo (especímenes prismáticos rectangulares de 10 cm x 10 cm x 2 cm). En los antecedentes de la investigación se toman mortero con porcentajes desde el 5% de  $\text{TiO}_2$  donde estos tratamientos fueron autolimpiables, por lo que este porcentaje fue la base y se tomó dos porcentajes menores con el fin de ver si estos cumplen con ser autolimpiables y así optimizar.
  - a. Tratamiento 1: Mortero C:A 1:5 0% de dióxido de titanio (Tratamiento Base).
  - b. Tratamiento 2: Mortero C:A 1:5 con 3%  $\text{TiO}_2$  del peso del cemento dosificado.
  - c. Tratamiento 3: Mortero C:A 1:5 con 4%  $\text{TiO}_2$ .
  - d. Tratamiento 4: Mortero C:A 1:5 con 5%  $\text{TiO}_2$ .
  - e. Por cada tratamiento se realizaron 8 probetas.
3. Posteriormente se aplicó el pigmento Rodamina B, luego se expuso los especímenes a rayos UV. Seguidamente, 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. Esto se aplicó a las 8 probetas de cada tratamiento (0%, 3%, 4% y 5% de  $\text{TiO}_2$ ) los cuales fueron medidos en los siguientes tiempos en horas (0, 1, 2, 4, 5, 10, 20 y 26 horas).
4. Ya obtenido el porcentaje óptimo de dióxido de titanio, se realizaron probetas de prueba para obtener 4 nuevos tratamientos con diferentes porcentajes de agua efectiva (A. E. – del diseño de mezcla), con el fin de optimizar las propiedades de permeabilidad, absorción y resistencia a la compresión del mortero autolimpiable, estas propiedades del mortero autolimpiable se optimizaron teniendo como referencia de óptimo el mortero sin dióxido de titanio.

5. Realización de probetas prismáticas rectangulares de 5 x 5 x 5 cm para el ensayo de absorción, permeabilidad y resistencia a la compresión para cada uno de los tratamientos propuestos.
  - a. Tratamiento 1: Mortero C:A 1:5 sin porcentaje de dióxido de titanio y con 100 % de agua efectiva (Tratamiento Base).
  - b. Tratamiento 2: Mortero C:A 1:5 con 3% TiO<sub>2</sub> y 100% A. E.
  - c. Tratamiento 3: Mortero C:A 1:5 con 3% TiO<sub>2</sub> y 90 % A.E.
  - d. Tratamiento 4: Mortero C:A 1:5 con 3% TiO<sub>2</sub> y 85 % A.E.
  - e. Para cada tratamiento se realizaron 10 probetas para cada propiedad (absorción, permeabilidad y resistencia a la compresión).
6. Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos anteriores para poder determinar las cantidades adecuadas de dióxido de titanio y agua para la optimización de las propiedades de permeabilidad, absorción y resistencia a la compresión del mortero autolimpiable.
7. Análisis estadístico ANOVA y Tukey.

#### 4.3. Métodos de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada experimental porque las variables independientes que se utilizaron fueron manipuladas y controladas para comprobar los efectos que produce sobre las variables dependientes, además se basó en conocimientos existentes, sobre la permeabilidad y absorción de morteros utilizados en la ciudad de Cajamarca. El tipo de investigación es experimental de nivel descriptivo ya que, analiza las propiedades autolimpiable y físico – mecánicas del mortero; y correlacional porque mide la relación que existe entre las variables de estudio de una población.

Tabla 8

#### Criterio y tipo de investigación.

Criterio	Tipo de Investigación
Finalidad	Aplicada
Objetivos	Experimental
Fuente	Primaria
Diseño	Experimental
Contexto	Laboratorio

#### 4.4. Población, muestra y unidades de análisis

Tabla 9

##### Población, muestra y unidades de análisis

<b>Población</b>	Morteros de cemento: arena 1:5 con dióxido de titanio elaborados en la ciudad de Cajamarca con agregados de la cantera La Colpa.
<b>Muestra</b>	32 probetas prismáticas rectangulares para propiedad autolimpiable, 120 probetas prismáticas rectangulares para permeabilidad, absorción, y resistencia a la compresión (40 para cada propiedad) y todas hechas de mortero cemento: arena 1:5 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa.
<b>Unidad de Análisis</b>	Cada una de las 32 probetas prismáticas rectangulares para propiedad autolimpiable, cada una de las 120 probetas prismáticas rectangulares de permeabilidad, absorción, y resistencia a la compresión y todas hechas de mortero cemento: arena 1:5 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa.

Tabla 10

##### Número de ensayos por tratamiento

Ensayos	Tratamiento con % TiO <sub>2</sub>				Total
	0%	3%	4%	5%	
Propiedad autolimpiable	8	8	8	8	32
					32

Tabla 11

##### Número de ensayos con tratamiento óptimo

Ensayos	Tratamientos para diferente % A. E.				Total
	0% TiO <sub>2</sub>		3% TiO <sub>2</sub>		
	100% A. E.	100% A. E.	90% A. E. (*)	85% A. E. (*)	
Permeabilidad	10	10	10	10	40
Absorción	10	10	10	10	40
Resistencia a la compresión	10	10	10	10	40
					total
					120

(\*) El menor y mayor % de agua fueron obtenidos luego de realizar especímenes de prueba usando la Norma: ASTM C 270 – 91a



#### **4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información**

Técnicas de recolección de datos

- Observación experimental

Instrumentos de recolección de datos

- Fichas de 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 mortero elaborados y permitió medir los parámetros correspondientes a las unidades de análisis que se ensayen en el laboratorio.

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

##### **Procesamiento de datos**

La recolección de datos se realizó mediante cuadros de doble entrada, gráficos y 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 2017 y el MiniTab 18.

##### **Análisis de datos:**

Los resultados de los estudios realizados estuvieron sujetos a variaciones, que indican la uniformidad de estos resultados y el cuidado en la realización de los estudios. Asimismo, con estas variaciones se pudo diferenciar el comportamiento de los estudios mediante el análisis estadístico.

#### **4.7. Equipos, materiales e insumos:**

Equipos:

- Balanza de capacidad 22 kg. y precisión 0,1 g.
- Balanza de capacidad 4100 g. y precisión 0.01g.
- Recipientes estandarizados de 15 y 20 cm de diámetro que soportan altas temperaturas para colocar la muestras en el horno.

- Moldes de acero de 45 cm x 30 cm suficientemente rígidos para no sufrir deformaciones.
- Estufa con temperatura constante de 105°C a 110°C.
- Juego de tamices conformados por N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N°100 y N°200.

**Materiales:**

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

## 4.8. Matriz de consistencia metodológica

Tabla 12

### Matriz de consistencia metodológica

"Optimización de las propiedades físico – mecánicas del mortero autolimpiable C:A:A con dióxido de titanio"											
Problema	Objetivos	Marco Teórico - Conceptual	Hipótesis	Variables e Indicadores			Metodología				
				Variables	Indicad.	Material	Método	Técnicas	Instrumentos	Procedimientos	
¿Cuáles son los porcentajes adecuados de dióxido de titanio y agua para la optimización de las propiedades de absorción, permeabilidad y resistencia a la compresión del mortero autolimpiable C:A 1:5 con dióxido de titanio en Cajamarca?	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar los porcentajes adecuados de dióxido de titanio y agua para la optimización de las propiedades de absorción, permeabilidad y resistencia a la compresión del mortero autolimpiable C:A 1:5 con dióxido de titanio en Cajamarca..</p>	<p>Antecedentes: Aguilar (2013) en su investigación realizó la evaluación técnico ambiental del TiO<sub>2</sub> en los morteros de cemento chilenos", Universidad del Bio-Bio, Concepción. Permeabilidad del mortero: es una propiedad mediante la cual un líquido puede filtrarse y atravesar el mortero, esta permeabilidad puede reducirse si se aumenta la compacidad del mismo (Simba, 2007). Propiedad autolimpiable: propiedad del material para limpiarse por sí mismo.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> Al utilizar dióxido de titanio de 3 a 4% y agua de 105 a 110% del peso del cemento dosificado se optimizarán las propiedades de absorción, permeabilidad y resistencia a la compresión del mortero autolimpiable C:A 1:5 con dióxido de titanio.</p>	<p><b>V. dependientes</b></p>	<p>Propiedad autolimpiable</p>	<p>%</p>	<p><b>Población</b> Morteros de cemento: arena 1:5 con dióxido de titanio elaborados en la ciudad de Cajamarca con agregados de la cantera La Colpa.</p>	<p><b>Tipo:</b> Según su aplicación, esta investigación es de tipo aplicada experimental porque las variables independientes que se utilizaron fueron manipuladas y controladas para comprobar los efectos que produce sobre las variables dependientes, además se basaron en conocimientos existentes, sobre la permeabilidad y absorción de morteros utilizados en la ciudad de Cajamarca.</p>	<p>Observación experimental</p>	<p>Fichas de observación experimental</p>	<p><b>Procesamiento de datos:</b> La recolección de datos se realizó mediante cuadros de doble entrada, gráficos formatos de ensayos de laboratorio. La información cuantitativa fue procesada mediante métodos estadísticos apropiados para cada caso mediante el uso de programas como el Microsoft Excel 2017 y el MiniTab 18.</p>
	<p><b>Objetivos específicos:</b> a) Establecer el menor porcentaje de dióxido de titanio, donde el mortero sea autolimpiable.  b) Determinar los porcentajes de agua a utilizar en los tratamientos del mortero C:A 1:5 utilizando el porcentaje establecido de dióxido de titanio a través de mezclas de prueba</p>	<p>Absorción: En los morteros 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.  Dióxido de titanio: Con predominio de la fase anatasa (forma mineral del TiO<sub>2</sub>), es el material más comúnmente usado en fotocatalisis. También es el precursor usual en la preparación de catalizadores soportados (es decir que interactúa con otra superficie o se encuentra disperso en otro material). (Katzman, 2006) 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 (Guerrero, 2008).</p>	<p><b>Hipótesis específicas:</b> a) Al utilizar dióxido de titanio de 3 a 4% del peso del cemento dosificado se optimizará la propiedad autolimpiable del mortero C:A 1:5 con dióxido de titanio, y será el más rentable con respecto al resto de tratamientos.  b) Los porcentajes de agua obtenidos de las mezclas de prueba del mortero C:A 1:5 con dióxido de titanio serán 100, 105, 110 y 115% del peso del cemento dosificado.</p>	<p><b>V. independientes</b></p>	<p>Absorción</p> <p>Permeabilidad</p> <p>Resistencia a la compresión</p>	<p>%</p> <p>Cm/s</p> <p>Kg/cm<sup>2</sup></p>	<p><b>Muestra:</b> 32 probetas prismáticas rectangulares para propiedad autolimpiable, 120 probetas prismáticas rectangulares para permeabilidad, absorción, y resistencia a la compresión (40 para cada propiedad) y todas hechas de mortero cemento: arena 1:5 con dióxido de titanio elaborados con agregados de la cantera La Colpa.</p>	<p><b>Nivel:</b> El nivel de la investigación por sus características es de tipo explicativo.</p>	<p><b>Método:</b> El método de investigación utilizado fue el método experimental correlacional.</p>	<p><b>Análisis de datos:</b> Los resultados de los estudios realizados estuvieron sujetos a variaciones, que indicaron la uniformidad de estos resultados y el cuidado en la realización de los estudios. Asimismo, con estas variaciones se pudo diferenciar el comportamiento de los estudios mediante el análisis estadístico.</p>	

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

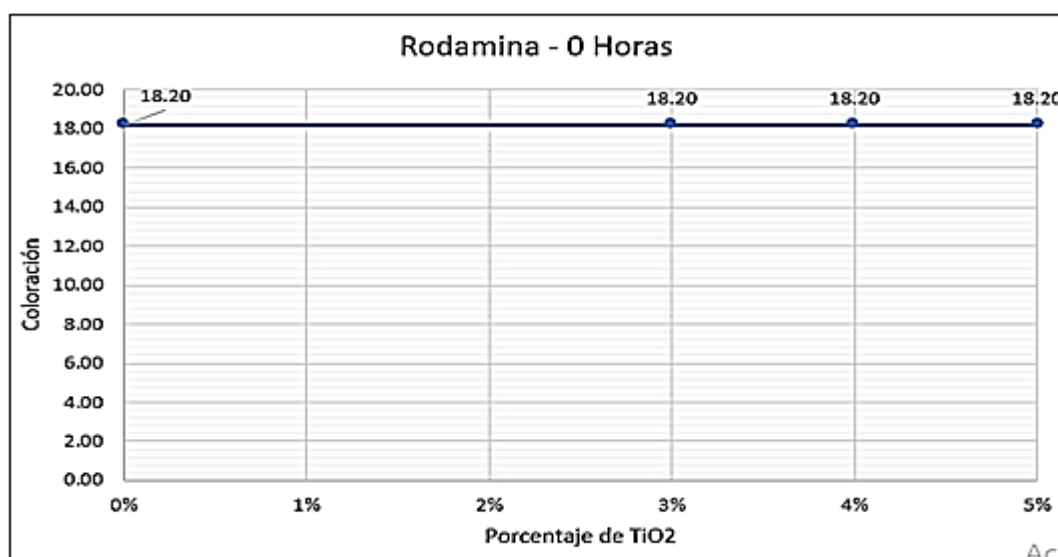
#### 5.1. Análisis de los resultados de Rodamina (UNI 11259) – materiales fotocatalíticos

##### 5.1.1. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 0 horas.

Tabla 13

**Coloración para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=0h)**

0%	3%	4%	5%
18.20	18.20	18.20	18.20



**Figura 7: Rodamina – 0 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>**

En la Figura 7 se observa que todos los tratamientos tienen la misma medida de coloración, datos obtenidos de la Tabla 13. Es decir, todos los tratamientos tuvieron su punto de inicio en la coloración obtenida para el tratamiento sin TiO<sub>2</sub> de 18.20.

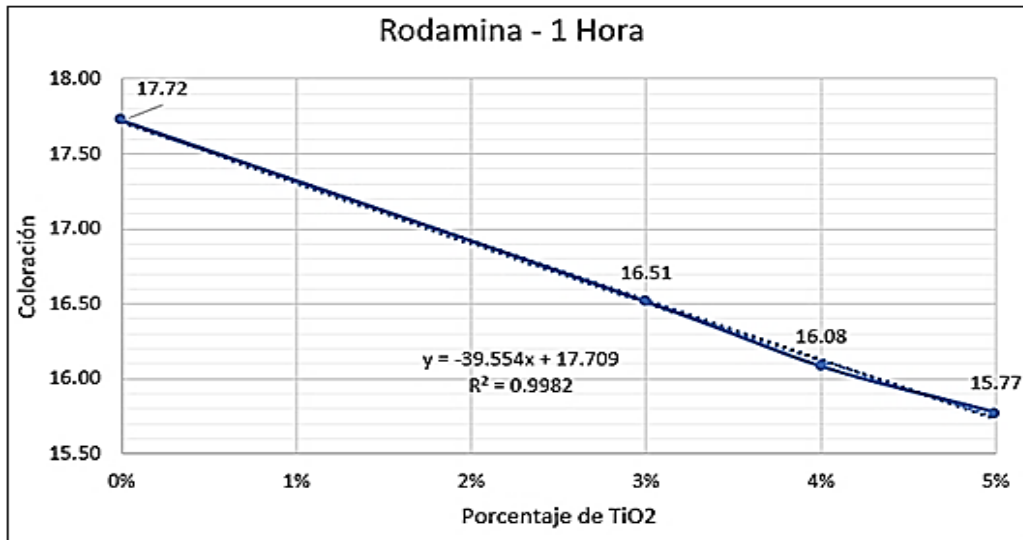
##### 5.1.2. Rodamina en especímenes rectangulares, coloración medida a la 1 hora.

Tabla 14

**Coloración para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=1h)**

0%	3%	4%	5%
17.72	16.51	16.08	15.77

En la Tabla 14 se obtuvieron los promedios medidos a 1 hora de cada tratamiento.



**Figura 8: Rodamina – 1 Hora. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>**

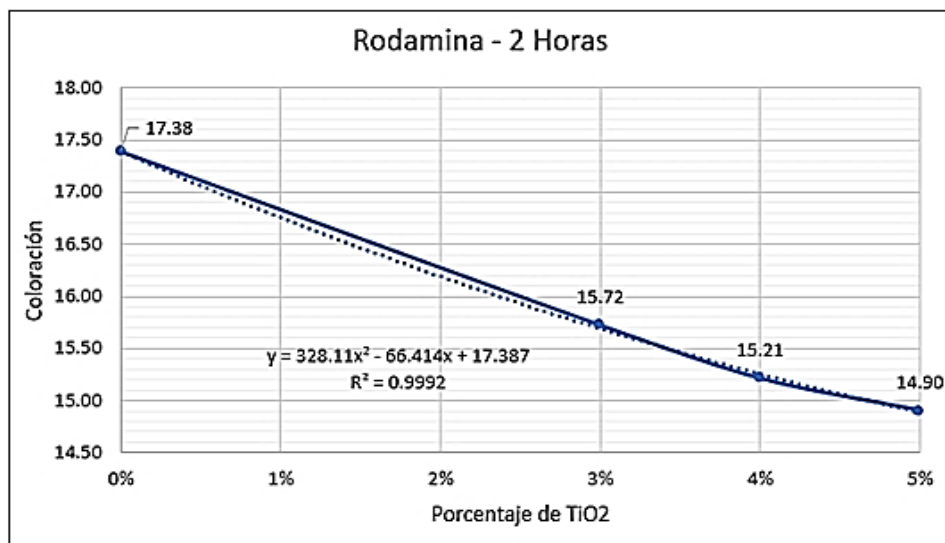
En la Figura 8 se observa que existió un descenso de la coloración conforme se incluye el TiO<sub>2</sub>. El valor mayor que se obtuvo de coloración fue del tratamiento base sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 17.72 y el menor valor que se obtuvo de la coloración fue el tratamiento con 5% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 15.77.

**5.1.3. Rodamina en especímenes rectangulares, coloración medida a las 2 horas**

Tabla 15

**Coloración para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=2h)**

0%	3%	4%	5%
17.38	15.72	15.21	14.90



**Figura 9: Rodamina – 2 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>**

En la Figura 9 se han graficado los promedios de coloración medidos a las 2 horas de cada tratamiento, donde se observa que la coloración va disminuyendo conforme el  $\text{TiO}_2$  aumenta, además, los valores de coloración también descendieron respecto a los obtenidos en la medición de 1 hora y los obtenidos a las 0 horas. El valor más alto de coloración fue del tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  con un valor de 17.38 y el valor más bajo de la coloración fue el tratamiento con 5% de  $\text{TiO}_2$  con un valor de 14.90.

#### 5.1.4. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 4 horas.

Tabla 16

#### Coloración para diferentes porcentajes de $\text{TiO}_2$ (t=4h)

0%	3%	4%	5%
17.09	14.34	13.45	12.61

En la Tabla 16 se observó que a las 4 horas de coloración de cada tratamiento sigue descendiendo conforme se incluye el  $\text{TiO}_2$  siguiendo la tendencia marcada en los resultados obtenidos en 1 hora y 2 horas. El valor más alto de coloración fue del tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  con un valor de 17.09 y el valor más bajo de la coloración fue el tratamiento con 5% de  $\text{TiO}_2$  con un valor de 12.61.

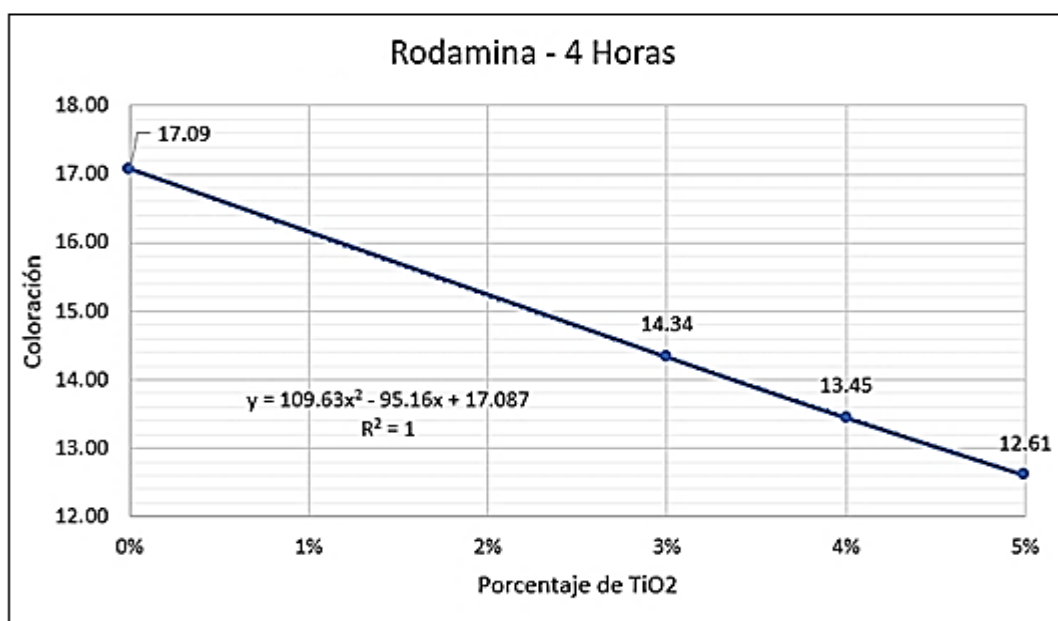


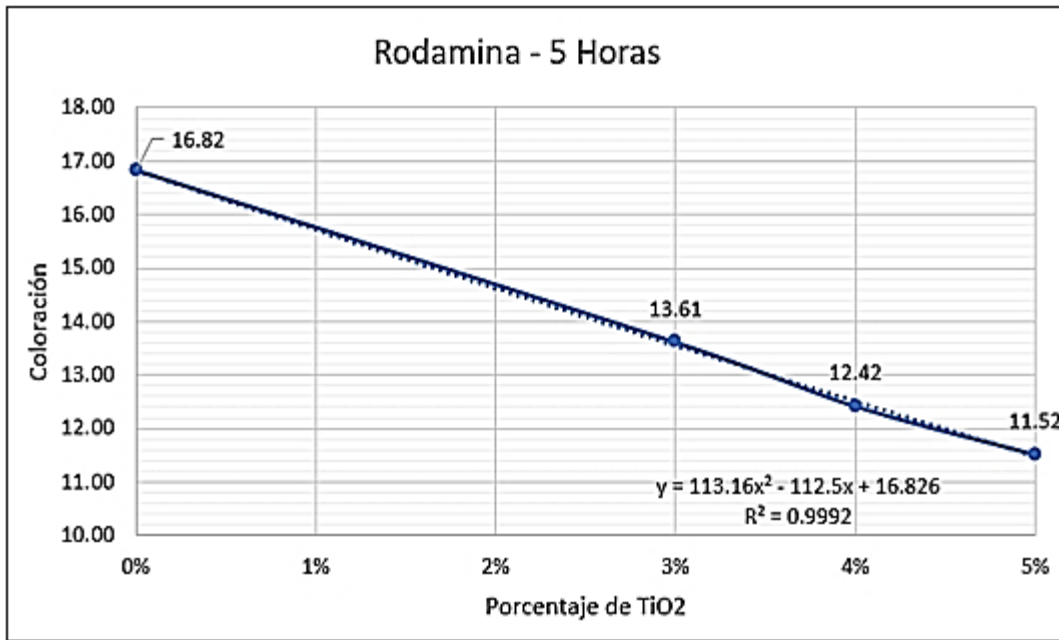
Figura 10: Rodamina – 4 Horas. Coloración vs %  $\text{TiO}_2$

**5.1.5. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 5 horas.**

Tabla 17

**Coloración para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=5h)**

0%	3%	4%	5%
16.82	13.61	12.42	11.52



**Figura 11: Rodamina – 5 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>**

Los valores de coloración medida a las 5 horas de cada tratamiento, obtenidos en la tabla 17, sigue disminuyendo conforme se incluye el TiO<sub>2</sub> como se observa en la Figura 11, existiendo un descenso de la coloración conforme siguiendo la tendencia marcada en los resultados obtenidos en 1, 2 y 4 horas.

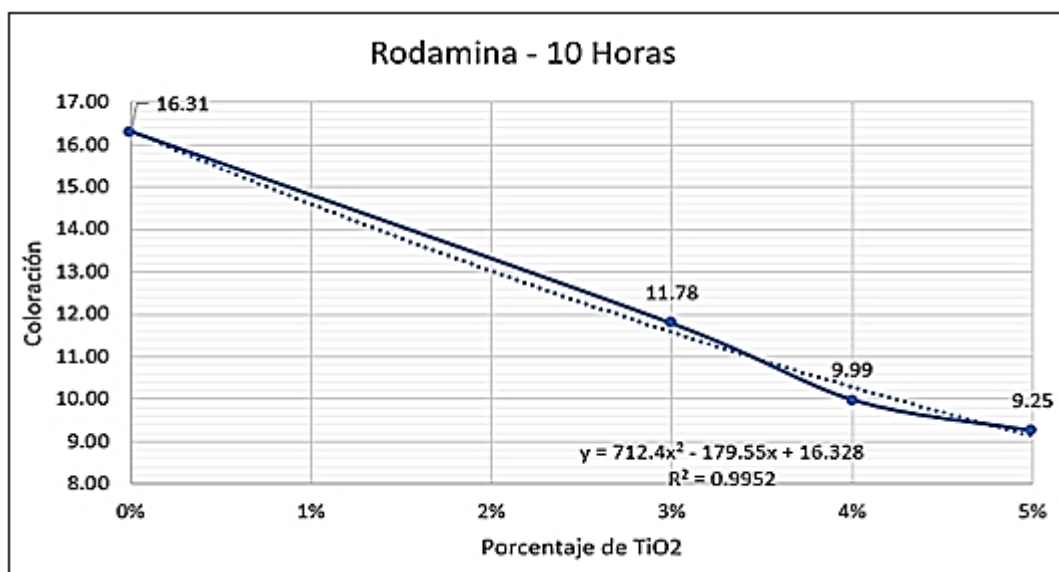
La mayor coloración fue el tratamiento sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 16.82 y la menor coloración fue el tratamiento con 5% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 11.52.

**5.1.6. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 10 horas.**

Tabla 18

**Coloración para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=10h)**

0%	3%	4%	5%
16.31	11.78	9.99	9.25



**Figura 12: Rodamina – 10 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>**

En la Figura 12, se observa que continúa la tendencia marcada en los resultados obtenidos a las 1, 2, 4 y 5 horas conforme el TiO<sub>2</sub> aumenta la coloración va disminuyendo.

La coloración mayor en este tiempo de medida fue del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> con un valor de 16.31 y el valor de coloración menor fue el tratamiento con 5% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 9.25.

### 5.1.7. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 20 horas.

Tabla 19

#### Coloración para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=20h)

0%	3%	4%	5%
15.33	9.75	7.89	7.04

En la Tabla 19 se obtuvieron los promedios de coloración medidos de cada tratamiento a las 20 horas, donde se observa que los valores siguen disminuyendo ya con más rango de diferencia al tratamiento que no contiene TiO<sub>2</sub>. Teniendo el 0% una coloración de 15.33 y el 5% una coloración de 7.04.



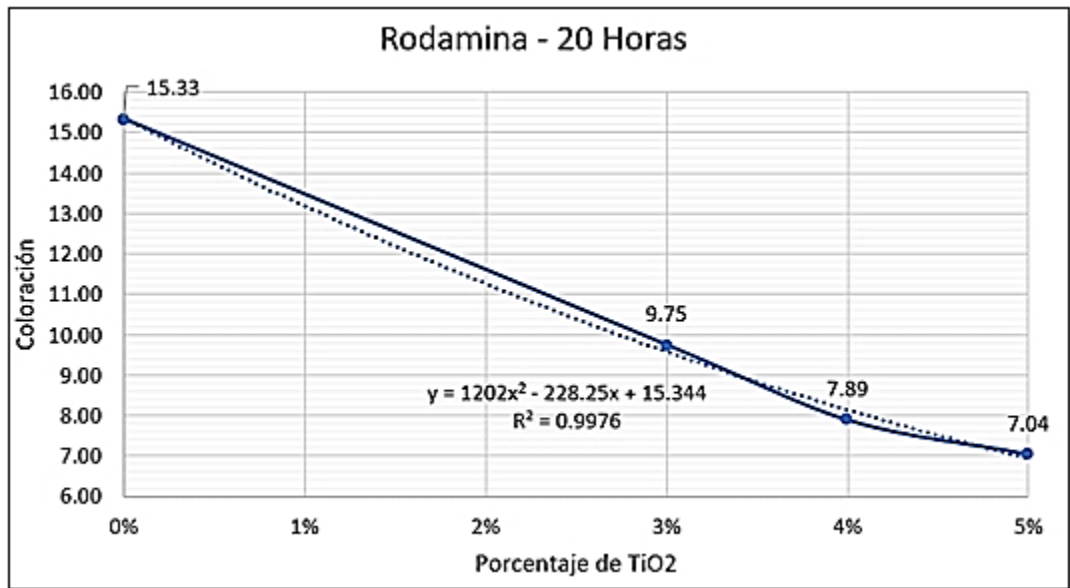


Figura 13: Rodamina – 20 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

5.1.8. Rodamina en especímenes rectangulares, coloración medida a las 26 horas.

Tabla 20

Coloración para diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (t=26h)

0%	3%	4%	5%
14.62	8.79	7.36	6.34

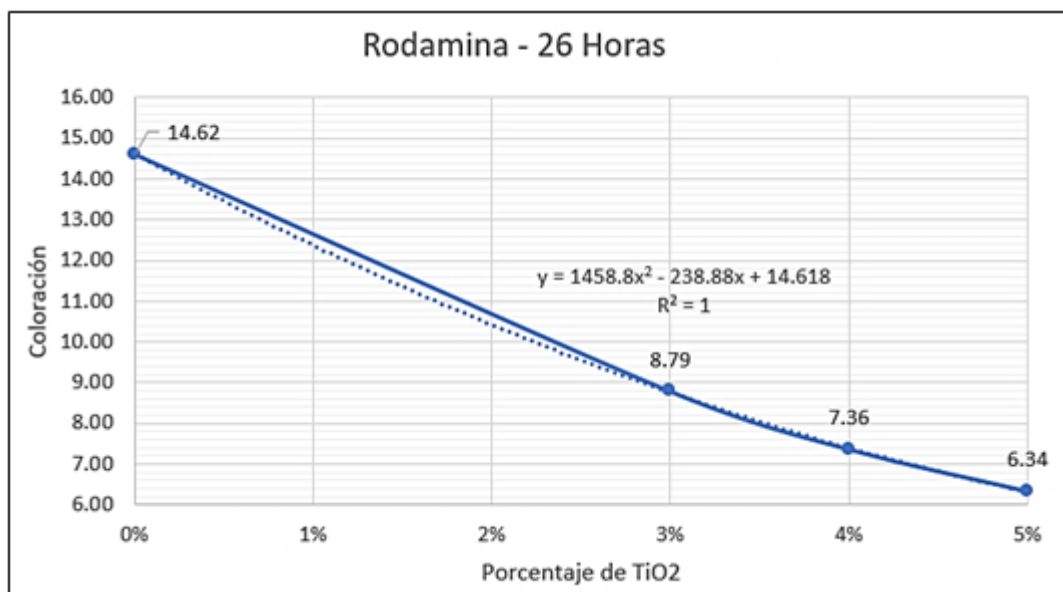


Figura 14: Rodamina – 26 Horas. Coloración vs % TiO<sub>2</sub>

En la figura 14 se tiene la coloración medida a las 26 horas de cada tratamiento vs los tratamientos con TiO<sub>2</sub>, se observa que la coloración del tratamiento con 5% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 6.34 ha disminuido considerablemente con respecto al tratamiento con 0% de TiO<sub>2</sub> con un valor de 14.62, comparado a las medidas de coloración obtenidos en las mediciones de 0, 1, 2, 4, 5, 10 y 20 horas.

### 5.1.9. Análisis estadístico de la Rodamina

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), en la prueba de Rodamina de la variable coloración para los tiempos de 4 y 26 horas que se utilizaron en las fórmulas de R4 y R 26, 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 18. Para el tiempo de 0 horas se tomó la misma medida de coloración para todos los tratamientos en esa hora de medición, por lo que no fue necesario realizar ni pruebas de ANOVA ni Tukey ya que obviamente pertenecieron al mismo grupo estadístico.

#### A. 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 18. Los resultados se presentan a continuación:

ANOVA de un solo factor: R 0% TiO<sub>2</sub>, R 3% TiO<sub>2</sub>, R 4% ... 2, R 5% TiO<sub>2</sub>

Método

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	R 0% TiO <sub>2</sub> , R 3% TiO <sub>2</sub> , R 4% TiO <sub>2</sub> , R 5% TiO <sub>2</sub>

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	90.7278	30.2426	6203.04	0.000
Error	28	0.1365	0.0049		
Total	31	90.8643			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0698244	99.85%	99.83%	99.80%

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
R 0% TiO <sub>2</sub>	8	17.0863	0.0754	(17.0357, 17.1368)
R 3% TiO <sub>2</sub>	8	14.3363	0.0550	(14.2857, 14.3868)
R 4% TiO <sub>2</sub>	8	13.4475	0.0853	(13.3969, 13.4981)
R 5% TiO <sub>2</sub>	8	12.6062	0.0593	(12.5557, 12.6568)

*Desv.Est. agrupada = 0.0698244*

## Comparaciones en parejas de Tukey

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

Factor	N	Media	Agrupación
R 0% TiO <sub>2</sub>	8	17.0863	A
R 3% TiO <sub>2</sub>	8	14.3363	B
R 4% TiO <sub>2</sub>	8	13.4475	C
R 5% TiO <sub>2</sub>	8	12.6062	D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

## Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
R 3% TiO <sub>2</sub> - R 0% TiO <sub>2</sub>	-2.7500	0.0349	(-2.8453, -2.6547)	-78.77	0.000
R 4% TiO <sub>2</sub> - R 0% TiO <sub>2</sub>	-3.6387	0.0349	(-3.7340, -3.5435)	-104.23	0.000
R 5% TiO <sub>2</sub> - R 0% TiO <sub>2</sub>	-4.4800	0.0349	(-4.5753, -4.3847)	-128.32	0.000
R 4% TiO <sub>2</sub> - R 3% TiO <sub>2</sub>	-0.8887	0.0349	(-0.9840, -0.7935)	-25.46	0.000
R 5% TiO <sub>2</sub> - R 3% TiO <sub>2</sub>	-1.7300	0.0349	(-1.8253, -1.6347)	-49.55	0.000
R 5% TiO <sub>2</sub> - R 4% TiO <sub>2</sub>	-0.8413	0.0349	(-0.9365, -0.7460)	-24.10	0.000

*Nivel de confianza individual = 98.92%*

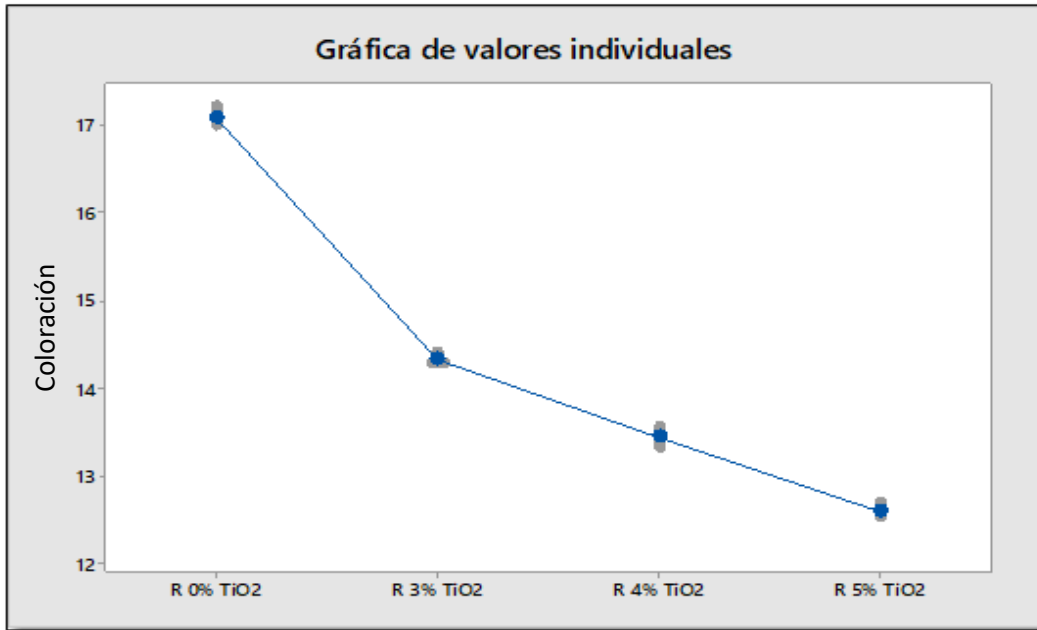
El proceso de toma de decisiones para una prueba de hipótesis se basa en el valor de probabilidad (valor p) para la prueba específica. Si el valor p es menor o igual a un nivel predeterminado de significancia (nivel  $\alpha$ ), se rechaza la hipótesis nula y se da crédito a la alternativa. Si el valor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

En el análisis de varianza (ANOVA), se observa que el valor p (0.000) es menor a  $\alpha$  (0.05), lo que quiere decir que la fuente de variabilidad de los tratamientos tuvo diferencia entre los promedios de coloración. En los intervalos de confianza individual del 95%, se observa que los intervalos de 0, 3, 4, 5% de TiO<sub>2</sub> no se superponen, lo que da crédito a la teoría de que las medias fueron estadísticamente distintas.

De acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey todos los tratamientos son significativamente diferente entre sí ya que 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 3, 4 y 5% TiO<sub>2</sub>, media del mortero con 3% TiO<sub>2</sub> restada de las medias

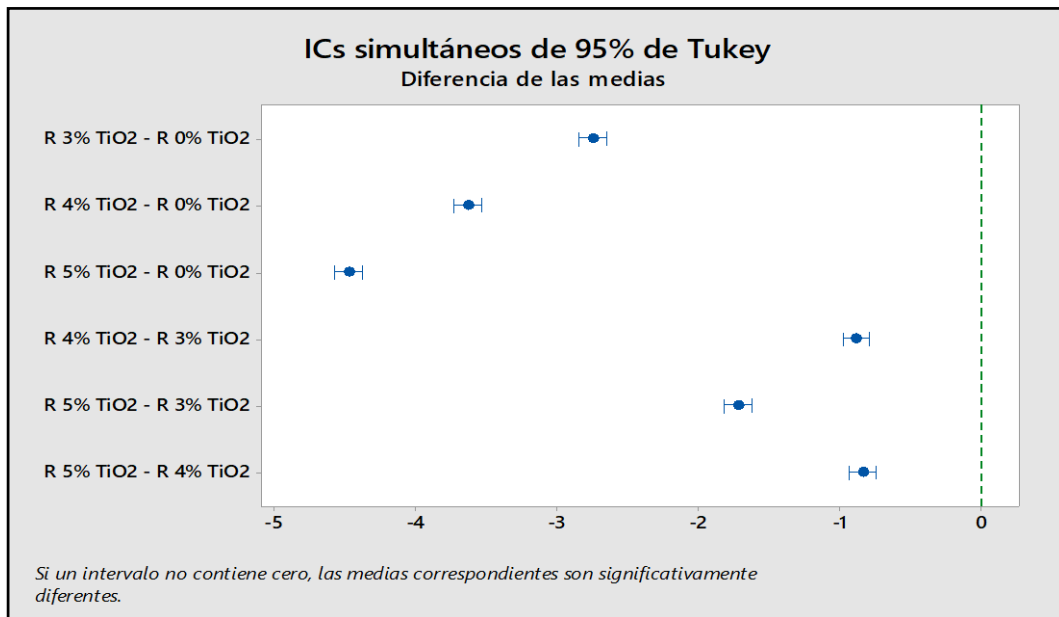
de los tratamientos con 4 y 5%  $\text{TiO}_2$ , media del mortero con 4%  $\text{TiO}_2$  restada de las medias de los tratamientos con 5%  $\text{TiO}_2$ . Debido a que ningún intervalo de confianza incluyó el cero, las medias de los tratamientos difirieron significativamente.

A continuación, se mostraron las Figuras generadas por las comparaciones realizadas por ANOVA y TUKEY.



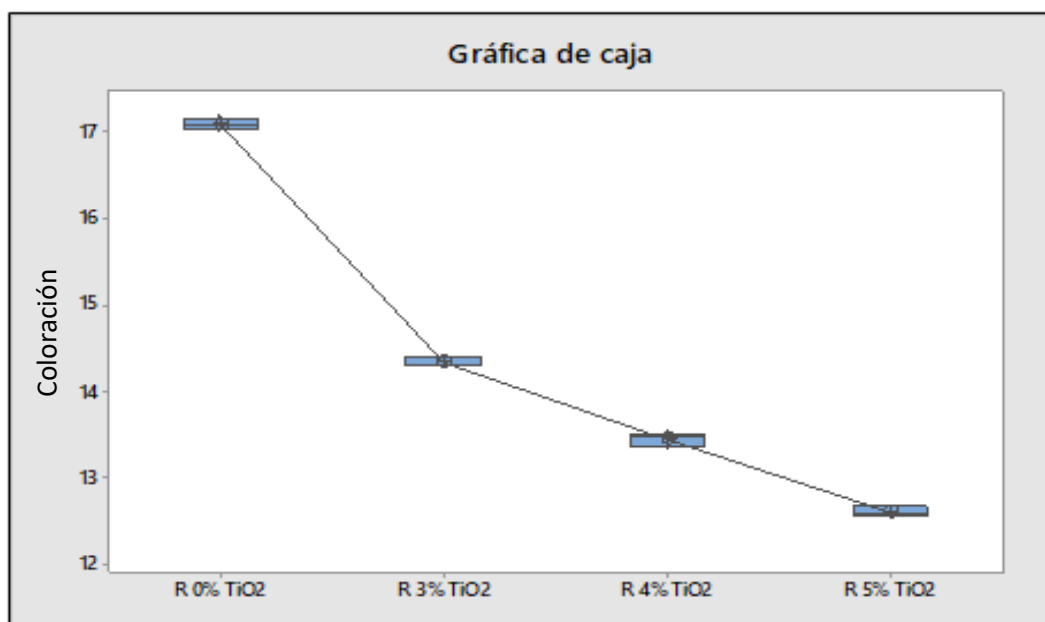
**Figura 15: Valores individuales de Coloración (4h) vs. Tratamientos en Estudio**

La Figura 15 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 5% 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 16: Gráfica de ICs simultáneos de 95% de Tukey (4h)**

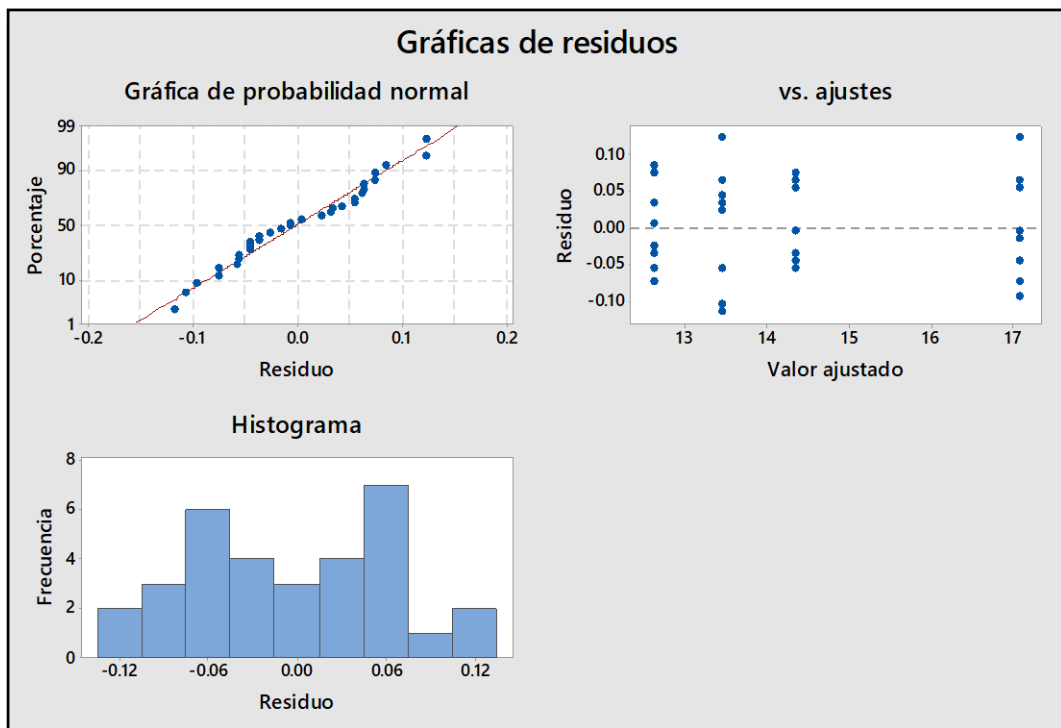
La Figura 16 de intervalos se muestra los intervalos de coloración de cada tratamiento. Así mismo, la línea vertical verde punteada que proyecta el cero nos confirmó lo obtenido en las pruebas de ANOVA y Tukey, es decir, que los tratamientos difirieron significativamente pues a ninguno de estos intervalos incluyó el cero.



**Figura 17: Gráfica de caja de coloración (4h).**

La gráfica de caja de la Figura 17 indica que la coloración varió entre los distintos tratamientos, lo que resulta coherente con la Figura 15 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.



**Figura 18: Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero (4h).**

En las gráficas de residuos en la Figura 18, el gráfico de probabilidad normal no detectó valores atípicos, siendo ajustados los datos en una línea recta. Una línea aproximadamente recta indica que los residuos se distribuyen normalmente y esto fue lo que sucedió. La gráfica de residuos vs. ajuste no detectó varianzas no constantes, términos de orden superior omitidos, ni valores atípicos, como se puede observar los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a cero. El histograma fue aproximadamente simétrico y con forma de campana.

### **B. 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. Se realizó también 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 18. Los resultados se presentan a continuación:

## ANOVA de un solo factor: 0% TiO<sub>2</sub>, 3% TiO<sub>2</sub>, 4% TiO<sub>2</sub>, 5% TiO<sub>2</sub>

### Método

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO <sub>2</sub> , 3% TiO <sub>2</sub> , 4% TiO <sub>2</sub> , 5% TiO <sub>2</sub>

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	328.505	109.502	24386.90	0.000
Error	28	0.126	0.004		
Total	31	328.630			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0670088	99.96%	99.96%	99.95%

### Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO <sub>2</sub>	8	14.6163	0.0632	(14.5677, 14.6648)
3% TiO <sub>2</sub>	8	8.7875	0.0817	(8.7390, 8.8360)
4% TiO <sub>2</sub>	8	7.3637	0.0475	(7.3152, 7.4123)
5% TiO <sub>2</sub>	8	6.3350	0.0709	(6.2865, 6.3835)

Desv.Est. agrupada = 0.0670088

### Comparaciones en parejas de Tukey

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

Factor	N	Media	Agrupación
0% TiO <sub>2</sub>	8	14.6163	A
3% TiO <sub>2</sub>	8	8.7875	B
4% TiO <sub>2</sub>	8	7.3637	C
5% TiO <sub>2</sub>	8	6.3350	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

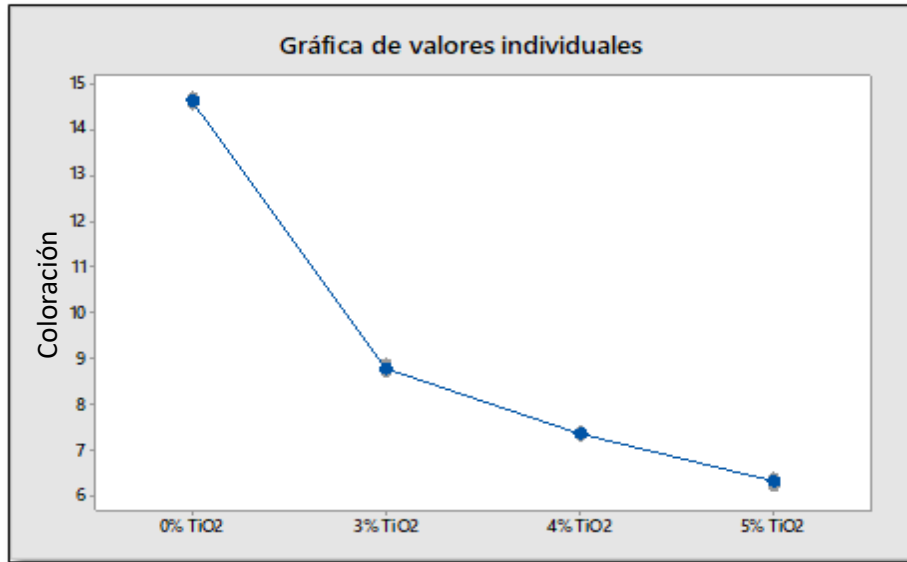
Diferencia de niveles	Dif. de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	p ajustado
3% TiO <sub>2</sub> - 0% TiO <sub>2</sub>	-5.8288	0.0335	(-5.9202, -5.7373)	-173.97	0.000
4% TiO <sub>2</sub> - 0% TiO <sub>2</sub>	-7.2525	0.0335	(-7.3439, -7.1611)	-216.46	0.000
5% TiO <sub>2</sub> - 0% TiO <sub>2</sub>	-8.2813	0.0335	(-8.3727, -8.1898)	-247.17	0.000
4% TiO <sub>2</sub> - 3% TiO <sub>2</sub>	-1.4238	0.0335	(-1.5152, -1.3323)	-42.49	0.000
5% TiO <sub>2</sub> - 3% TiO <sub>2</sub>	-2.4525	0.0335	(-2.5439, -2.3611)	-73.20	0.000
5% TiO <sub>2</sub> - 4% TiO <sub>2</sub>	-1.0287	0.0335	(-1.1202, -0.9373)	-30.70	0.000

Nivel de confianza individual = 98.92%

En el resultado de ANOVA al ser el valor de  $p < 0.05$  los tratamientos tuvieron diferencia estadística entre los promedios de coloración. En los intervalos de confianza

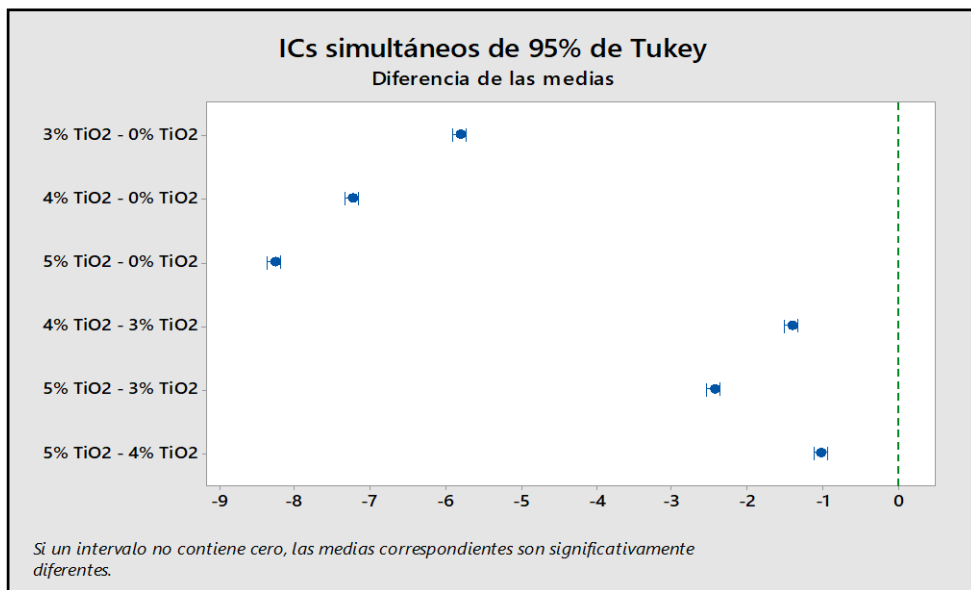
individual del 95% las medias fueron estadísticamente distintas, ya que los intervalos de 0, 3, 4 y 5% de  $\text{TiO}_2$  no se superpusieron.

En la prueba de rango múltiple de Tukey se vio que todos los tratamientos son significativamente diferentes entre sí debido a que ningún intervalo incluyó el cero.



**Figura 19: Valores individuales de coloración (26h) vs. Tratamientos en estudio**

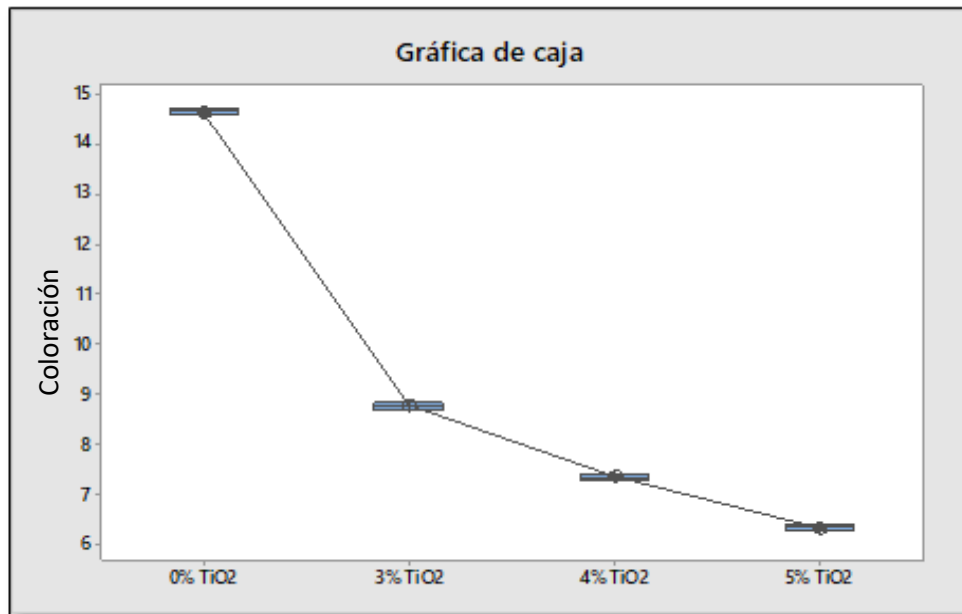
La Figura 19 de valores individuales se observa que existe una mayor diferencia de valores de coloración entre el tratamiento del 0% de  $\text{TiO}_2$  y el de 3%  $\text{TiO}_2$ . En comparación a los valores obtenidos a las 4 horas de coloración el tratamiento con 5%  $\text{TiO}_2$  tuvo una menor coloración promedio.



**Figura 20: Gráfica de ICs simultáneos de 95% de Tukey (26h).**

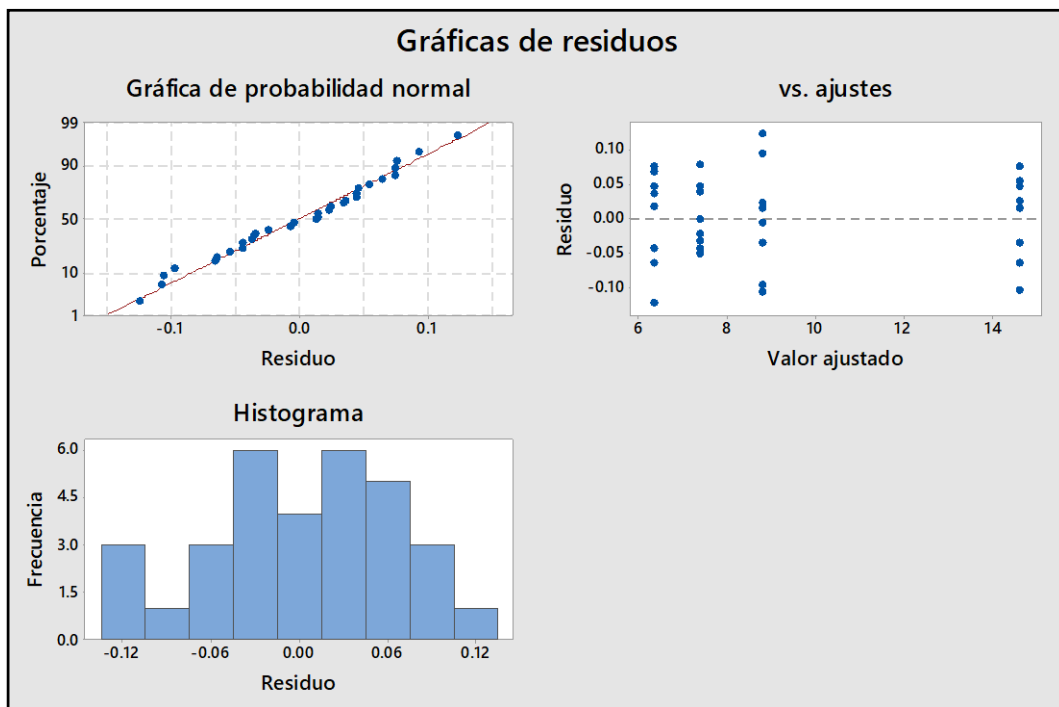


En Figura 20 se observó que los tratamientos al no incluir el cero (proyección de la línea verde punteada), estos difirieron estadísticamente entre sí.



**Figura 21: Gráfica de caja de coloración (26h).**

El gráfico de caja de la Figura 21 indica que la coloración a las 26 horas varió entre los distintos tratamientos. Los gráficos de caja no indicaron la presencia de valores atípicos (señalados con \*).



**Figura 22: Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero (26h).**

El gráfico de probabilidad normal en el ajuste no se observó valores atípicos, lo que indica que los residuos se distribuyen normalmente. La Figura de residuos vs. valores ajustados detectó varianza constante, y no detectó términos de orden superior omitidos, ni valores atípicos, se observó que los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a cero. El histograma fue aproximadamente simétrico y con forma de campana.

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

Tabla 21

#### Coloración promedio y tiempo en horas para los distintos tratamientos

Tiempo (h)	0% TiO <sub>2</sub>	3% TiO <sub>2</sub>	4% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>
0	18.20	18.20	18.20	18.20
1	17.72	16.51	16.08	15.77
2	17.38	15.72	15.21	14.90
4	17.09	14.34	13.45	12.61
5	16.82	13.61	12.42	11.52
10	16.31	11.78	9.99	9.25
20	15.33	9.75	7.89	7.04
26	14.62	8.79	7.36	6.34

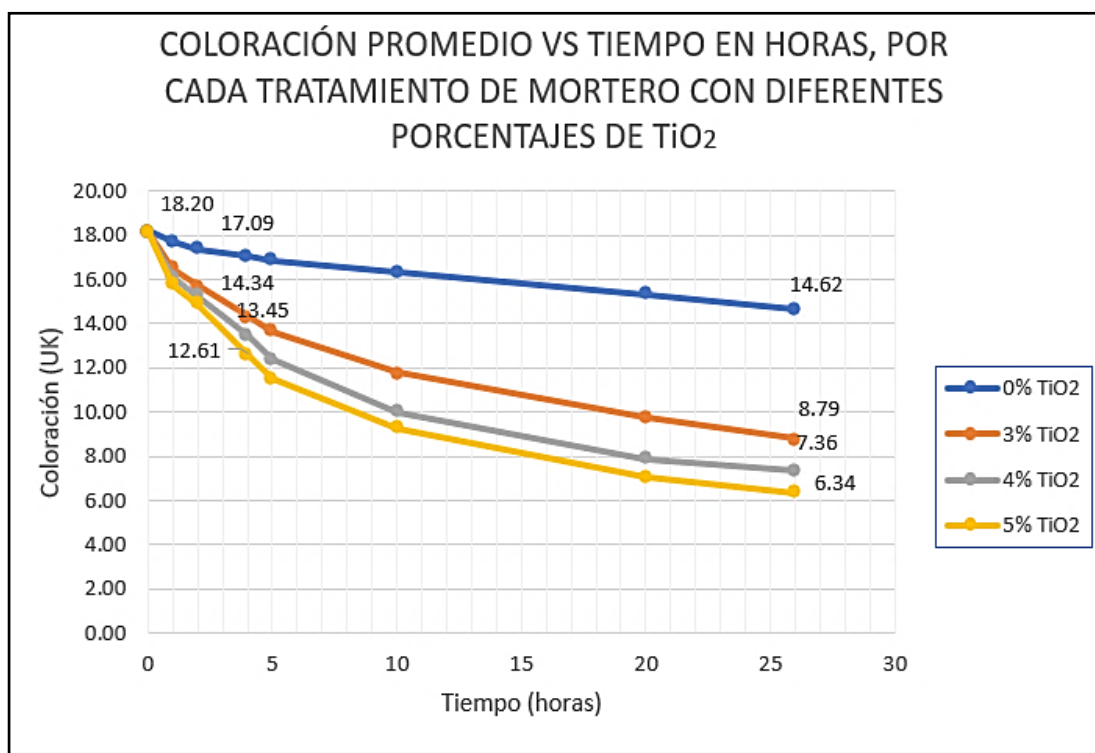


Figura 23: Coloración promedio vs. Edad, por tratamiento con diferentes % TiO<sub>2</sub>

En la Figura 23 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 UV 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  $\text{TiO}_2$ ) 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  $\text{TiO}_2$  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 18.20 y finalizó en la medida  $t=26$  horas y fue 14.62.

El tratamiento con 3% 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 3% de  $\text{TiO}_2$  inició en la medida  $t=0$  horas con una coloración de 18.20 y finalizó en la medida  $t=26$  horas con una coloración de 8.79; se observa que la medida final se redujo a más de la mitad con respecto el tratamiento base, por lo que se dedujo que la sola inclusión del  $\text{TiO}_2$  hizo que la decoloración se acelerara.

El tratamiento con 4% de  $\text{TiO}_2$  sufrió una mayor decoloración comparado con el tratamiento de 3% de  $\text{TiO}_2$ , pero el descenso no fue tan holgado. El rango de valores para el tratamiento con 4% de  $\text{TiO}_2$  inició en la medida  $t=0$  horas con la medida de coloración del tratamiento base (18.20) y finalizó en la medida  $t=26$  horas donde su coloración fue 7.36.

El tratamiento con 5% de  $\text{TiO}_2$  sufrió la mayor decoloración entre todos los tratamientos debido a que tuvo el mayor porcentaje de dióxido de titanio, pero a comparación del tratamiento con 3 y 4% de  $\text{TiO}_2$  el descenso no fue tan holgado a diferencia del tratamiento sin  $\text{TiO}_2$ . El rango de valores para el tratamiento con 5% de  $\text{TiO}_2$  inició en la medida  $t=0$  horas y fue 18.20 y finalizó en la medida  $t=26$  horas y fue 6.34.

### 5.1.11. Análisis de mortero fotocatalítico con la prueba de Rodamina

La prueba de Rodamina se basa en saber si el elemento (mortero) es fotocatalítico o no a través de la fórmula (1) planteada en el marco teórico. Dichas fórmulas necesitaron la medida en el tiempo inicial (t=0h), a las 4 horas y a las 26 horas para cada tratamiento propuesto.

#### A. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento sin TiO<sub>2</sub>

En la Tabla 22 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 (1). 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%.

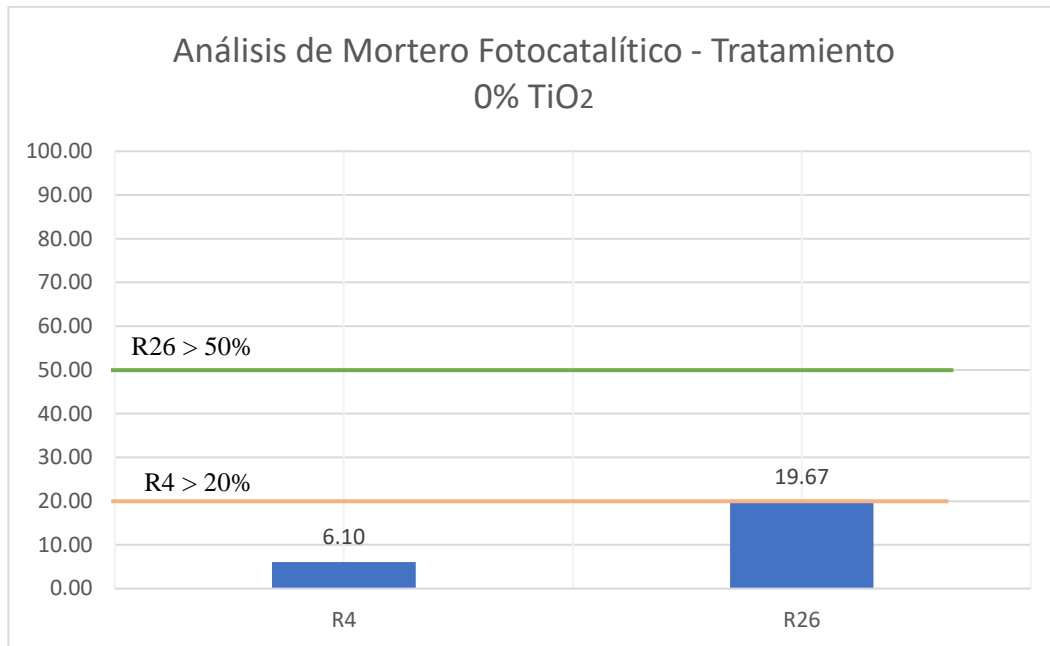
Tabla 22

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

Tiempo (horas)	0	1	2	4	5	10	20	20
Coloración 0% TiO <sub>2</sub>	18.20	17.72	17.38	17.09	16.82	16.31	15.33	14.62
		R4		6.10				
		R26		19.67				

En la Tabla 22 se obtuvieron los valores R4 y R26. Se observa que el valor R4 de este tratamiento fue menor a 20% ( $6.10\% < 20\%$ ) y el valor R26 de este tratamiento fue menor a 50% ( $19.67\% < 50\%$ ). Basta con 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.

En la Figura 24 de análisis de mortero fotocatalíticos - tratamiento sin TiO<sub>2</sub> se observa una línea naranja que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R4, de igual forma se observa 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.



**Figura 24: Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento sin TiO<sub>2</sub>**

**B. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 3% TiO<sub>2</sub>**

Tabla 23

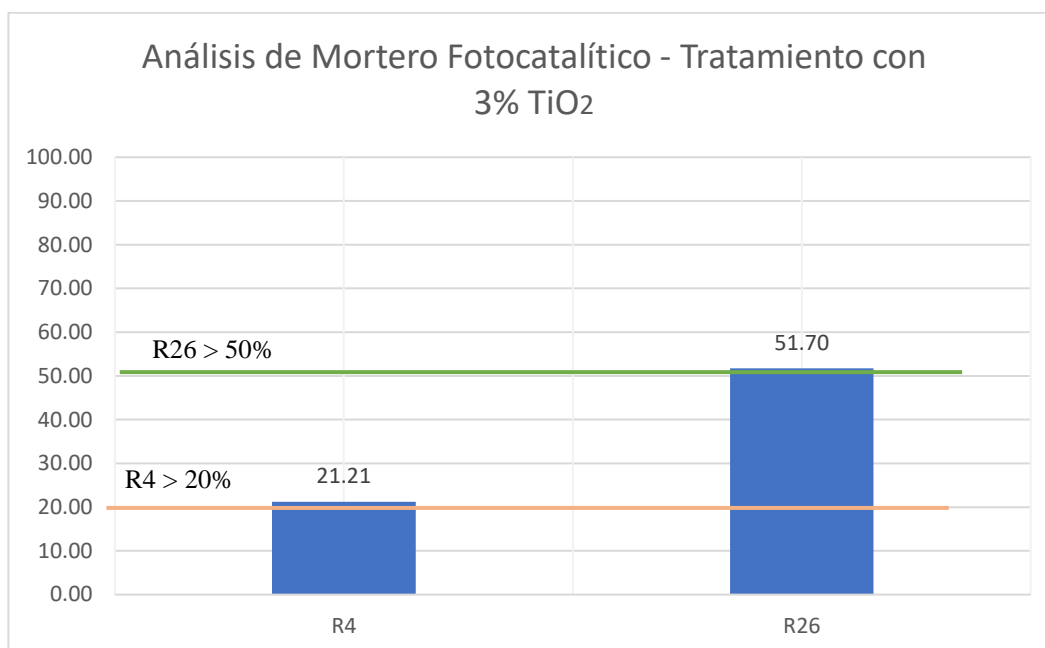
**Medidas de coloración (0 – 26 horas) para el tratamiento con 3% TiO<sub>2</sub>**

Tiempo (horas)	0	1	2	4	5	10	20	20
Coloración 3%TiO <sub>2</sub>	18.20	16.50	15.70	14.30	13.60	11.80	9.75	8.79

R4	21.21
R26	51.70

En la Tabla 23 se obtuvo los valores R4 y R26. Se observa que el valor R4 de este tratamiento fue mayor a 20% (21.21% > 20%) y el valor R26 de este tratamiento fue mayor a 50% (51.70% > 50%). En este caso los dos valores cumplieron lo necesario, por lo que el mortero con 3% de TiO<sub>2</sub> fue fotocatalítico y autolimpiable.

En la siguiente Figura 25 se observa que la línea naranja (valor mínimo de R4) corta los valores de R4 del tratamiento con 3% de TiO<sub>2</sub> lo que quiere decir que R4 cumple con ser mayor al 20%, y la línea verde (valor mínimo de R26) corta los valores de R26 del tratamiento con 3% de TiO<sub>2</sub> lo que quiere decir que cumple con ser mayor al 50%.



**Figura 25: Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 3% TiO<sub>2</sub>**

**C. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 4% TiO<sub>2</sub>**

Tabla 24

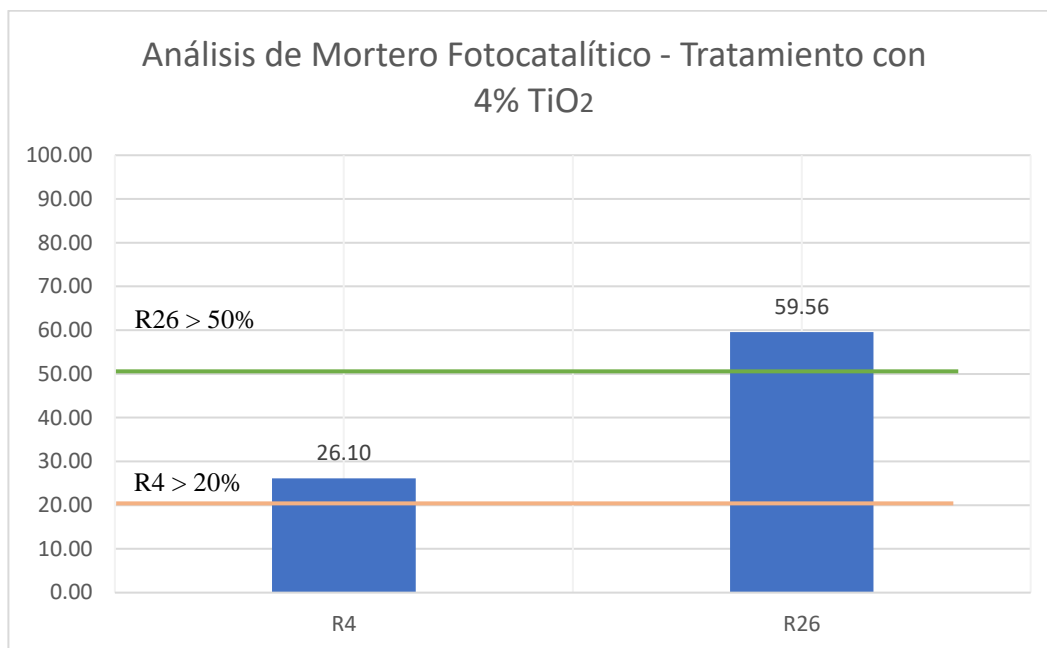
**Medidas de coloración (0 – 26 horas) para el tratamiento con 4% TiO<sub>2</sub>**

Tiempo (horas)	0	1	2	4	5	10	20	20
Coloración 4%TiO <sub>2</sub>	18.20	16.08	15.21	13.45	12.42	9.99	7.89	7.36

R4	26.10
R26	59.56

En la Tabla 24 se obtuvo los valores R4 y R26 para el tratamiento con 4% de TiO<sub>2</sub>. Donde se observa que el valor R4 de este tratamiento fue 26.10%, valor mayor a 20%, y el valor R26 de este tratamiento fue 59.56%, valor mayor a 50%; cumpliendo los dos valores con lo necesario para que el tratamiento con 4% de TiO<sub>2</sub> sea fotocatalítico y autolimpiable.

En la Figura 26 se observa que la línea naranja que representa el valor mínimo de R4 está contenida en los valores de R4 del tratamiento con 4% de TiO<sub>2</sub>. Y la línea verde que representa el valor mínimo de R26 también está contenida en los valores de R26 del tratamiento con 4% de TiO<sub>2</sub>. En ambos casos el tratamiento en estudio cumplió con los valores R4 y R26.



**Figura 26: Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 4% TiO<sub>2</sub>**

**D. Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 5% TiO<sub>2</sub>**

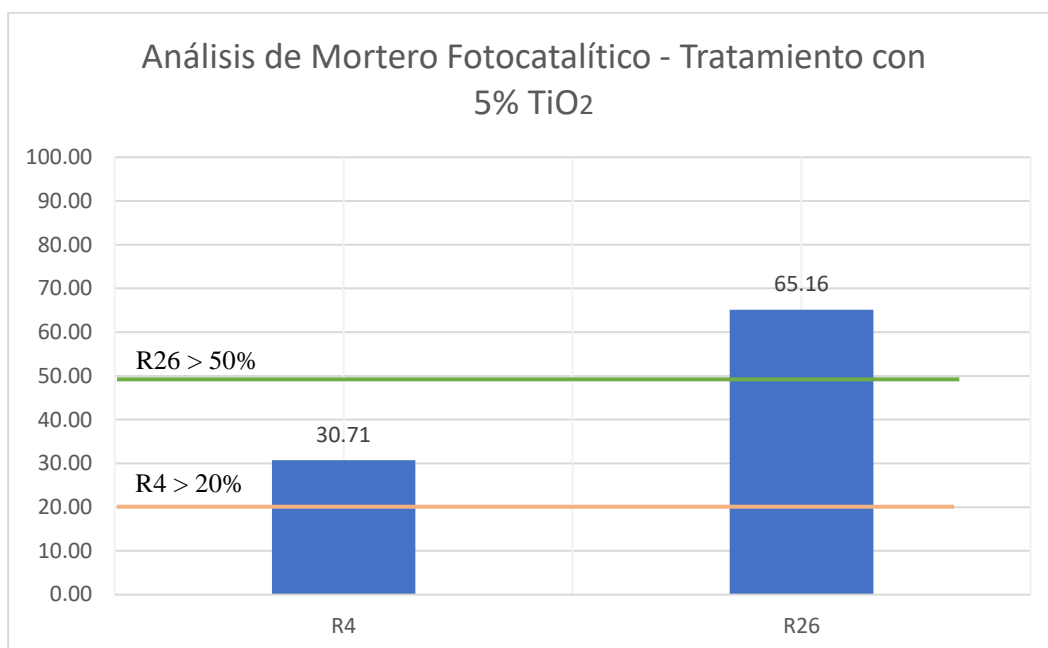
Tabla 25

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

Tiempo (horas)	0	1	2	4	5	10	20	20
Coloración 5% TiO <sub>2</sub>	18.20	15.77	14.90	12.61	11.52	9.25	7.04	6.34
R4			30.71					
R26			65.16					

En la Tabla 25 se obtuvo los valores R4 y R26. Se observa 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.

En la Figura 27 se observa una línea naranja que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R4, de igual forma se observa 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.



**Figura 27: Análisis de mortero fotocatalítico – tratamiento con 5% TiO<sub>2</sub>**

**E. Resumen – Análisis Optimización mortero fotocatalítico**

Tabla 26

**Medidas de coloración (0 horas – 26 horas) para todos los tratamientos con porcentajes de TiO<sub>2</sub>**

Tiempo (h)	0% TiO <sub>2</sub>	3% TiO <sub>2</sub>	4% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>
0 horas	18.20	18.20	18.20	18.20
1 hora	17.72	16.51	16.08	15.77
2 horas	17.38	15.72	15.21	14.90
4 horas	17.09	14.34	13.45	12.61
5 horas	16.82	13.61	12.42	11.52
10 horas	16.31	11.78	9.99	9.25
20 horas	15.33	9.75	7.89	7.04
26 horas	14.62	8.79	7.36	6.34
R4	6.10	21.21	26.10	30.71
R26	19.67	51.70	59.56	65.16

En la Tabla 26 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 para ubicar el óptimo entre los tratamientos. 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> (6.10% < 20%) y el único valor de R26 que no cumplió con lo antes mencionado fue también el del tratamiento sin TiO<sub>2</sub> (19.67% < 50%).

Por lo tanto, el tratamiento óptimo es el que tiene 3% TiO<sub>2</sub> que contiene el menor porcentaje entre los tratamientos y por lo que fue fotocatalítico y autolimpiable con los requerimientos solicitados.

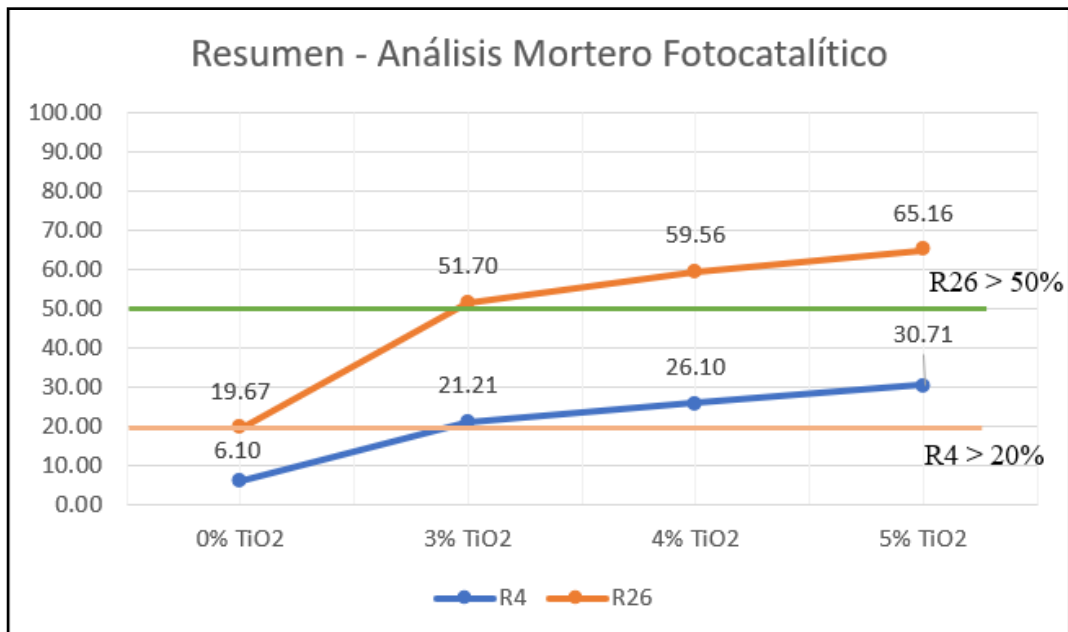


Figura 28: Resumen - Análisis de mortero fotocatalítico

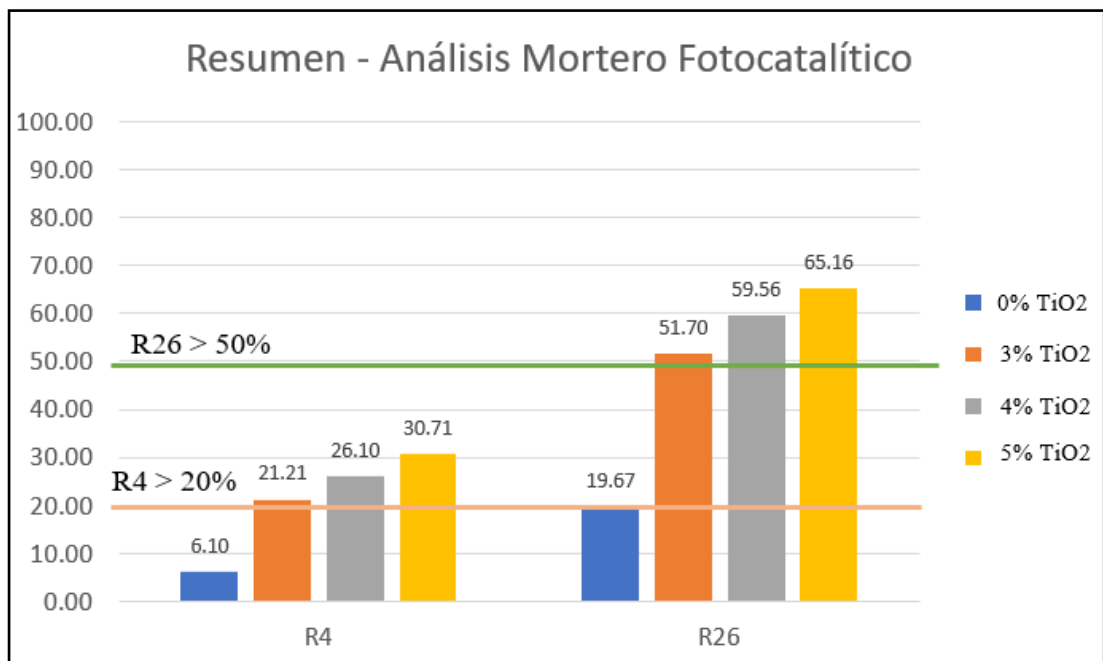


Figura 29: Resumen - Análisis de mortero fotocatalítico – gráfico barras

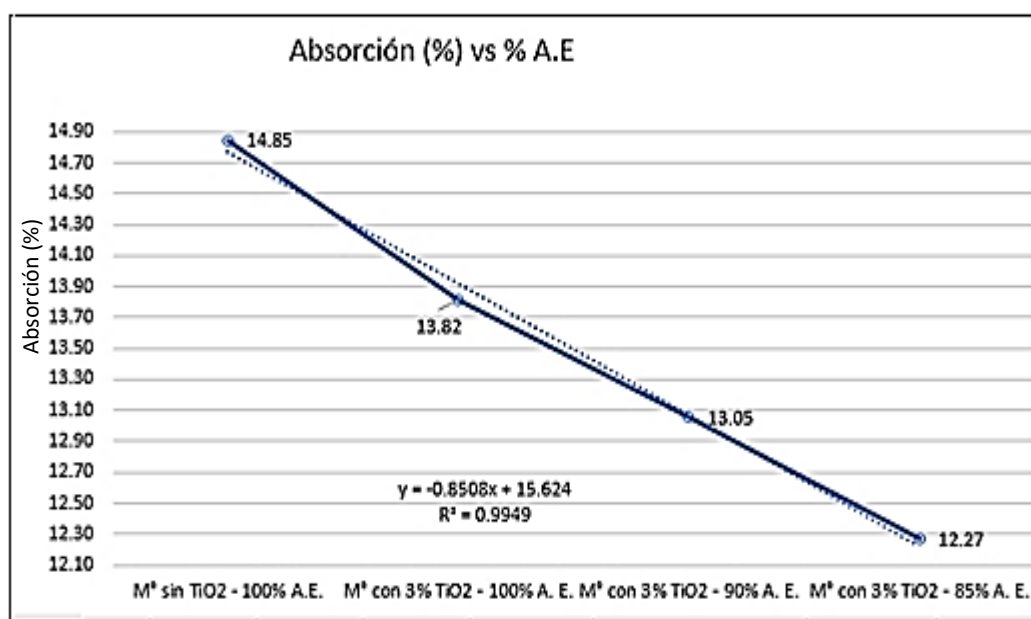
En la Figura 28 y 29 se observa una línea naranja que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R4, de igual forma se observa una línea verde que nos indica el valor mínimo que debe cumplir el resultado R26. En ambos casos el único tratamiento que no cumplió con los valores R4 y R26 fue el tratamiento con 0% TiO<sub>2</sub>, y el óptimo fue el tratamiento con 3% TiO<sub>2</sub> ratificando lo visto en la Tabla 26.

## 5.2. Análisis de los resultados para la optimización de la absorción en especímenes prismáticos rectangulares de mortero cemento arena 1:5

Tabla 27

**Absorción para los diferentes tratamientos en estudio expresado en porcentaje.**

M° sin TiO <sub>2</sub> - 100% A. E.	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 100% A. E.	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 90% A. E.	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 85% A. E.
14.85	13.82	13.05	12.27



**Figura 30: Absorción promedio vs M° con diferentes % agua efectiva (A. E.)**

En la Figura 30 se observa que el mortero elaborado sin dióxido de titanio y con el 100% de agua efectiva presentó el mayor promedio de porcentaje de absorción (14.85 %). El tratamiento elaborado con 3% de dióxido de titanio y el 85 % de agua efectiva presentó el menor promedio de porcentaje de absorción (12.27 %).

Analizando la Figura 30 se observa que hay una disminución paulatina y descendente del porcentaje de absorción conforme el tratamiento tuvo menor porcentaje

de agua efectiva. Es decir, que al adicionar disminuir la cantidad de agua efectiva en los tratamientos que tienen el 3% de dióxido de titanio, éstos disminuyeron su porcentaje de absorción. Esto también ocurrió en la tesis experimental de Martínez (2019) que investigó el efecto del TiO<sub>2</sub> en el comportamiento del mortero de cemento Portland tipo I para fachadas, ocurriendo que la absorción también disminuyó conforme el porcentaje de TiO<sub>2</sub> aumentó en los diferentes tratamientos.

El mejor porcentaje de absorción para que el mortero fotocatalítico funcione es el que está entre los rangos del que tiene 3% TiO<sub>2</sub> - 100% A.E. y el de 3% TiO<sub>2</sub> - 90% A.E.

### 5.2.1. Análisis Estadístico 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 18. Los resultados se presentan a continuación:

ANOVA de un solo factor: Abs 0% - 100% A.E., Abs 3% - ... - 85% A.E.

Método

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	Abs 0% - 100% A.E., Abs 3% - 100% A.E., Abs 3% - 90% A.E., Abs 3% - 85% A.E.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	36.3779	12.1260	1476.88	0.000
Error	36	0.2956	0.0082		
Total	39	36.6735			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0906121	99.19%	99.13%	99.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Abs 0% - 100% A.E.	10	14.8470	0.0485	(14.7889, 14.9051)
Abs 3% - 100% A.E.	10	13.8190	0.1143	(13.7609, 13.8771)
Abs 3% - 90% A.E.	10	13.0540	0.0880	(12.9959, 13.1121)
Abs 3% - 85% A.E.	10	12.2660	0.0985	(12.2079, 12.3241)

Desv.Est. agrupada = 0.0906121

Comparaciones en parejas de Tukey

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

Factor	N	Media	Agrupación
Abs 0% - 100% A.E.	10	14.8470	A
Abs 3% - 100% A.E.	10	13.8190	B
Abs 3% - 90% A.E.	10	13.0540	C
Abs 3% - 85% A.E.	10	12.2660	D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Abs 3% - 100 - Abs 0% - 100	-1.0280	0.0405	(-1.1372, -0.9188)	-25.37	0.000
Abs 3% - 90% - Abs 0% - 100	-1.7930	0.0405	(-1.9022, -1.6838)	-44.25	0.000
Abs 3% - 85% - Abs 0% - 100	-2.5810	0.0405	(-2.6902, -2.4718)	-63.69	0.000
Abs 3% - 90% - Abs 3% - 100	-0.7650	0.0405	(-0.8742, -0.6558)	-18.88	0.000
Abs 3% - 85% - Abs 3% - 100	-1.5530	0.0405	(-1.6622, -1.4438)	-38.32	0.000
Abs 3% - 85% - Abs 3% - 90%	-0.7880	0.0405	(-0.8972, -0.6788)	-19.45	0.000

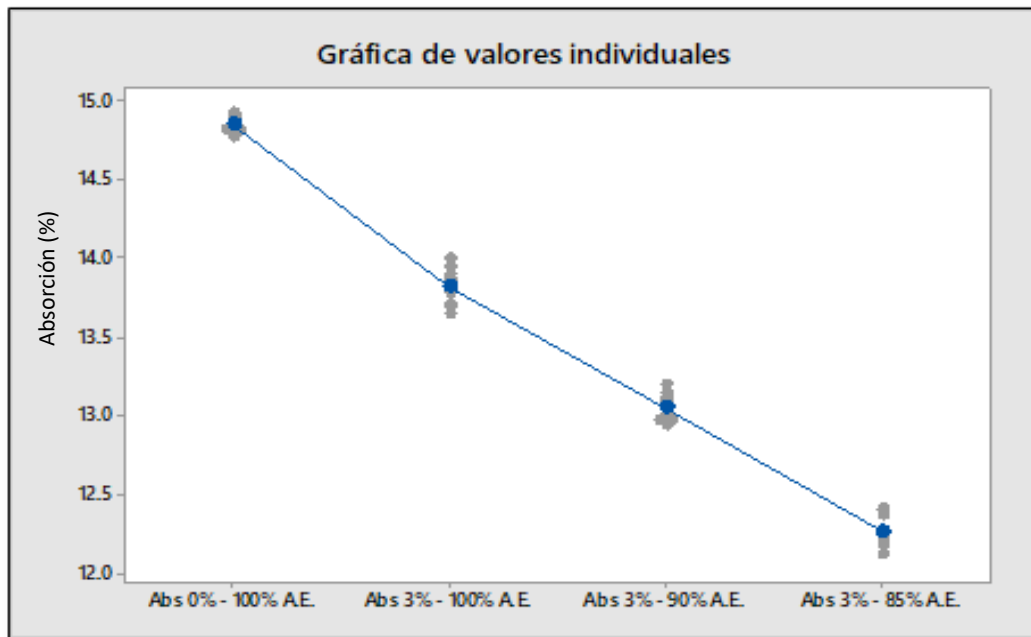
*Nivel de confianza individual = 98.93%*

En los cálculos anteriormente obtenidos para ANOVA, se observa que la fuente de variabilidad de los tratamientos tuvo diferencia estadística entre los promedios de absorción, ya que 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 da crédito a la teoría de que las medias fueron estadísticamente distintas, ya que se observa que ninguno de los intervalos se superpone.

La prueba de Tukey proporcionó tres conjuntos de intervalos de comparación múltiple: Media del mortero con 0%  $\text{TiO}_2$  y 100% A.E. restada de las medias de los tratamientos con 3%  $\text{TiO}_2$  y 100% A.E, 3%  $\text{TiO}_2$  y 90% A.E, 3%  $\text{TiO}_2$  y 85% A.E. Media del mortero con 3%  $\text{TiO}_2$  y 100% A.E restada de las medias de los tratamientos con 3%  $\text{TiO}_2$  y 90% A.E, 3%  $\text{TiO}_2$  y 85% A.E. Media del mortero con 3%  $\text{TiO}_2$  y 90% A.E restada de las medias de los tratamientos con 3%  $\text{TiO}_2$  y 85% A.E %  $\text{TiO}_2$ . De acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey todos los tratamientos son significativamente diferente entre sí.

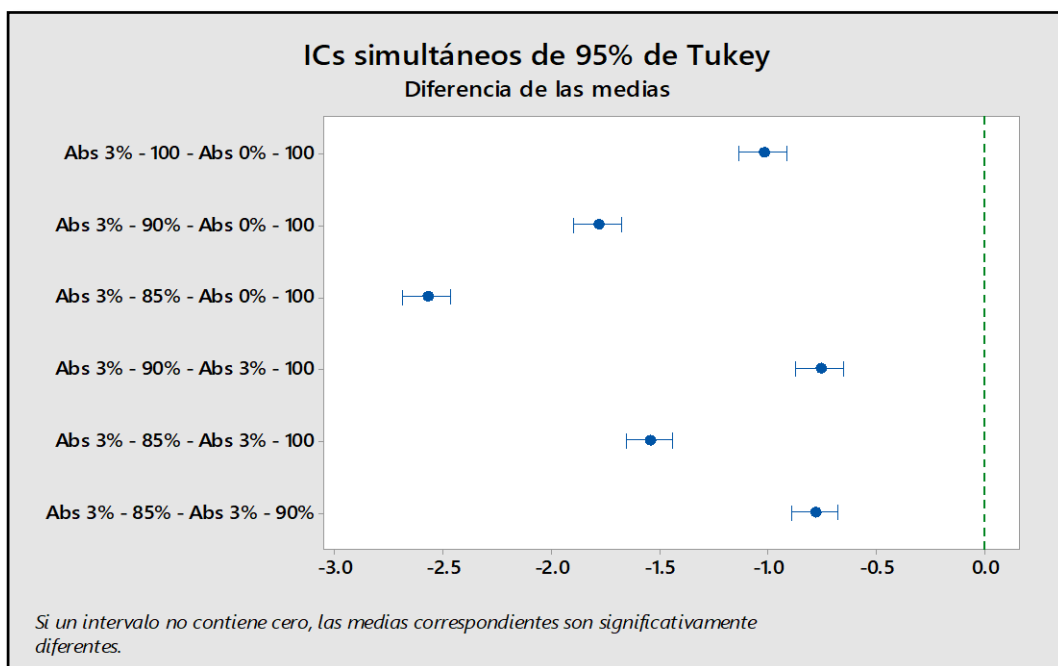
Las medias para los tratamientos difirieron significativamente debido a que ningún intervalo de confianza incluyó el cero.

Se muestra a continuación las Figuras generadas por las comparaciones realizadas por ANOVA y TUKEY.



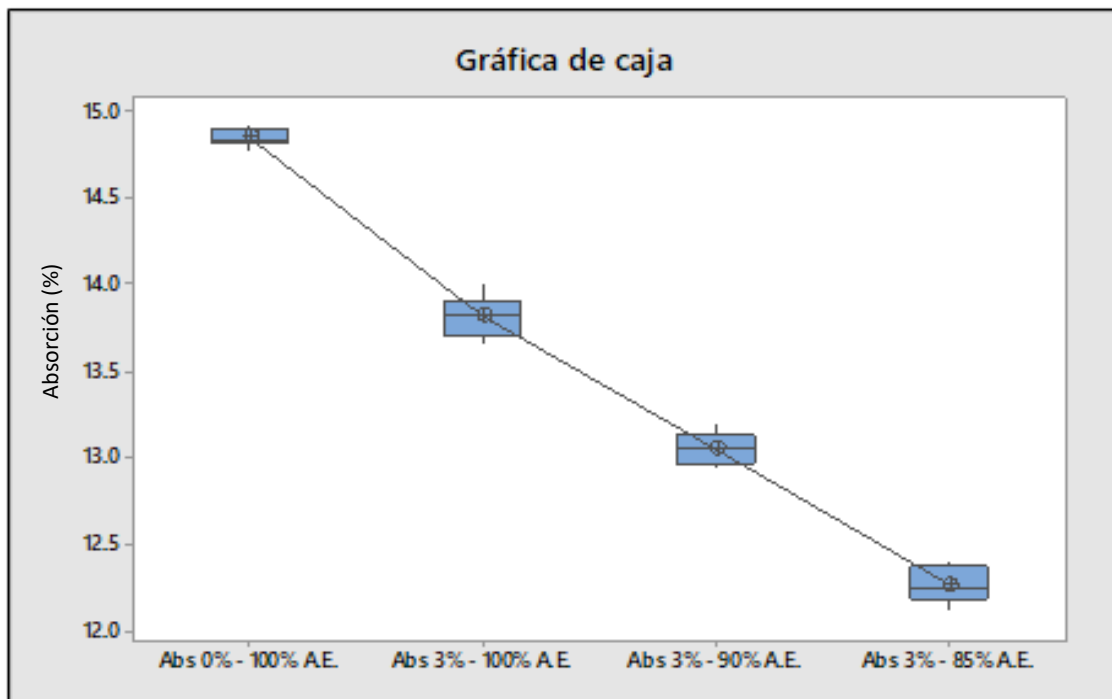
**Figura 31: Gráfica de valores individuales de absorción**

La Figura 31 de valores individuales muestra que cada tratamiento tuvo una absorción promedio diferente. El tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  y 100% A.E. tuvo la mayor absorción promedio y el tratamiento con 3%  $\text{TiO}_2$  y 85 % A.E. tuvo la menor absorción promedio. Se apreció además que conforme se disminuyó el porcentaje de agua efectiva la absorción promedio disminuyó.



**Figura 32: Gráfico ICs simultáneos de 95% de Tukey absorción.**

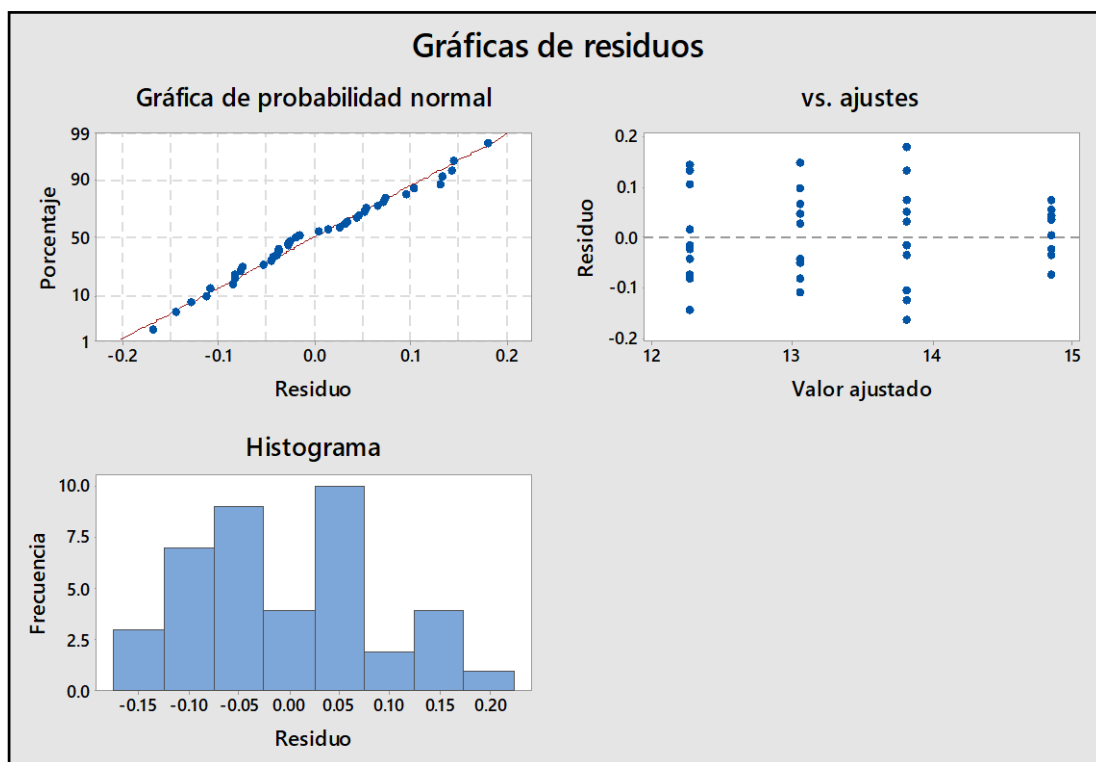
La Figura 32 muestra los intervalos de absorción de cada tratamiento, donde se observa que ninguno de estos contiene el cero (proyectado con la línea vertical verde punteada) que nos confirmó lo obtenido en las pruebas de ANOVA y Tukey, es decir, que los tratamientos difirieron estadísticamente.



**Figura 33: Gráfica de caja de absorción.**

La gráfica de caja que se muestra a continuación en la Figura 33 indica que la absorción varió entre los distintos tratamientos y no indica la presencia de valores atípicos (señalados con \*) que corresponden a un valor de absorción con muy bajo valor o con muy alto valor.

En la Figura 34 que contiene las gráficas de residuos, se observó que la gráfica de probabilidad normal no detectó valores atípicos. Una línea aproximadamente recta indica que los residuos se distribuyen normalmente. El histograma fue aproximadamente simétrico y con forma de campana. La gráfica de residuos contra los valores ajustados no detectó varianza no constante, términos de orden superior omitidos, ni valores atípicos. Los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a cero.



**Figura 34: Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero de absorción.**

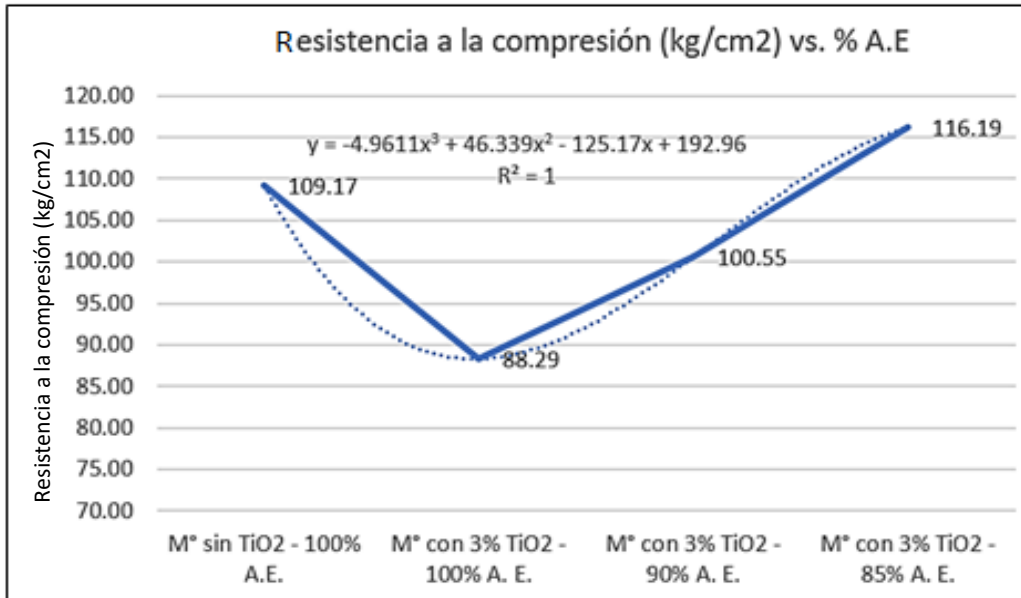
### 5.3. Análisis de los resultados para la optimización de la resistencia a la compresión en especímenes rectangulares de mortero cemento arena 1:5 a la edad de 28 días

Tabla 28

**Resistencia a la compresión obtenidas a los 28 días para los diferentes tratamientos.**

M° sin TiO <sub>2</sub> - 100% A.E.	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 100% A. E.	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 90% A. E.	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 85% A. E.
109.17	88.29	100.73	116.19

En La Figura 35 se observa que el mortero elaborado sin dióxido de titanio presentó mayor promedio de resistencia a la compresión (109.17 kg/cm<sup>2</sup>) que el mortero con 3% TiO<sub>2</sub> y que a medida que se le quito el porcentaje de agua efectiva (A. E.) a este último fue aumentando la resistencia a la compresión, alcanzando el tratamiento con 3% TiO<sub>2</sub> con 85% de agua efectiva una resistencia de 116.19 kg/cm<sup>2</sup>



**Figura 35: Resistencia a la compresión promedio vs % agua efectiva (A. E.)**

En la optimización de la resistencia se observa que, al disminuir el agua efectiva, la resistencia a la compresión aumenta, inclusive la resistencia del mortero con 3% TiO<sub>2</sub> - 85% A. E. es mayor a la resistencia a la compresión que se obtuvo en el tratamiento patrón, comparando los resultados con la tesis de Martínez (2019) concluyó que la adición del TiO<sub>2</sub> en el mortero disminuyó la resistencia a la compresión a la edad de 28 días en relación al mortero sin TiO<sub>2</sub>, esto debido a que el porcentaje de incorporación del fotocatalizador fue en reemplazo del volumen absoluto del cemento.

Por lo que el mejor tratamiento con una resistencia a la compresión de 116.19 kg/cm<sup>2</sup> es el tratamiento de 3% TiO<sub>2</sub> - 85% A. E.

### 5.3.1. 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 18. Los resultados se presentan a continuación:

ANOVA de un solo factor: Res 0% TiO<sub>2</sub>, Res 3% TiO<sub>2</sub> - ... 2 - 85% A.E.

Método

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor



Factor	Niveles	Valores
Factor	4	Res 0% TiO <sub>2</sub> , Res 3% TiO <sub>2</sub> - 100% A.E., Res 3% TiO <sub>2</sub> - 90% A.E., Res 3% TiO <sub>2</sub> - 85% A.E.

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	4323.4	1441.14	73.57	0.000
Error	36	705.2	19.59		
Total	39	5028.6			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4.42604	85.98%	84.81%	82.69%

#### Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Res 0% TiO <sub>2</sub>	10	109.17	4.83	(106.33, 112.01)
Res 3% TiO <sub>2</sub> - 100% A.E.	10	88.29	4.36	(85.45, 91.12)
Res 3% TiO <sub>2</sub> - 90% A.E.	10	100.73	3.67	(97.89, 103.57)
Res 3% TiO <sub>2</sub> - 85% A.E.	10	116.19	4.74	(113.35, 119.03)

*Desv.Est. agrupada = 4.42604*

#### Comparaciones en parejas de Tukey

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

Factor	N	Media	Agrupación
Res 3% TiO <sub>2</sub> - 85% A.E.	10	116.19	A
Res 0% TiO <sub>2</sub>	10	109.17	B
Res 3% TiO <sub>2</sub> - 90% A.E.	10	100.73	C
Res 3% TiO <sub>2</sub> - 100% A.E.	10	88.29	D

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

#### Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Res 3% TiO <sub>2</sub> - Res 0% TiO <sub>2</sub>	-20.88	1.98	(-26.21, -15.55)	-10.55	0.000
Res 3% TiO <sub>2</sub> - Res 0% TiO <sub>2</sub>	-8.44	1.98	(-13.77, -3.11)	-4.26	0.001
Res 3% TiO <sub>2</sub> - Res 0% TiO <sub>2</sub>	7.03	1.98	(1.69, 12.36)	3.55	0.006
Res 3% TiO <sub>2</sub> - Res 3% TiO <sub>2</sub>	12.44	1.98	(7.11, 17.78)	6.29	0.000
Res 3% TiO <sub>2</sub> - Res 3% TiO <sub>2</sub>	27.91	1.98	(22.57, 33.24)	14.10	0.000
Res 3% TiO <sub>2</sub> - Res 3% TiO <sub>2</sub>	15.46	1.98	(10.13, 20.80)	7.81	0.000

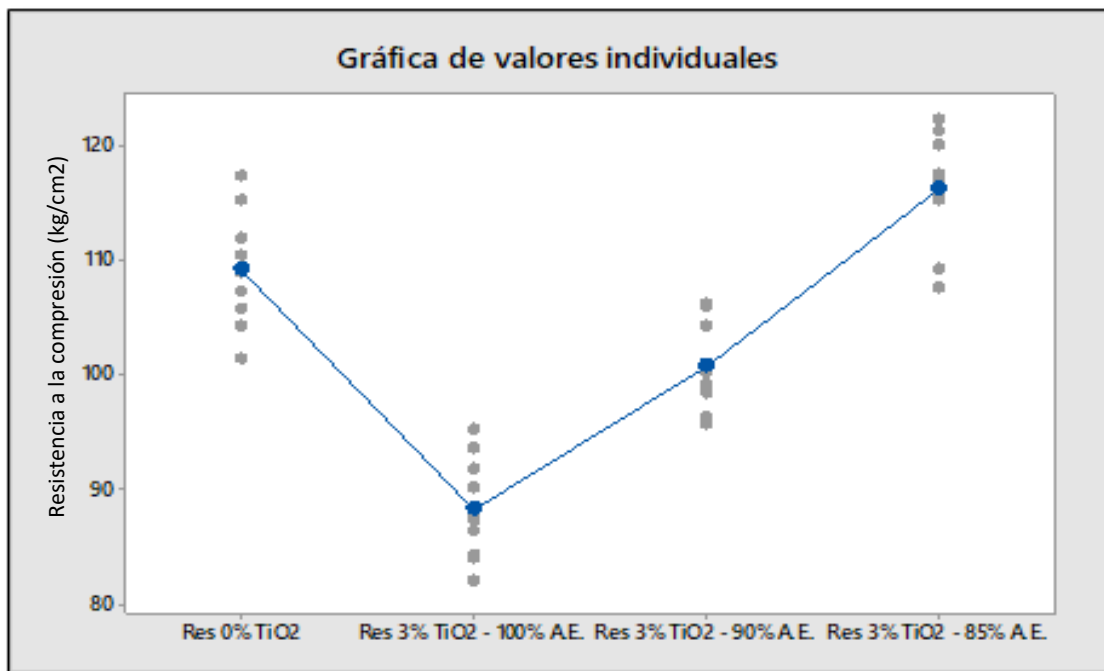
*Nivel de confianza individual = 98.93%*

En los cálculos anteriormente obtenidos para ANOVA, el valor p (0.000) proporcionó suficiente evidencia de que la resistencia a la compresión a los 28 días difirió cuando  $\alpha$  es 0.05. En los intervalos de confianza individual del 95%, se observa que ninguno de los intervalos superpone, 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%  $\text{TiO}_2$  - 100% A.E. restada de las medias de los tratamientos con 3%  $\text{TiO}_2$  - 100% A.E, 3%  $\text{TiO}_2$  y 90% A.E, 3%  $\text{TiO}_2$  - 85% A. E. Media del mortero con 3%  $\text{TiO}_2$  - 100% A.E restada de las medias de los tratamientos con 3%  $\text{TiO}_2$  y 90% A. E, 3%  $\text{TiO}_2$  y 85% A.E. Media del mortero con 3%  $\text{TiO}_2$  y 90% A. E restada de las medias de los tratamientos con 3%  $\text{TiO}_2$  y 85% A. E %  $\text{TiO}_2$ .

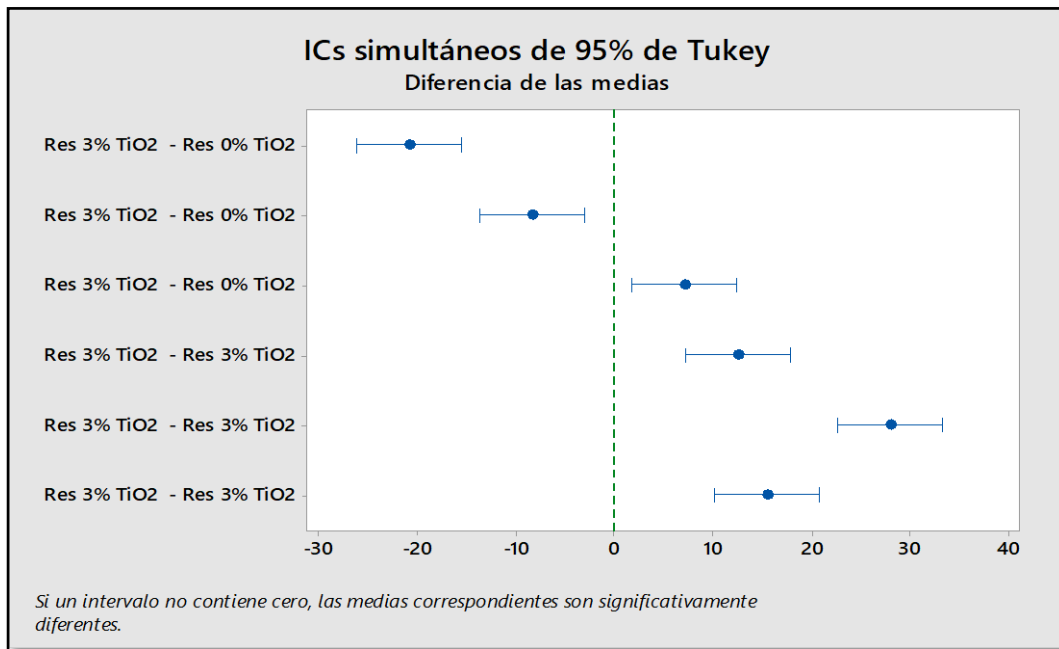
Las medias para los tratamientos difirieron significativamente debido a que ningún intervalo de confianza incluyó el cero.

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 a los 28 días. De acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey todos los tratamientos son significativamente diferente entre sí.



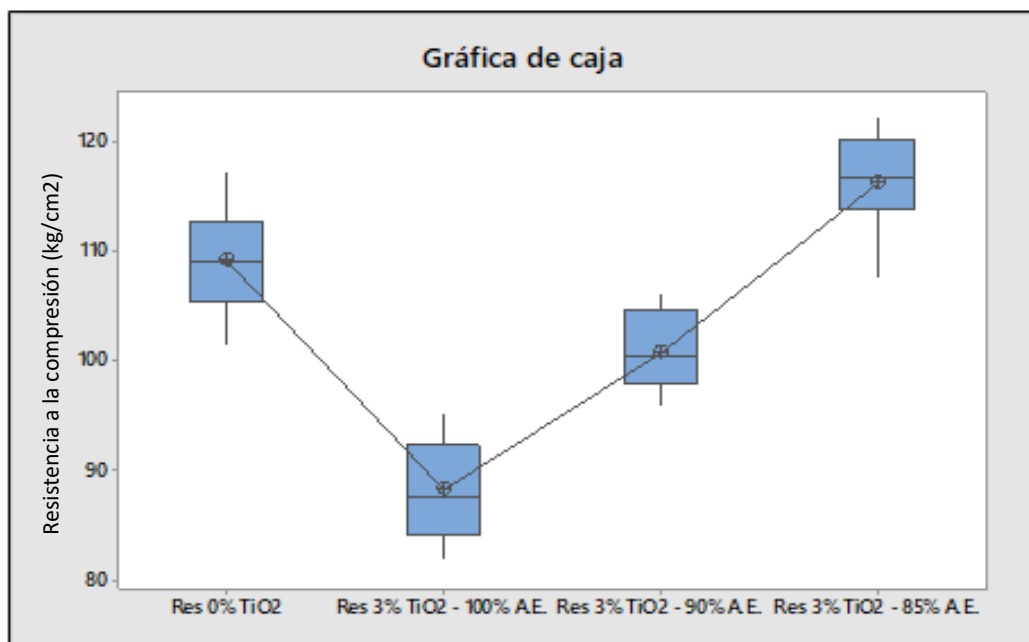
**Figura 36: Gráfica de valores individuales de resistencia a la compresión**

La Figura 36 de valores individuales muestra que cada tratamiento tuvo una resistencia a la compresión promedio diferente. El tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  - 100% A.E. tuvo una mayor resistencia a compresión en comparación al tratamiento con 3%  $\text{TiO}_2$  - 100% A.E, Se apreció además que conforme se le disminuía el agua efectiva a la mezcla, la resistencia a la compresión iba aumentando como ocurrió con los tratamientos de 3%  $\text{TiO}_2$  - 90% A.E, 3%  $\text{TiO}_2$  - 85% A.E.



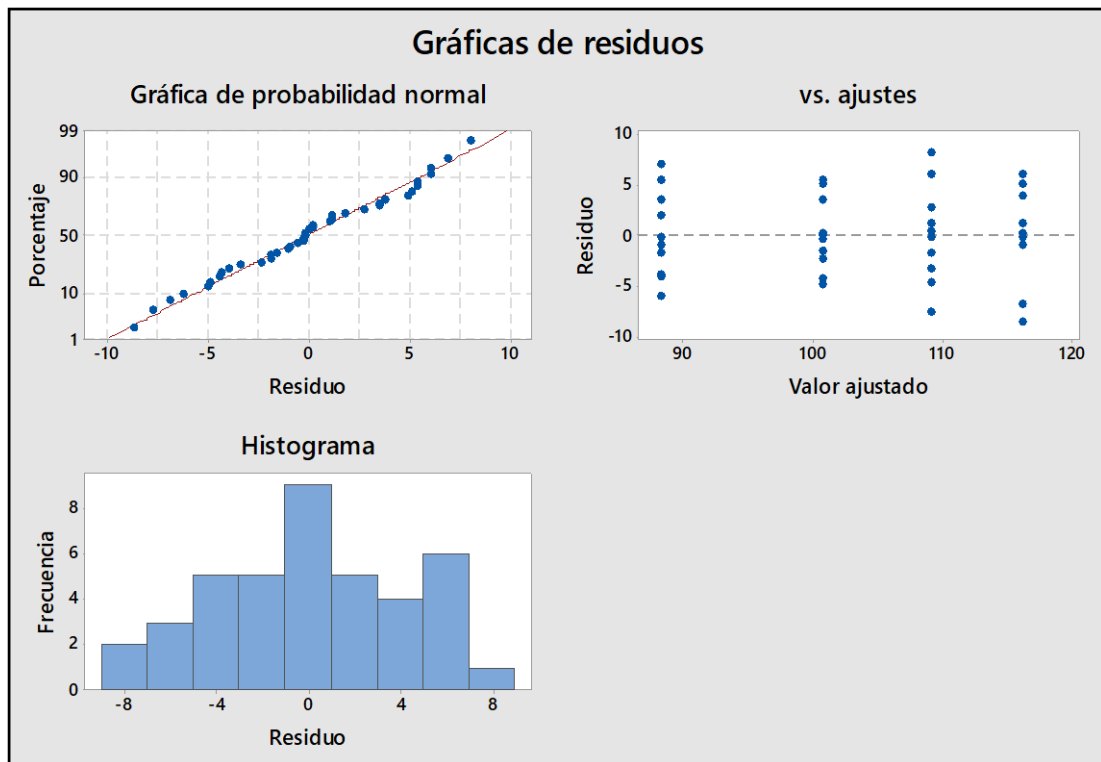
**Figura 37: Gráfica de ICs simultáneos de 95% de Tukey de resistencia a la compresión.**

La Figura 37 de intervalos muestra los intervalos de resistencia a la compresión de cada tratamiento. Así mismo, la línea vertical verde punteada nos confirmó lo obtenido en las pruebas de ANOVA y Tukey, es decir, que los tratamientos difirieron estadísticamente pues la línea verde punteada no atraviesa a los tratamientos.



**Figura 38: Gráfica de caja de resistencia a la compresión**

En el gráfico de caja que se muestra a continuación en la Figura 38, indica que la resistencia a la compresión varió entre los distintos tratamientos, lo que resulta coherente con la Figura 36 de valores individuales. Los gráficos de caja no indicaron la presencia de valores atípicos (señalados con \*) que corresponden a un valor de resistencia a la compresión con muy bajo valor o con muy alto valor.



**Figura 39: Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero de resistencia a la compresión.**

En las gráficas de residuos, Figura 39, 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.

#### 5.4. Análisis de los resultados para la optimización de permeabilidad en especímenes rectangulares de mortero cemento arena 1:5

Tabla 29

#### Permeabilidad para los diferentes tratamientos (cm/s).

M° sin TiO2 - 100% A.E.	M° con 3% TiO2 - 100% A. E.	M° con 3% TiO2 - 90% A. E.	M° con 3% TiO2 - 85% A. E.
3.017E-06	2.675E-06	2.539E-06	2.345E-06

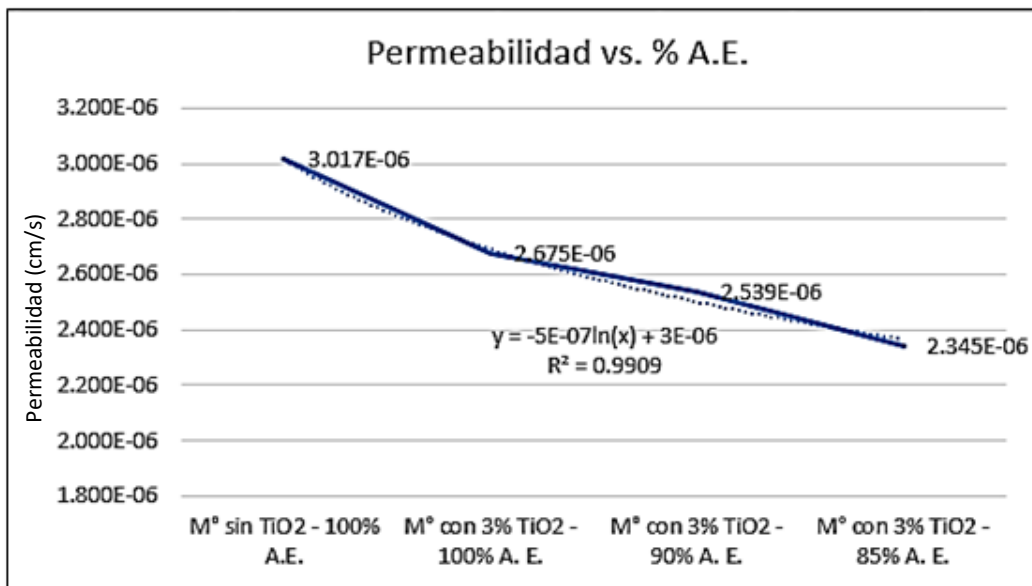


Figura 40: Permeabilidad promedio vs % agua efectiva (A. E.)

En La Figura 40 se observa que el mortero elaborado sin dióxido de titanio presentó el mayor promedio de permeabilidad ( $3.017 \times 10^{-6}$  cm/s). El tratamiento elaborado con 3% de dióxido de titanio y con el 85% del agua efectiva presentó el menor promedio de permeabilidad ( $2.345 \times 10^{-6}$  cm/s).

Además, en la Figura 40 se observa que hay una disminución paulatina y descendente de la resistencia a la compresión conforme el tratamiento tuvo menor porcentaje de agua efectiva. Es decir, que al disminuir la cantidad de agua efectiva a los tratamientos de mortero con 3% de dióxido de titanio, éstos disminuyeron su permeabilidad.

De acuerdo a la Tabla 5, coeficiente de permeabilidad según A. Casagrande y R.E. Fadum, todos los tratamientos se clasifican en morteros poco permeables con un coeficiente de permeabilidad entre los rangos de  $10^{-5}$  a  $10^{-8}$ . Y de acuerdo a la Tabla 6, coeficiente de permeabilidad según Terzaghi y Peck, todos los tratamientos se clasifican

en morteros de baja permeabilidad por estar su coeficiente de permeabilidad entre los rangos de  $10^{-5}$  y  $10^{-7}$ .

En la optimización de la permeabilidad, el mortero de 3%  $\text{TiO}_2$  - 85% A.E. sería el adecuado, ya que posee una menor permeabilidad, con respecto a los demás tratamientos.

#### 5.4.1. Análisis Estadístico de permeabilidad

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de rango múltiple de Tukey de la variable permeabilidad para observar la diferencia estadística entre los tratamientos. Para esto se utilizó el programa Minitab 18. Los resultados se presentan a continuación:

ANOVA de un solo factor: Perm 0%, Perm 3% - 100% A. ... - 85% A. E.

Método

Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	Perm 0%, Perm 3% - 100% A. E., Perm 3% - 90% A. E., Perm 3% - 85% A. E.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	0.000000	0.000000	21.03	0.000
Error	36	0.000000	0.000000		
Total	39	0.000000			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0000002	63.67%	60.65%	55.15%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Perm 0%	10	0.000003	0.000000	(0.000003, 0.000003)
Perm 3% - 100% A. E.	10	0.000003	0.000000	(0.000003, 0.000003)
Perm 3% - 90% A. E.	10	0.000003	0.000000	(0.000002, 0.000003)
Perm 3% - 85% A. E.	10	0.000002	0.000000	(0.000002, 0.000002)

Desv.Est. agrupada =  $1.951654E-07$

Comparaciones en parejas de Tukey

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

Factor	N	Media	Agrupación
Perm 0%	10	0.000003	A
Perm 3% - 100% A. E.	10	0.000003	B
Perm 3% - 90% A. E.	10	0.000003	B C

Perm 3% - 85% A. E. 10 0.000002 C

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

**Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T
Perm 3% - 10 - Perm 0%	-0.000000	0.000000	(-0.000001, -0.000000)	-3.92
Perm 3% - 90 - Perm 0%	-0.000000	0.000000	(-0.000001, -0.000000)	-5.47
Perm 3% - 85 - Perm 0%	-0.000001	0.000000	(-0.000001, -0.000000)	-7.70
Perm 3% - 90 - Perm 3% - 10	-0.000000	0.000000	(-0.000000, 0.000000)	-1.55
Perm 3% - 85 - Perm 3% - 10	-0.000000	0.000000	(-0.000001, -0.000000)	-3.78
Perm 3% - 85 - Perm 3% - 90	-0.000000	0.000000	(-0.000000, 0.000000)	-2.23

Diferencia de niveles	Valor p ajustado
Perm 3% - 10 - Perm 0%	0.002
Perm 3% - 90 - Perm 0%	0.000
Perm 3% - 85 - Perm 0%	0.000
Perm 3% - 90 - Perm 3% - 10	0.418
Perm 3% - 85 - Perm 3% - 10	0.003
Perm 3% - 85 - Perm 3% - 90	0.135

*Nivel de confianza individual = 98.93%*

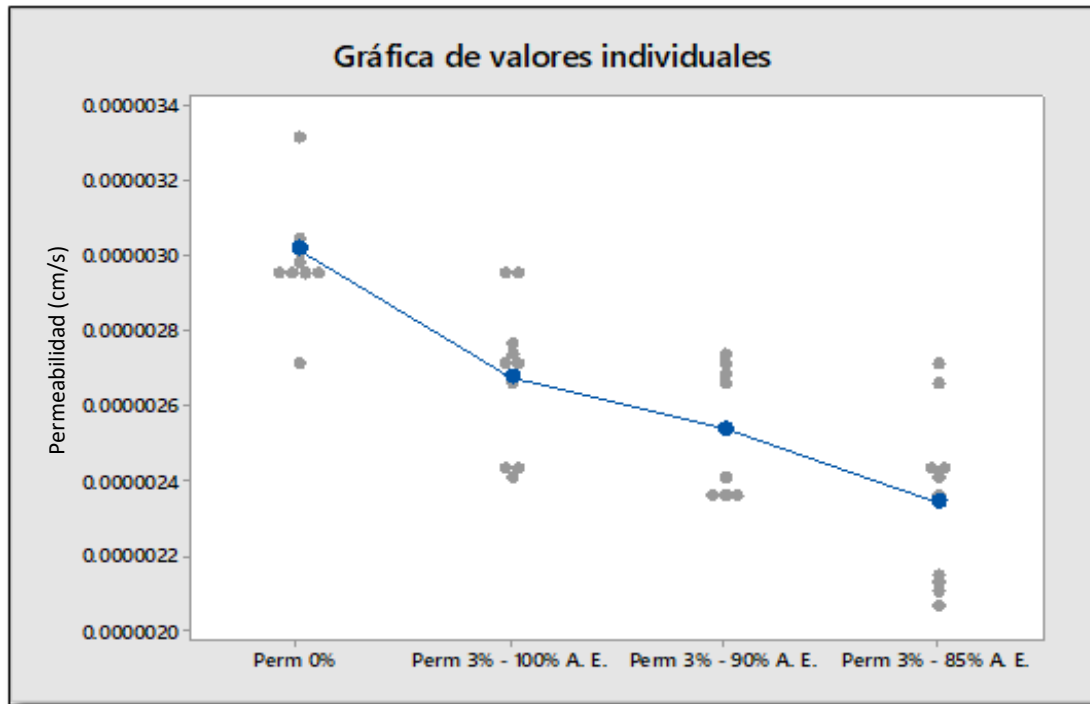
En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA) al ser el valor de  $p < 0.05$  se observa que la fuente de variabilidad de los tratamientos tuvo diferencia estadística entre los promedios de permeabilidad.

En los intervalos de confianza individual del 95%, se observa que los intervalos de 3% TiO<sub>2</sub> y 100% A.E y 3% TiO<sub>2</sub> y 90% A.E se superponen en un grupo y los intervalos de 3% TiO<sub>2</sub> y 90% A.E y 3% TiO<sub>2</sub> y 85% A.E se superponen en otro grupo, lo que da crédito a la teoría de que las medias fueron estadísticamente distintas para ciertos grupos.

La prueba de Tukey proporcionó tres conjuntos de intervalos de comparación múltiple: Media del mortero con 0% TiO<sub>2</sub> y 100% A.E. restada de las medias de los tratamientos con 3% TiO<sub>2</sub> y 100% A.E, 3% TiO<sub>2</sub> y 90% A.E, 3% TiO<sub>2</sub> y 85% A.E. Media del mortero con 3% TiO<sub>2</sub> y 100% A.E restada de las medias de los tratamientos con 3% TiO<sub>2</sub> y 90% A.E, 3% TiO<sub>2</sub> y 85% A.E. Media del mortero con 3% TiO<sub>2</sub> y 90% A.E restada de las medias de los tratamientos con 3% TiO<sub>2</sub> y 85% A.E % TiO<sub>2</sub>. De acuerdo a esto los tratamientos con 3% TiO<sub>2</sub> y 100% A.E, 3% TiO<sub>2</sub> y 90% A.E fueron significativamente similares entre sí y los tratamientos con 3% TiO<sub>2</sub> y 90% A.E, 3% TiO<sub>2</sub> y 85% A.E. también fueron significativamente similares entre sí.

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 de 3%  $\text{TiO}_2$  y 90% A.E y 3%  $\text{TiO}_2$  y 85%, por lo que se decidió usar este grupo estadístico.

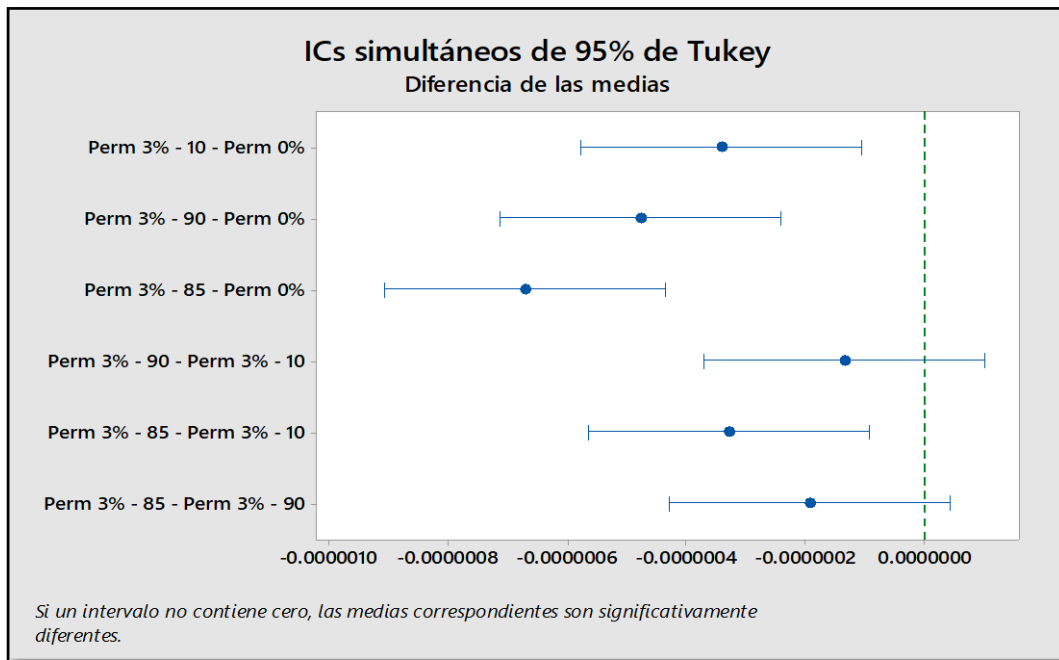
Se muestran las Figuras generadas por las comparaciones realizadas por ANOVA y TUKEY:



**Figura 41: Gráfica de valores individuales de permeabilidad**

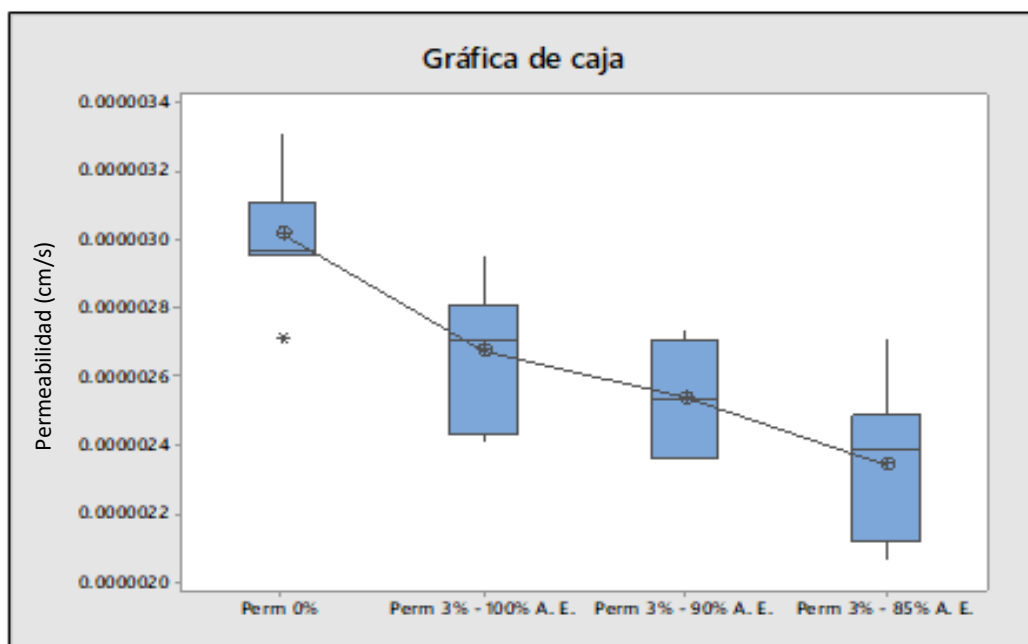
La Figura 41 valores individuales muestra que cada tratamiento tuvo una permeabilidad promedio diferente. El tratamiento sin  $\text{TiO}_2$  - 100% A.E tuvo la mayor permeabilidad promedio y el tratamiento con 3%  $\text{TiO}_2$  - 85% A.E tuvo la menor permeabilidad promedio. Se apreció además que conforme se disminuyó el agua efectiva en el mortero, la permeabilidad promedio disminuyó.





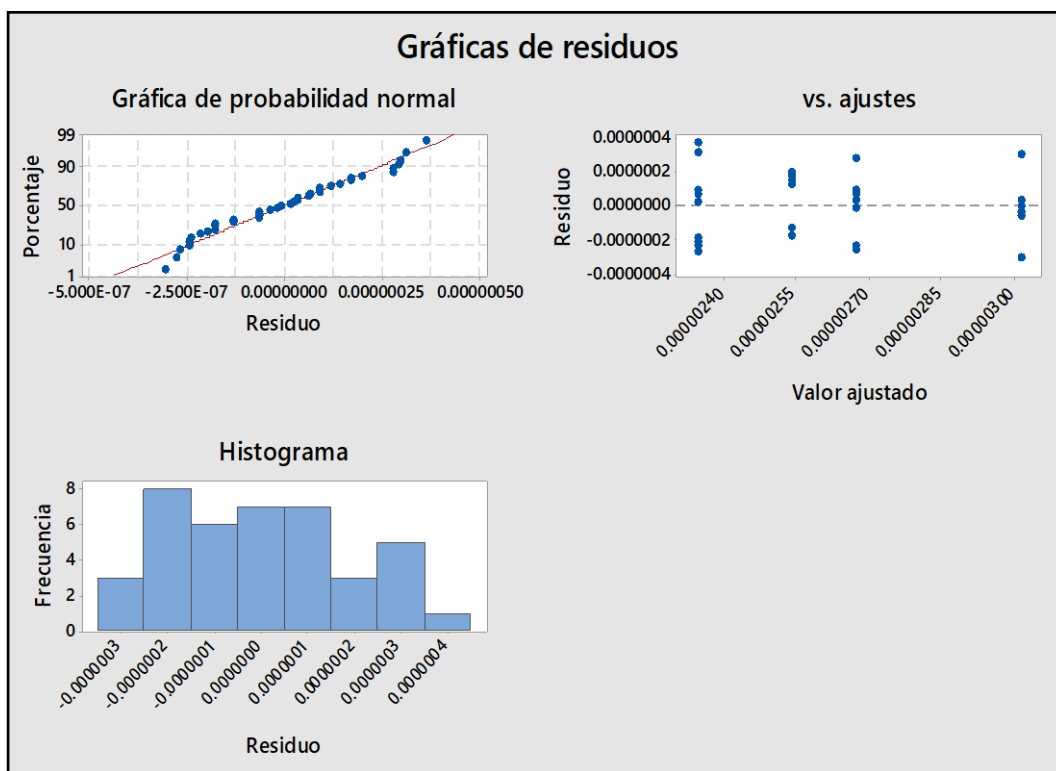
**Figura 42: Gráfica ICs simultáneos de 95% de Tukey de permeabilidad.**

La Figura 42 muestra los intervalos de permeabilidad de cada tratamiento. Así mismo, la línea vertical verde punteada nos confirmó lo obtenido en las pruebas de ANOVA y Tukey, es decir, que los tratamientos difirieron estadísticamente pues no atraviesa a todos los tratamientos, con excepción de los tratamientos con 3% TiO<sub>2</sub> - 90% A.E. y 3% TiO<sub>2</sub> - 85% A.E.



**Figura 43: Gráfica de caja de permeabilidad**

La Figura 43 indica que la permeabilidad varió entre los distintos tratamientos, lo que resulta coherente con la Figura 41 de valores individuales. Los gráficos de caja indicaron la presencia de un valor atípico (señalado con \*) que corresponden a un valor de permeabilidad con muy bajo valor en el tratamiento con 0% de TiO<sub>2</sub> y 100% A.E.



**Figura 44: Gráficas de residuos para los diferentes tratamientos de mortero de permeabilidad.**

El gráfico de probabilidad normal no detectó irregularidades. 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, aunque sí un valor atípico. Los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a cero.

El tratamiento con 3% de TiO<sub>2</sub> con R4 (21.21% > 20%) y R26 (51.70% > 50%), es el tratamiento óptimo ya que contiene el menor porcentaje de dióxido de titanio y cumple con los requerimientos solicitados. En la absorción, el porcentaje con mejores resultados para el mortero fotocatalítico fue el tratamiento que está entre el que tiene 3% TiO<sub>2</sub> - 100% A.E. (13.82%) y el de 3% TiO<sub>2</sub> - 90% A.E. (13.05%). En la resistencia a la

compresión al disminuir el agua efectiva, la resistencia a la compresión aumentó, inclusive la resistencia del mortero con 3%TiO<sub>2</sub> - 85% A. E. es mayor a la resistencia a la compresión que se obtuvo en el tratamiento patrón (109.17 kg/cm<sup>2</sup>). Por lo que se deduce que el tratamiento con mejores resultados fue el tratamiento de 3% TiO<sub>2</sub> - 85% A. E. (f'c=116.19 kg/cm<sup>2</sup>). Al elegir un tratamiento óptimo, se analizó las tres propiedades en conjunto; en la absorción no pudo ser elegido el valor de 3% TiO<sub>2</sub> - 100% A. E. ya que se veía afectada notablemente la resistencia a la compresión, no se tomó el valor de 3% TiO<sub>2</sub> - 85% A. E. ya que si bien es cierto en caso de la resistencia a la compresión y la permeabilidad tuvieron los mejores valores, se vio afectada la absorción, que tiene que estar en el rango de 3% TiO<sub>2</sub> - 100% A.E. y el de 3% TiO<sub>2</sub> - 90% A. E. para que la propiedad autolimpiable tenga un buen funcionamiento. El tratamiento de 3% TiO<sub>2</sub> - 90% A. E. fue considerado el tratamiento con mejores resultados por mostrar un equilibrio entre las 3 propiedades evaluadas. El análisis del estudio nos brindó que los resultados respecto a la resistencia a la compresión no son los más altos, pero no existe mucha diferencia con respecto al tratamiento patrón, además cumple con tener una resistencia mayor a los 100kg/cm<sup>2</sup>. Con respecto a la absorción cumple con ser un valor óptimo para que la propiedad autolimpiable tenga un buen funcionamiento. Y con respecto a la permeabilidad, que es la propiedad fundamental para un mortero de revestimiento, también cumple con ser un tratamiento óptimo ya que pertenecen al mismo grupo estadístico con el tratamiento de 3% TiO<sub>2</sub> - 85% A.E.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

1. La hipótesis se validó parcialmente, al utilizar el 3% de TiO<sub>2</sub> la propiedad autolimpiable fue optimizada, y el valor óptimo de agua fue el 90%.
2. La prueba de Rodamina dio como resultado que el único tratamiento que no fue autolimpiable fue el tratamiento sin TiO<sub>2</sub> debido a que no cumplió con R4 (6.10% < 20%) y R26 (19.67% < 50%), estipulado en la norma UNI 11259; contrastando con el resto de tratamiento que si fueron autolimpiables. El tratamiento con 3% de TiO<sub>2</sub> con R4 (21.21% > 20%) y R26 (51.70% > 50%), es el tratamiento óptimo ya que contiene el menor porcentaje de dióxido de titanio y cumple con los requerimientos solicitados.
3. En la absorción, el porcentaje con mejores resultados para el mortero fotocatalítico fue el que estuvo entre el 3% TiO<sub>2</sub> - 100% A.E. (13.82%) y el de 3% TiO<sub>2</sub> - 90% A.E. (13.05%). Ecuación:  $y = -0.8508x + 15.624$ ,  $R^2 = 0.9949$ .
4. En la resistencia a la compresión al disminuir el agua efectiva (A.E.), la resistencia la compresión aumentó, inclusive la resistencia del mortero con 3%TiO<sub>2</sub> - 85% A.E. es mayor a la resistencia a la compresión que se obtuvo en el tratamiento patrón ( $f'c=109.17 \text{ kg/cm}^2$ ). Por lo que el tratamiento con mejores resultados fue el tratamiento de 3% TiO<sub>2</sub> - 85% A.E. ( $f'c=116.19 \text{ kg/cm}^2$ ). Ecuación:  $y = -4.9611x^3 + 46.339x^2 + 125.17x + 192.96$ ,  $R^2 = 1$
5. En la permeabilidad el porcentaje óptimo estuvo entre los valores de 3% TiO<sub>2</sub> - 90% A.E. ( $2.539 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ) y el de 3% TiO<sub>2</sub> - 85% A.E. ( $2.345 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ), lo que corroboró el análisis estadístico, ya que fueron significativamente similares entre sí. Ecuación:  $y = -5 * 10^{-7} \ln(x) + 310^{-6}$ ,  $R^2 = 0.9909$
6. Se concluyó que el tratamiento de 3% TiO<sub>2</sub> - 90% A. E. fue el óptimo con respecto al tratamiento sin TiO<sub>2</sub> (tratamiento patrón), por mostrar un equilibrio entre las 3

propiedades evaluadas. El análisis del estudio nos brindó que los resultados respecto a la resistencia a la compresión no son los más altos, pero no existe mucha diferencia con respecto al tratamiento patrón, además cumple con tener una resistencia mayor a los  $100\text{kg/cm}^2$ . Con respecto a la absorción cumple con ser un valor óptimo para que la propiedad autolimpiable tenga un buen funcionamiento. Y con respecto a la permeabilidad, que es la propiedad fundamental para un mortero de revestimiento, también cumple con ser el mejor tratamiento ya que pertenecen al mismo grupo estadístico con el tratamiento de 3%  $\text{TiO}_2$  - 85% A.E., es decir, muestran un buen desempeño.

## **6.2. Recomendaciones**

1. Realizar una prueba autolimpiable a escala real, contaminando las probetas con  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  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.
2. Realizar un estudio de morteros con otros fotocatalizadores como el Fe-  $\text{TiO}_2$  y el grafeno a fin de comparar los resultados obtenidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adán (2008). Tesis: *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.
- Aguilar (2013). Tesis: *Evaluación técnico ambiental del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en los morteros de cemento chilenos*. Chile.
- Arenas (2012). Tesis: *El impacto ambiental en la edificación: Criterios para una construcción sostenible*. España.
- ASTMC144-04. (s.f.). Título: *Especificación Normalizada para Agregados para Morteros de Albañilería*.
- Berdahl (2008). Tesis: *Evaluación del dióxido de titanio como fotocatalizador para eliminar contaminantes del aire*. California.
- Cárdenas (2012). Tesis: *Evaluación de las propiedades físicas y fotocatalíticas de cemento adicionado con nanopartículas de dióxido de titanio*. Colombia.
- Casanovas (2009). Título: *La construcción sostenible. Una mirada estratégica*. Barcelona.
- CEMEX (2018). Título: *Fotocatálisis: La opción descontaminante en materiales de construcción*. México.
- Chiguay (2007). Título: *Análisis razón agua/cemento con mortero de cemento blanco*. Chile.
- CONAMA (2015). Título: *Congreso Nacional del Medio Ambiente*. España.
- CORDIS (2007). Título: *Comisión Europea*. Europa.
- De La Sotta (2010). Tesis: *Análisis comparativo entre mortero de junta para albañilería en obra y mortero premezclado húmedo para albañilería*. Valdivia - Chile.
- Elkoro (2013). Tesis: *Optimización de la aplicación de nanopartículas fotocatalíticas en mortero*. Barcelona-España.
- EPA (2017). Título: *U.S. Environmental Protection Agency*. Estados Unidos.
- Folli (2010). Tesis: *TiO<sub>2</sub> Fotocatálisis en sistemas de cemento Portland: Fundamentos del efecto de autolimpieza y aire, mitigación de la contaminación*. Italia.
- FYM Italcementi Group. (2012). Título: *Cementos Fotocatalíticos. TX Active, 2-16*.

- Guerrero (2008). Tesis: *Análisis de mezclas para mortero de enlucido utilizando arena cuarcífera de la formación Hollin*. Ecuador.
- Jimenez (2016). Tesis: *Efecto del reemplazo de cemento Portland por el dióxido de titanio en las propiedades mecánicas del mortero*. Colombia.
- Lisbona (2016). Tesis: *Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción*. Catalunya-Barcelona.
- Martínez (2019). Tesis: *Efecto del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en el comportamiento del mortero de cemento Portland tipo I para fachadas – Lima Metropolitana (2018)*. Perú
- Melo (1991). Tesis: *Puesta a punto de Método de medición de la permeabilidad del concreto*. Perú.
- Meza (2004). Tesis: *Estudio de mortero de mediana a baja resistencia de cemento, con adición de cal aérea*. Perú
- Molina (2006). Tesis: *Evaluación de morteros para albañilería y revestimiento elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno*. Guatemala.
- Navarrete (2006). Título: *Caracterización del cemento blanco*. Chile.
- Nevárez (2017). Título: *Fotocatálisis: inicio, actualidad y perspectivas a través del TiO<sub>2</sub>*. Ecuador.
- Nonami (2004). Título: *Fotocalizador de dióxido de titanio revestido de apatita para la purificación del aire*.
- Ramírez (2013). Tesis: *Diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor tubular fotocatalítico (UV-A) para la degradación de desechos químicos orgánicos*. Colombia.
- Rivera (2015). Título: *Tecnología del concreto y mortero*. Colombia.
- Rodríguez (2012). Tesis: *Morteros fotocatalíticos: Análisis de su autolimpieza en función al tipo de cemento y rugosidad superficial*. Madrid.
- Sabá (2006). Tesis: *Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico - mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería*. México.
- Simba (2007). Título: *La impermeabilización en construcciones nuevas y resistentes*. Ecuador.
- Siñeriz (2015). Tesis: *Aplicaciones arquitectónicas de los nanomateriales en base de titanio envolventes fotocatalíticas*. Madrid.
- Vásquez (2016). Tesis: *Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en la propiedad autolimpiable del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$* . Perú.

Wang (2007). Título: *Compuestos orgánicos volátiles en ambientes interiores y oxidación fotocatalítica: estado del arte.*



# APÉNDICES

**APÉNDICE I**  
**CÁLCULO Y RESULTADO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL**  
**AGREGADO FINO (ASTM C 136 – NTP 339.128)**

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

Tabla 30

**Análisis granulométrico del agregado fino**

Peso de la muestra = 285.80 gr

MALLA		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
Nº	mm				
3/8"	9.51	1.20	1.20	0.10	99.90
Nº 4	4.76	0.80	2.00	0.10	99.90
Nº 8	2.36	0.50	2.50	0.90	99.10
Nº 16	1.18	10.10	12.60	5.00	95.00
Nº 30	0.60	31.30	43.90	15.30	84.70
Nº 50	0.30	151.90	195.80	65.20	34.80
Nº 100	0.15	76.40	272.20	90.30	9.70
Nº 200	0.07	13.60	285.80	94.70	5.30

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

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

*Módulo fineza AF:*

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

100

*Módulo fineza AF:*

$0.10 + 0.9 + 5.0 + 15.3 + 65.20 + 90.3$

100

*Módulo fineza AF: 1.77*

## APÉNDICE II

### CÁLCULO Y RESULTADO DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

#### A.II.1 Peso específico y absorción del agregado fino

(ASTM C 128 – NTP 400.022)

Tabla 31

#### Peso específico y absorción del agregado fino

(1) Peso de la muestra S.S.S (gr.) D	500.00
(2) Peso del picnómetro (gr.)	149.60
(3) Peso de la muestra S.S.S + Peso del picnómetro (1)+(2) (gr.)	649.60
(4) Peso de la muestra S.S.S. + Peso del picnómetro + Peso del agua (gr.)	955.68
(5) Peso del agua (gr.) (4)-(3) W	306.08
(6) Peso de la tara (gr.)	73.40
(7) Peso de la tara + muestra seca (gr.)	566.70
(8) Peso de la muestra seca (gr.) (7)-(6) A	493.30
(9) Volúmen del picnómetro (cm3) V	500.00
<i>Peso específico de masa <math>A/(V-W)</math></i>	<i>2.544</i>
<i>Peso específico de masa S.S.S. <math>D/(V-W)</math></i>	<i>2.578</i>
<i>Peso específico aparente <math>A/[(V-W)-(D-A)]</math></i>	<i>2.635</i>
<i>Porcentaje de absorción <math>[(D-A)/A]*100</math></i>	<i>1.4</i>

## APÉNDICE III

### CÁLCULO DE LA HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (ASTM D 2216/ D 4643 – NTP 339.127)

#### A.III.1 Contenido de humedad del agregado fino

Tabla 32

#### Contenido de humedad del agregado fino

Peso de la tara (gr)	132.70
Peso de la tara + material húmedo (gr)	968.00
Peso de la tara + material seco (gr)	945.20
Peso del agua (gr)	22.80
Peso de la muestra seca (gr)	812.50
<i>Contenido de humedad (W %)</i>	<i>2.81</i>

**APÉNDICE IV**  
**CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200**  
**DEL AGREGADO FINO (ASTM C 117 – NTP 400.018)**

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

Tabla 33

**Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado fino**

peso seco + tara	389.4
p. seco lavado + tara	373.4
peso de tara	87.6
suelo seco (-N200) g.	16
suelo seco (+N200) g.	285.8
suelo seco (-N200) %	5.3

**APÉNDICE V**  
**CÁLCULO DEL PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO**  
**(ASTM C 29 – NTP 400.017)**

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

Donde:

$W_s$  : Peso neto del agregado

$f$  : Factor

Cálculo del factor f:

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

Donde:

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

Tabla 34

**Determinación del factor f**

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>

**A.V.1 Peso unitario suelto seco del agregado fino**

Tabla 35

**Peso unitario seco suelto 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>
Peso unitario suelto seco	1450.33 Kg/m <sup>3</sup>

**A.V.2 Peso unitario seco compactado del agregado fino**

Tabla 36

**Peso unitario seco compactado 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>
Peso unitario suelto compactado	1570.70 Kg/m <sup>3</sup>

## APÉNDICE VI

### DISEÑO DE MEZCLAS Y AJUSTE DE PROPORCIONES DEL MORTERO 1:5

#### A.VI.1 Selección de las proporciones del mortero 1:5 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:

Tabla 37

#### Propiedades del agregado fino

Agregado Fino de Cerro	Cantera: La Colpa
Peso específico de masa:	2544 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico de masa sss:	2578 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico aparente:	2635 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:	2.81%
Absorción:	1.4 %
Módulo de finura:	1.77
Partículas < Tamiz N°200:	5.30 %

Tabla 38

#### Propiedades del cemento

Cemento	Pastoruri
Tipo:	Tipo I – Blanco
Peso específico:	3120 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 39

**Propiedades del dióxido de titanio**

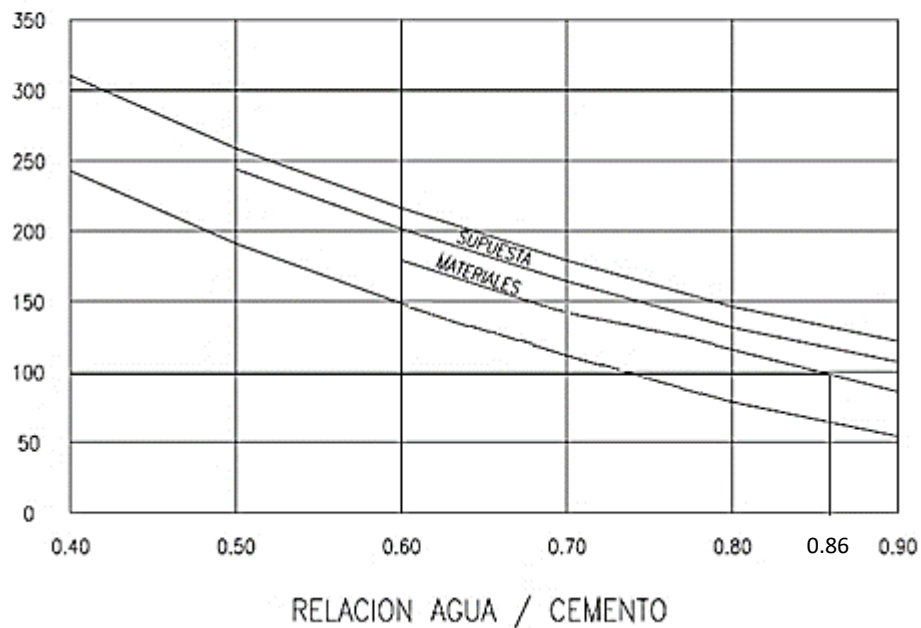
Aditivo	Dióxido De Titanio
Tipo:	Fotocatalizador
Peso específico:	4000 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 40

**F'c por tipo de mortero**

Tipo de mortero	Proporción en Volumen		Cemento kg/cm <sup>3</sup>	Uso	f'c kg/cm <sup>2</sup>
	Cemento	Arena			
RICOS	1	1	800	Bruñidos y revoques impermeables.	160
	1	2	600	Enlucidos, revoque de zócalo, corrido de comisas.	
	1	3	450	Bóvedas tabicadas, muros muy cargados, enlucidos en pavimento, enfoscados.	
ORDINARIOS	1	4	380	Bóvedas de escalera, Tabiques de rasilla.	130
	1	5	300	Muros cargados, fábrica de ladrillos, enfoscados.	98
POBRES	1	6	250	Fábricas cargadas.	75
	1	8	200	Muros sin carga.	50
	1	10	170	Rellenos para solado.	30

MORTERO  
RESISTENCIA A LA COMPRESION vs A/C  
RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm<sup>2</sup>)



R a/c = 0.86

**Figura 45: Relación agua cemento para morteros C: A**

**A.VI.2 Proporción en volumen 1:5 / A/C = 0.86 Peso (Diseño)**

- Cemento = 1 pie<sup>3</sup> = 42.5 Kg
- Arena = 5 pies<sup>3</sup>  

$$\text{Arena} = 5 \text{ pies}^3 \times \left( \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pies}^3} \right) \times \text{Peso Unitario Suelto Seco}$$

$$\text{Arena} = 5 \text{ pies}^3 \times \left( \frac{1 \text{ m}^3}{35.315 \text{ pies}^3} \right) \times 1450.33 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Arena} = 205.34 \text{ Kg}$$
- Agua = 42.5 x 0.86 = 36.55 litros
- Aire atrapado = 2.5 %



### A.VI.3 Rendimiento de mezcla.

- $$\text{Cemento} = \frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso específico del cemento}}$$
$$\text{Cemento} = \frac{42.5 \text{ Kg}}{3120 \text{ kg/m}^3} = 0.013622 \text{ m}^3$$
- $$\text{Arena} = \frac{\text{Peso arena}}{\text{Peso específico de la arena}}$$
$$\text{Arena} = \frac{205.34 \text{ Kg}}{2635 \text{ Kg/m}^3} = 0.077929 \text{ m}^3$$
- $$\text{Agua} = \frac{\text{Peso cemento x relación a/c}}{\text{Peso específico del agua}}$$
$$\text{Agua} = \frac{42.5 \text{ Kg} \times 0.86}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 0.036550 \text{ m}^3$$
- $$\text{Cemento} = 0.013622 \text{ m}^3$$
$$\text{Arena} = 0.077929 \text{ m}^3$$
$$\text{Agua} = 0.036550 \text{ m}^3$$
$$\text{Subtotal} = 0.128100 \text{ m}^3$$
$$\text{Aire} = 0.003203 \text{ m}^3 \text{ (2.5\% del subtotal)}$$
$$\text{Total} = 0.131303 \text{ m}^3 \text{ (Total Rendimiento)}$$

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

- $$\text{Cemento (bolsa)} = \frac{1}{\text{Total Rendimiento}} = \frac{1}{0.131303} = 7.616 \text{ bolsas}$$
$$\text{Cemento (Kg)} = 42.5 \times 7.616 = 323.679 \text{ Kilos}$$
- $$\text{Arena (Kg)} = \text{Cemento(bolsas)} \times \text{Peso Arena}$$
$$\text{Arena (Kg)} = 7.616 \times 0.077929 \times 2635 = 1563.879 \text{ Kilos}$$
- $$\text{Agua (litros)} = \text{Cemento(Kg)} \times \text{Relación agua/cemento}$$
$$\text{Agua (litros)} = 323.679 \times 0.86 = 289.543 \text{ litros}$$
- $$\text{Aire atrapado} = 2.5 \%$$

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

- $$\text{Arena H (Kg)} = \text{Arena seca} \times \left(1 + \frac{W\%}{100}\right)$$
- $$\text{Arena H (Kg)} = 1563.879 \times \left(1 + \frac{2.8}{100}\right) = 1607.67 \text{ Kg}$$

- Agua Efectiva = Agua(litros) -  $\frac{(W\% - Abs\%)}{100}$  x Arena (Kg)  
 Agua Efectiva = 289.543 -  $\frac{(2.8 - 1.4)}{100}$  x 1563.879 = 256.47 litros

**A.VI.6 Materiales por tanda - Vt = 0.0013 m<sup>3</sup> (10 especímenes de 5 x 5 x 5 cm)**

- Cemento = Volumen tanda x Cemento(Kg) = 0.0013 x 323.679 = 0.421 Kg
- Arena(Kg) = Volumen tanda x Arena (Kg) = 0.0013 x 1607.67 = 2.033 Kg
- Agua = Volumen tanda x Agua Efectiva = 0.0013 x 256.47 = 0.333 litros

**A.VI.7 Proporciones en volumen y peso.**

Tabla 41

**Proporciones en volumen y peso**

Material	Proporción en Volumen	Proporción en Peso
Cemento	1 m <sup>3</sup>	1 Kg
Arena	5 m <sup>3</sup>	4.97 Kg
Agua E.	36.55 lt/bolsa	36.55 lt/bolsa

**AJUSTE DE MEZCLA**

**A.VI.8 Datos de Laboratorio**

- Agua adicional = 0.22 lts
- Peso unitario del mortero fresco =  $\frac{\text{Peso del mortero fresco}}{\text{volumen espécimen}} = 2433.0389 \text{Kg/m}^3$

Peso de la colada:

- Cemento = 0.421 Kg
- Arena(Kg) = 2.033 Kg
- Agua = 0.553 litros
- Peso de la colada = 3.01 kg

$$\text{Rendimiento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso de la colada}}{\text{Peso unitario del mortero fresco}} = 0.001237136$$

### A.VI.9 Agua de mezclado

- Humedad superficial de la Arena (%) =  $\frac{(w\% - Abs\%)}{100}$   
Humedad superficial de la Arena (%) =  $\frac{(2.8 - 1.4)}{100}$   
Humedad superficial de la Arena = 1.4 %
- Aporte de humedad de la arena =  $\frac{\text{Humedad superficial} \times \text{Volumen por tanda} \times \text{Arena}}{100}$   
Aporte de humedad de la arena =  $\frac{1.4 \times 0.0013 \times 1563.879}{100}$   
Aporte de humedad de la arena = 0.029 litros
- Agua añadida = Agua adicional + agua efectiva  
Agua añadida = 0.22 + 0.333 = 0.553 litros
- Agua de mezcla por tanda = Aporte de humedad arena + agua añadida  
Agua de mezcla por tanda = 0.029 + 0.553 = 0.582 litros
- Agua de mezcla por m3 =  $\frac{\text{Agua de mezcla por tanda}}{\text{Rendimiento}}$
- Agua de mezcla por m3 =  $\frac{0.582}{0.001237136} = 470.34$  litros

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

- Colada  
Cemento =  $\frac{\text{Peso del cemento} \times \text{tanda}}{\text{Peso específico del cemento}} = \frac{323.679 \times 0.0013}{3120} = 0.000135\text{m}^3$   
Agua =  $\frac{\text{Agua de mezcla por tanda}}{1000} = \frac{0.582}{1000} = 0.000582 \text{ m}^3$   
Arena =  $\frac{\text{Peso de la arena} \times \text{tanda}}{\text{Peso específico de la arena}} = \frac{1563.879 \times 0.0013}{2635} = 0.000772\text{m}^3$   
Aire = 2.5% Subtotal =  $0.025 \times 0.001488 = 0.000037 \text{ m}^3$   
Total Colada = 0.001526 m3

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

- Cemento = 323.679 Kg
- Arena =  $\frac{\text{Arena húmeda} \times (100 + \text{Humedad})}{100} = \frac{1607.67 \times (100 + 2.8)}{100} = 1652.683 \text{ Kg}$
- Agua Efectiva = Agua de mezcla  $- \frac{(\text{Humedad superficial de la arena})}{100} \times \text{Arena}$   
Agua Efectiva =  $470.34 - \frac{(1.4)}{100} \times 1607.67 = 447.832 \text{ litros}$

### A.VI.12 Materiales por tanda (0.0013 m<sup>3</sup> = 10 especímenes)

- Cemento = 3723.679Kg x 0.0013 = 0.421 Kg
- Arena = 1652.683 Kg x 0.0013 = 2.148 Kg
- Agua Efectiva = 447.832 litros x 0.0013 = 0.582 litros

Tabla 42

### Proporciones en volumen y peso ajustados

Material	Proporción en Volumen	Proporción en Peso
Cemento	1	1
Arena	5	5.11
Agua E	58.80 lt/bolsa	58.80 lt/bolsa

## APÉNDICE VII

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE RODAMINA (UNI 11259)

#### A.VII.1. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 0 horas.

Tabla 43

##### Coloración medida a las 0 horas (t=0h).

Espécimen	0% TiO <sub>2</sub>	3% TiO <sub>2</sub>	4% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>
R-01	18.20	18.20	18.20	18.20
R-02	18.20	18.20	18.20	18.20
R-03	18.20	18.20	18.20	18.20
R-04	18.20	18.20	18.20	18.20
R-05	18.20	18.20	18.20	18.20
R-06	18.20	18.20	18.20	18.20
R-07	18.20	18.20	18.20	18.20
R-08	18.20	18.20	18.20	18.20
Promedio	18.20	18.20	18.20	18.20

#### A.VII.2. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a 1 hora (t=1h).

Tabla 44

##### Coloración medida a 1 hora (t=1h).

Espécimen	0% TiO <sub>2</sub>	3% TiO <sub>2</sub>	4% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>
R-09	17.80	16.55	16.20	15.82
R-10	17.75	16.61	16.12	15.71
R-11	17.63	16.48	16.15	15.86
R-12	17.68	16.40	16.05	15.75
R-13	17.79	16.59	16.01	15.77
R-14	17.78	16.49	16.00	15.72
R-15	17.65	16.55	16.14	15.82
R-16	17.70	16.43	15.99	15.74
Promedio	17.72	16.51	16.08	15.77

**A.VII.3. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 2 horas**

Tabla 45

**Coloración medida a las 2 horas (t=2h)**

2 HORAS				
Espécimen	0% TiO <sub>2</sub>	3% TiO <sub>2</sub>	4% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>
R-17	17.43	15.61	15.32	14.81
R-18	17.37	15.83	15.25	14.85
R-19	17.35	15.68	15.11	15.01
R-20	17.45	15.69	15.17	15.02
R-21	17.30	15.77	15.18	14.92
R-22	17.38	15.73	15.28	14.93
R-23	17.44	15.70	15.22	14.88
R-24	17.35	15.74	15.16	14.81
Promedio	17.38	15.72	15.21	14.90

**A.VII.4. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 4 horas.**

Tabla 46

**Coloración medida a las 4 horas (t=4h)**

4 HORAS				
Espécimen	0% TiO <sub>2</sub>	3% TiO <sub>2</sub>	4% TiO <sub>2</sub>	5% TiO <sub>2</sub>
R-25	17.21	14.41	13.33	12.55
R-26	17.01	14.39	13.34	12.61
R-27	17.14	14.28	13.39	12.57
R-28	17.07	14.29	13.57	12.68
R-29	16.99	14.30	13.51	12.69
R-30	17.15	14.33	13.48	12.53
R-31	17.04	14.40	13.49	12.58
R-32	17.08	14.29	13.47	12.64
Promedio	17.09	14.34	13.45	12.61

**A.VII.5. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 5 horas.**

Tabla 47

**Coloración medida a las 5 horas (t=5h)**

5 HORAS				
Espécimen	0% TiO2	3% TiO2	4% TiO2	5% TiO2
R-33	16.91	13.55	12.31	11.38
R-34	16.81	13.61	12.32	11.62
R-35	16.78	13.57	12.41	11.55
R-36	16.77	13.68	12.37	11.53
R-37	16.74	13.66	12.47	11.42
R-38	16.90	13.57	12.54	11.47
R-39	16.85	13.63	12.53	11.59
R-40	16.80	13.62	12.40	11.59
Promedio	16.82	13.61	12.42	11.52

**A.VII.6. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares medido a las 10 horas.**

Tabla 48

**Coloración medida a las 10 horas (t=10h)**

10 HORAS				
Espécimen	0% TiO2	3% TiO2	4% TiO2	5% TiO2
R-41	16.30	11.74	10.00	9.28
R-42	16.33	11.70	10.08	9.24
R-43	16.25	11.84	9.91	9.21
R-44	16.24	11.84	9.98	9.33
R-45	16.43	11.82	9.89	9.21
R-46	16.40	11.77	9.95	9.25
R-47	16.23	11.79	10.05	9.27
R-48	16.28	11.76	10.02	9.22
Promedio	16.31	11.78	9.99	9.25

**A.VII.7. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 20 horas.**

Tabla 49

**Coloración medida a las 20 horas (t=20h)**

20 HORAS				
Espécimen	0% TiO2	3% TiO2	4% TiO2	5% TiO2
R-49	15.22	9.81	7.92	7.15
R-50	15.31	9.71	7.88	7.05
R-51	15.33	9.74	7.81	7.01
R-52	15.39	9.70	7.91	6.97
R-53	15.38	9.68	7.88	7.00
R-54	15.25	9.79	7.94	7.14
R-55	15.34	9.80	7.80	7.04
R-56	15.40	9.74	7.95	6.94
Promedio	15.33	9.75	7.89	7.04

**A.VII.8. Rodamina en especímenes prismáticos rectangulares, coloración medida a las 26 horas.**

Tabla 50

**Coloración medida a las 26 horas (t=26h)**

26 HORAS				
Espécimen	0% TiO2	3% TiO2	4% TiO2	5% TiO2
R-49	14.63	8.68	7.31	6.21
R-50	14.69	8.80	7.34	6.29
R-51	14.58	8.78	7.41	6.35
R-52	14.55	8.69	7.44	6.27
R-53	14.67	8.91	7.40	6.40
R-54	14.64	8.88	7.36	6.37
R-55	14.66	8.75	7.32	6.38
R-56	14.51	8.81	7.33	6.41
Promedio	14.62	8.79	7.36	6.34



## APÉNDICE VIII

### RESULTADOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA ABSORCIÓN EN ESPECÍMENES PRISMÁTICOS RECTANGULARES DE MORTERO CEMENTO ARENA 1:5

Tabla 51

**Absorción de los tratamientos en estudio para la optimización del mortero con 3%  
TiO<sub>2</sub>**

Especímen	M° sin TiO <sub>2</sub>	M° con 3% TiO <sub>2</sub>	M° con 3% TiO <sub>2</sub>	M° con 3% TiO <sub>2</sub>
	- 100% A. E.	- 100% A. E.	- 90% A. E.	- 85% A. E.
A- 01	14.82	13.65	13.10	12.41
A- 02	14.85	14.00	13.01	12.18
A- 03	14.82	13.78	12.97	12.25
A- 04	14.90	13.87	13.15	12.37
A- 05	14.77	13.89	13.08	12.24
A- 06	14.88	13.69	13.20	12.19
A- 07	14.81	13.71	12.94	12.40
A- 08	14.92	13.95	12.97	12.12
A- 09	14.89	13.85	13.00	12.28
A- 10	14.81	13.80	13.12	12.22
Promedio	14.85	13.82	13.05	12.27

## APÉNDICE IX

### RESULTADOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES PRISMÁTICOS RECTANGULARES DE MORTERO CEMENTO ARENA 1:5 A LA EDAD DE 28 DIAS

Tabla 52

**Resistencia a la compresión a la edad de 28 días de los tratamientos en estudio para la optimización del mortero con 3%TiO<sub>2</sub>.**

Especimen	M° sin TiO <sub>2</sub> - 100% agua efectiva	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 100% agua efectiva	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 90% agua efectiva	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 85% agua efectiva
A- 01	101.43	88.06	98.35	115.89
A- 02	110.34	93.66	100.20	121.14
A- 03	111.90	82.02	104.27	117.36
A- 04	115.22	95.24	105.82	116.20
A- 05	104.25	84.33	99.12	109.26
A- 06	117.24	87.28	95.72	107.48
A- 07	105.75	83.97	96.24	122.22
A- 08	107.24	91.80	106.12	119.98
A- 09	108.90	86.40	100.90	117.20
A- 10	109.40	90.10	100.55	115.20
Promedio	109.17	88.29	100.73	116.19

## APÉNDICE X

### RESULTADOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN ESPECÍMENES PRISMÁTICOS RECTANGULARES DE MORTERO CEMENTO ARENA 1:5

Tabla 53

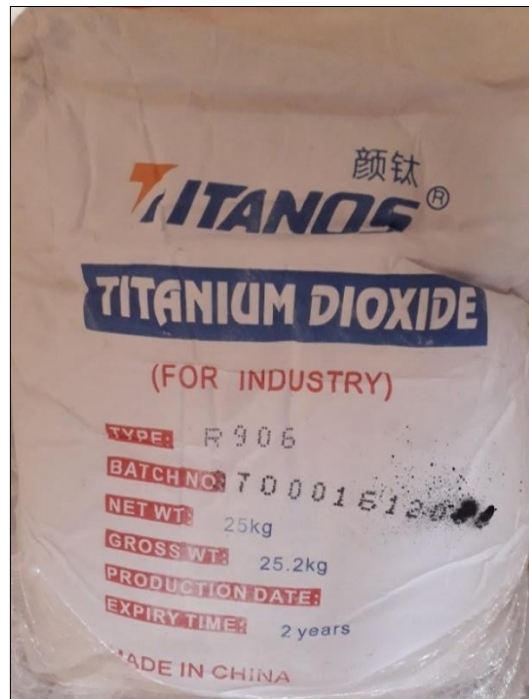
**Permeabilidad de los diferentes tratamientos en estudio para la optimización del mortero con 3%TiO<sub>2</sub>**

Espécimen	M° sin TiO <sub>2</sub> - 100% agua efectiva	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 100% agua efectiva	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 90% agua efectiva	M° con 3% TiO <sub>2</sub> - 85% agua efectiva
A- 01	2.980E-06	2.951E-06	2.682E-06	2.656E-06
A- 02	2.709E-06	2.432E-06	2.408E-06	2.432E-06
A- 03	3.009E-06	2.763E-06	2.708E-06	2.149E-06
A- 04	2.951E-06	2.708E-06	2.361E-06	2.708E-06
A- 05	3.040E-06	2.656E-06	2.736E-06	2.361E-06
A- 06	2.951E-06	2.432E-06	2.361E-06	2.432E-06
A- 07	2.951E-06	2.951E-06	2.361E-06	2.066E-06
A- 08	3.311E-06	2.736E-06	2.709E-06	2.128E-06
A- 09	3.310E-06	2.408E-06	2.407E-06	2.408E-06
A- 10	2.951E-06	2.708E-06	2.656E-06	2.106E-06
Promedio (cm/s)	3.017E-06	2.675E-06	2.539E-06	2.345E-06

XI  
PANEL FOTOGRÁFICO



**Figura 46:** Cemento Blanco Pastoruri Portland Tipo I



**Figura 47:** Dióxido de Titanio



**Figura 48:** Rodamina B



**Figura 49:** Moldes para probetas prismáticas cuadradas de mortero



**Figura 50:** Moldes para probetas de mortero – prop. autolimpiable



**Figura 51:** Peso del molde para peso unitario suelto seco y compactado del agregado fino



**Figura 52:** Muflas



**Figura 53:** Tamices normalizados para granulometría del agregado fino



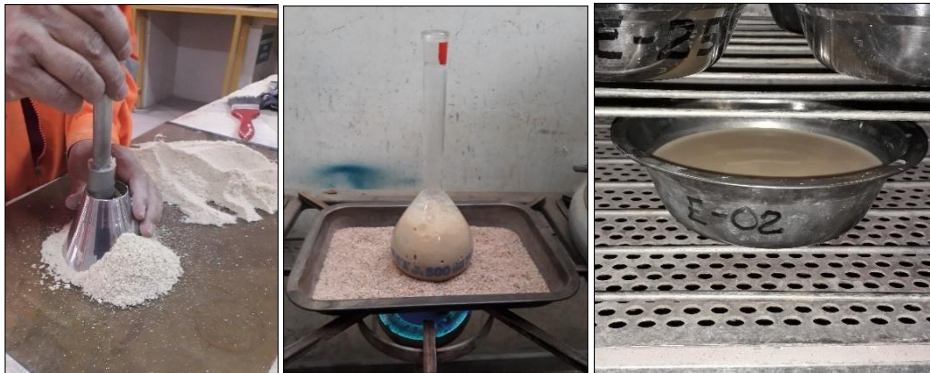
**Figura 54:** Cuarteo del agregado fino



**Figura 55:** Granulometría con tamices normalizados



**Figura 56:** Lavado de finos



**Figura 57:** Determinación de peso específico y absorción del agregado fino



**Figura 58:** Probetas sin desencofrar para permeabilidad y prop. autolimpiable



**Figura 59:** Probetas de mortero para propiedad autolimpiable



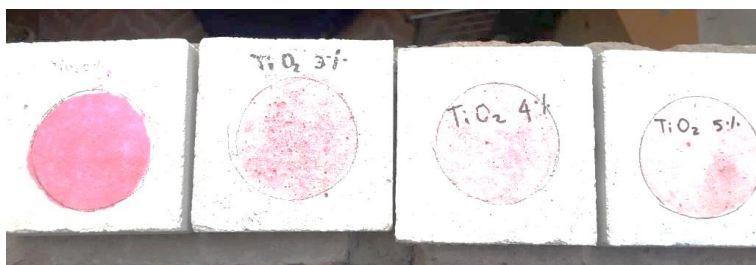
**Figura 60:** Especímenes de mortero con diferentes porcentajes de  $\text{TiO}_2$  con Rodamina B



**Figura 61:** Especímenes de mortero con 0%,3%,4% y 5% de  $\text{TiO}_2$  con Rodamina B expuestas a rayos UV,  $t = 0$  horas



**Figura 62:** Especímenes de mortero con 0%,3%,4% y 5% de  $\text{TiO}_2$  con Rodamina B expuestas a rayos UV,  $t = 4$  horas



**Figura 63:** Especímenes de mortero con 0%, 3%,4% y 5% de  $\text{TiO}_2$  con Rodamina B expuestas a rayos UV,  $t = 26$  horas



**Figura 64:** Probetas con 0%TiO2 para resistencia a la compresión



**Figura 65:** Probetas con 3% TiO2 para absorción



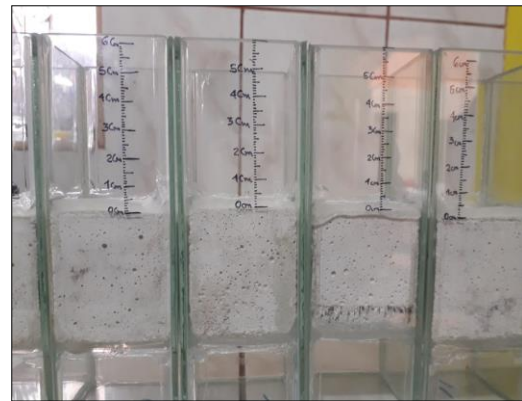
**Figura 66:** Curado de probetas de mortero



**Figura 67:** Peso de la canastilla sumergida para la absorción

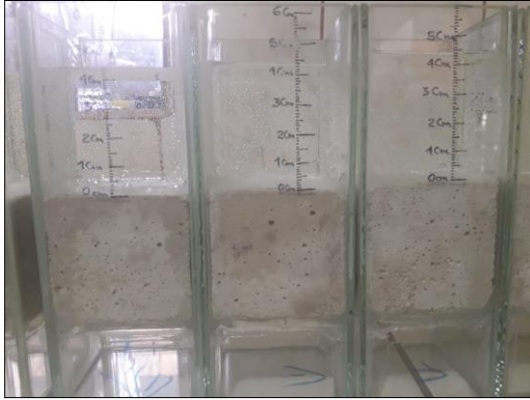


**Figura 68:** Peso de la probeta seca al horno



**Figura 69:** Probetas para permeabilidad.





**Figura 70:** Probetas a 12 horas de ser ensayadas a permeabilidad.



**Figura 71:** Máquina de compresión uniaxial.



**Figura 72:** Probeta para resistencia a la compresión en la máquina uniaxial.



**Figura 73:** Rotura de probeta ensayada a resistencia a la compresión.

# 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**

Propriedade	R-706	R-700	R-900	R-902	R-960
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 específica	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 DE QUÍMICA Y TÉCNICA(O) DE RODAMINA B**

**CHINA TIANJIN TIANSHUN CHEMICAL DYESTUFF CO., LTD.  
XIANSHUIGU TOWN, JINNAN DIST. TIANJIN, CHINA**

**CERTIFICATE CHEMISTRY AND TECHNIC (COA)**

COPY

ITEM	INDEX	RESULT
NAME OF GOODS	BASIC VIOLET 10 500 0/0	BASIC VIOLET 10 500 0/0
LOT NO.	20070317	20070317
QUANT.	500KG	500KG
S/C NO.	TS07005	TS07005
L/C NO.	258010202442	258010202442
TEST DATE:	MAR,30,2007	MAR,30,2007
APPEARANCE	VIOLET EVEN POWDER	VIOLET EVEN POWDER
STRENGTH	500 0/0+ 3 0/0	500 0/0
SHADE	SIMILAR – SLIGHT	SIMILAR TO STANDARD
WATER INSOLUBLE MATTER	N/A	N/A
MOISTURE	< 1%	0.17%
FINENESS (80UM)	N/A	N/A
SOLUBILITY	N/A	N/A
PH VALUE	N/A	N/A

Manufactured: 16/Sep/2018

Date Vec: 16/Sep/2025

中国天津天顺化工染料有限公司  
 CHINA TIANJIN TIANSHUN CHEMICAL  
 DYESTUFF CO., LTD.

*Handwritten signature*

**ANEXO IV**  
**CERTIFICADO DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS DE MATERIALES**

  
SERVICIOS DE INGENIERÍA S.R.L.  
INGENIERÍA DE PROYECTO Y CONSULTORÍA EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD

**C-G&S-LMS-CE-001/2019**

Cajamarca, 22 de febrero del 2019

**Sres.**  
**Universidad Nacional De Cajamarca**  
Escuela de Postgrado

**Atención:** Escuela de Postgrado  
Maestría en Ciencias – Mención Ingeniería y Gerencia de la Construcción.

**Referencia:** Certificado de Ejecución de Ensayos de Materiales.

De nuestra consideración,

Por la presente informo que la **Ing. Emmy Carol Medina Salazar**, ha realizado los ensayos de materiales para la Tesis “**Optimización de las Propiedades Físico – Mecánicas del Mortero Autolimpiable C:A:A con Dióxido de Titanio**”, en nuestro Laboratorio de Mecánica de Suelos.

Descripción de ensayos:

- Caracterización de agregados (contenido de humedad, granulometría, módulo de fineza, peso específico, absorción, peso unitario, malla 200)
- Propiedades en probetas de mortero (absorción, compresión simple).

Cabe resaltar que nuestra gestión está basada en los requisitos de la Norma ISO 9001.2008, los ensayos se realizaron de acuerdo a los procedimientos de las Normas ASTM y N.T.P.

**Se adjunta:**  
Copia de Registro de Propiedad.

Sin otro particular, quedamos de ustedes.

Atentamente,

  
G&S SERVICIOS DE INGENIERÍA  
Ing. Francisco Gutiérrez Ucañan  
Gerente General  
G&S Servicios de Ingeniería SRL

CC: Jefe de LMS  
Archivo.

---

Teléfono (51-076) 364659 - LMS 076 361436  
Dirección: Jr. Arnaldo Márquez N° 418 – Urb. San. Luis II Etapa - Cajamarca  
E-Mail: gys.administracion@gyscajamarca.com  
WEB: [www.gyscajamarca.com.pe](http://www.gyscajamarca.com.pe)

# Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00063271

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 013442-2010/DSD - INDECOPI de fecha 01 de Setiembre de 2010, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación G&S SERVICIOS DE INGENIERIA S.R.L. y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo adjunto

Distingue : Estudios de mecánica de suelos

Clase : 42 de la Clasificación Internacional.

Solicitud : 0418567-2010

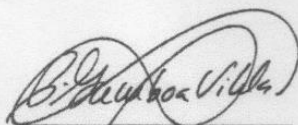
Titular : G&S SERVICIOS DE INGENIERIA S.R.L.

País : Perú

Vigencia : 01 de Setiembre de 2020

Tomo : 317

Folio : 071



PATRICIA GAMBOA VILELA  
Directora  
Dirección de Signos Distintivos  
INDECOPI

