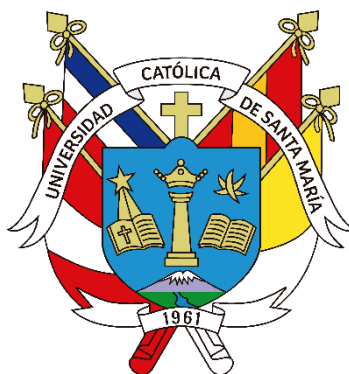


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Evaluación de las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante
del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia f'_c 210
 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 para acabados caravista en la ciudad de Arequipa**

Tesis presentada por el Bachiller:

Zarate Mamani, Jomar Ever

ORCID: 0009-0000-3287-9337

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor (a):

Mg. Torres Almirón, Jennifer Carla

ORCID: 0000-0002-3417-4581

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 03 de Julio del 2025

Dictamen: 011362-C-EPIC-2025

Visto el borrador del expediente 011362, presentado por:

2016201621 - ZARATE MAMANI JOMAR EVER

Titulado:

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CAPACIDAD AUTOLIMPIANTE DEL
CONCRETO FOTOCATALÍTICO CON ADICIÓN DE TiO_2 CON RESISTENCIA F'C 210 KG/CM² Y 280
KG/CM² PARA ACABADOS CARAVISTA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

**46735424 - LOAYZA RODRIGUEZ JOSE GERMAN
DICTAMINADOR**



**46309156 - MONTOYA VILLANUEVA FILIBERTO RODY
DICTAMINADOR**



**46890195 - DE LA CRUZ MENDOZA FERNANDO ARON
DICTAMINADOR**



Evaluación de las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 210 kg/cm² y 280 kg/cm² para acabados caravista en la ciudad de Ar

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

5%

2

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

4%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

4

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

3%

5

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

7

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

1%

DEDICATORIA

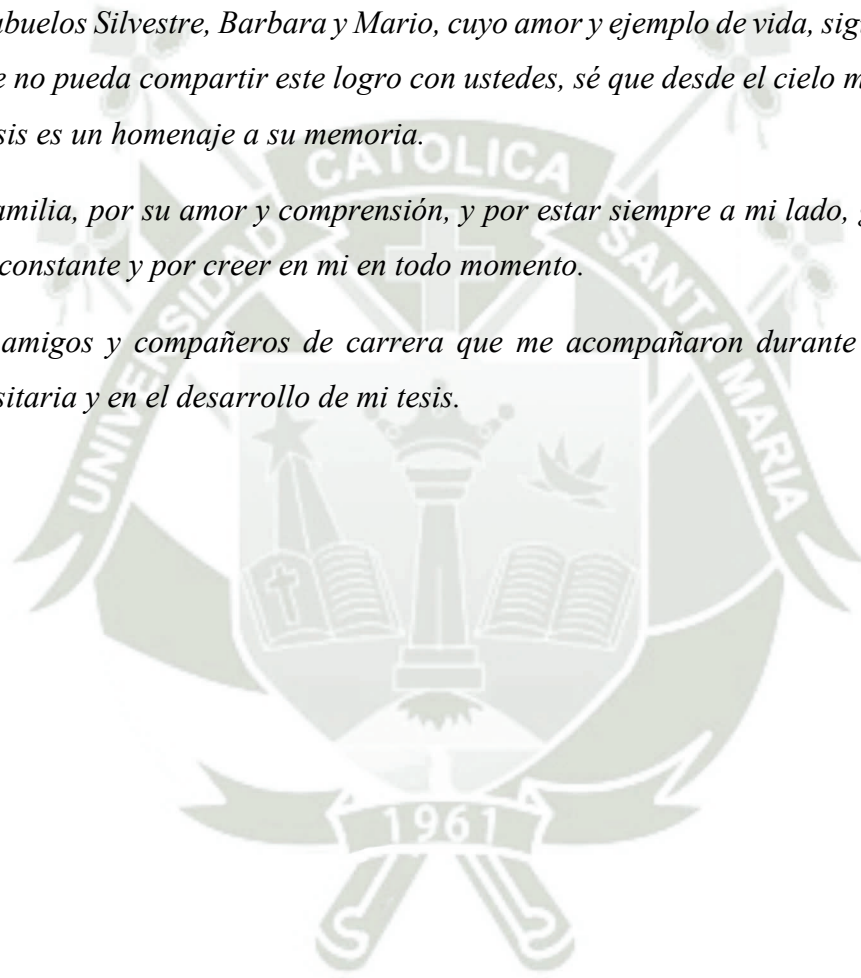
A mi papá Marco Antonio y mi mamá Jovita, por su amor, apoyo incondicional y por enseñarme que las metas que uno se traza en la vida solo se logran con esfuerzo y perseverancia, este logro representa el sacrificio y cariño que siempre me brindan.

A mi querida abuela Norma, por su amor, sabiduría y apoyo incondicional.

A mis abuelos Silvestre, Barbara y Mario, cuyo amor y ejemplo de vida, sigue guiándome, aunque no pueda compartir este logro con ustedes, sé que desde el cielo me acompañan, esta tesis es un homenaje a su memoria.

A mi familia, por su amor y comprensión, y por estar siempre a mi lado, gracias por su apoyo constante y por creer en mí en todo momento.

A mis amigos y compañeros de carrera que me acompañaron durante mi formación universitaria y en el desarrollo de mi tesis.



AGRADECIMIENTOS

A mi asesora y jurados por su tiempo y conocimientos impartidos a lo largo de la elaboración de mi tesis.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional durante todo el proceso.

Al señor Ricardo, por su apoyo incondicional y amistad durante mi estadía en el Laboratorio de Suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María.



RESUMEN

La presente investigación se titula “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CAPACIDAD AUTOLIMPIANTE DEL CONCRETO FOTOCATALÍTICO CON ADICIÓN DE TiO_2 CON RESISTENCIA $f'c$ 210 KG/CM² Y 280 KG/CM² PARA ACABADOS CARAVISTA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA” tiene como objetivo evaluar las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm² y $f'c$ 280 kgf/cm² para acabados caravista en la ciudad de Arequipa, teniendo como metodología un tipo y nivel de investigación descriptiva, teniendo un diseño de la Investigación Experimental, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en probetas curadas a 7, 14 y 28 días, obteniendo resultados que muestran una buena evolución de las propiedades mecánicas, Asimismo, se evaluó la capacidad de autolimpieza del concreto, observando una mejora significativa en la capacidad de degradación de contaminantes, especialmente en las mezclas con mayor adición de TiO_2 . Los resultados indican que la incorporación de TiO_2 no solo mejora la capacidad de autolimpieza del concreto, sino que también mantiene una resistencia mecánica adecuada para su uso en acabados arquitectónicos, como en proyectos de fachada en la ciudad de Arequipa. Se concluye que el concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 es una alternativa viable y sostenible para aplicaciones urbanas, contribuyendo a la mejora de la calidad ambiental y la durabilidad estética de las estructuras en áreas expuestas a altos niveles de contaminación.

Palabras clave: Acabados, Caravista, Concreto, Fotocatálisis, TiO_2

ABSTRACT

This research is titled "EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES AND SELF-CLEANING CAPACITY OF PHOTOCATALYTIC CONCRETE WITH TiO_2 ADDITION WITH f_c 210 KG/CM² AND 280 KG/CM² FOR CARAVISTA FINISHES IN THE CITY OF AREQUIPA." Its objective is to evaluate the mechanical properties and self-cleaning capacity of photocatalytic concrete with TiO_2 addition at f_c 210 kgf/cm² and f_c 280 kgf/cm² for caravista finishes in the city of Arequipa. The methodology used is a descriptive type and level of research, with an experimental research design. Compression strength tests were performed on samples cured for 7, 14, and 28 days, with results showing good progress in mechanical properties, especially for the mixture with 3% TiO_2 in concrete with a resistance of f_c 210 kg/cm². Additionally, the self-cleaning capacity of the concrete was evaluated, observing a significant improvement in the degradation of contaminants, particularly in the mixtures with higher TiO_2 content. The results indicate that the incorporation of TiO_2 not only improves the self-cleaning capacity of the concrete but also maintains an adequate mechanical strength for use in architectural finishes, such as in façade projects in the city of Arequipa. It is concluded that photocatalytic concrete with TiO_2 addition is a viable and sustainable alternative for urban applications, contributing to improving environmental quality and the aesthetic durability of structures in areas exposed to high levels of pollution.

Keywords: Finishes, Caravista, Concrete, Photocatalysis, TiO_2

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1. Problemática de la Investigación..... 3

1.1.1. Problema General 7

1.1.2. Problemas Específicos 7

1.2. Justificación de la Investigación 7

1.2.1. Justificación Ambiental..... 7

1.2.2. Justificación Social 9

1.2.3. Justificación Económica 9

1.2.4. Justificación Tecnológica..... 10

1.2.5. Justificación Política o Institucional 11

1.3. Hipótesis 11

1.3.1. Hipótesis General..... 11

1.4. Variables 11

1.4.1. Definición conceptual de las variables 11

1.4.2. Operacionalización de variables 12

1.5. Objetivos..... 13

1.5.1. Objetivo General 13

1.5.2. Objetivos Específicos..... 13

1.6. Alcance 13

1.7. Limitaciones..... 14

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
2.1. Estado de Arte.....	16
2.2. Antecedentes de la Investigación.....	20
2.3. Marco Teórico.....	22
2.3.1. Concreto Fotocatalítico	22
2.3.2. Dióxido de titanio (TiO ₂)	25
2.3.3. Fotocatálisis	29
2.3.4. Acabados caravista.....	30

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA PROPUESTA	34
3.1. Tipo y Nivel de Investigación.....	34
3.2. Diseño de la Investigación.....	34
3.2.1. Variable Dependiente.....	34
3.2.2. Variable Independiente	34
3.3. Métodos de Investigación	35
3.3.1. Materiales y Equipos.....	35

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE MEZCLAS PARA CONCRETO FOTOCATALÍTICO	48
4.1. Propiedades físico–mecánicas del agregado grueso.....	48
4.1.1. Análisis Granulométrico del agregado grueso.....	48
4.1.2. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	55
4.1.3. Peso unitario del agregado grueso.....	59
4.1.4. Contenido de humedad del agregado grueso.....	62
4.2. Propiedades físico–mecánicas del Agregado Fino.....	65
4.2.1. Análisis Granulométrico del agregado Fino	65
4.2.2. Peso específico y absorción del agregado fino.....	69

4.2.3. Peso unitario del agregado fino	73
4.2.4. Contenido de humedad del agregado fino	77
4.2.5. Pasante de la malla 200	79
4.3. Propiedades del Cemento.	81
4.4. Propiedades del Dióxido de Titanio (TiO ₂).	82
4.5. Descripción de método de diseño Modulo de Fineza de la combinación de agregados.	82
4.5.1. Diseño de mezcla método módulo de Fineza $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	82
4.5.2. Diseño de mezcla método módulo de Fineza $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	93
CAPÍTULO V	
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	104
5.1. Ensayo del Concreto fotocatalítico en estado fresco.	104
5.1.1. Grado de asentamiento (SLUMP) y temperatura en el concreto fresco	104
5.1.2. Peso unitario del concreto en estado fresco	105
5.2. Diseño inicial concreto patrón $f'c 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c 280 \text{ kgf/cm}^2$	107
5.2.1. Resistencia a la compresión axial del Concreto Patrón $f'c 280 \text{ kgf/cm}^2$	107
5.2.2. Resistencia a la compresión axial del Concreto Patrón $f'c 210 \text{ kgf/cm}^2$	121
5.3. Propiedades mecánicas del concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO ₂ con resistencia $f'c 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c 280 \text{ kgf/cm}^2$	130
5.3.1. Resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c 210 \text{ kgf/cm}^2$	130
5.3.1.1. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c 210 \text{ kgf/cm}^2$ a los 7 días	146
5.3.1.2. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c 210 \text{ kgf/cm}^2$ a los 14 días	150
5.3.1.3. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c 210 \text{ kgf/cm}^2$ a los 28 días	155

5.3.2. Resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ²	160
5.3.2.1. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días	176
5.3.2.2. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días	180
5.3.2.3. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días	184
5.3.3. Resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ²	189
5.3.3.1. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 7 días	205
5.3.3.2. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días	210
5.3.3.3. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días	214
5.3.4. Resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ²	219
5.3.4.1. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días	235
5.3.4.2. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días	240
5.3.4.3. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días	244
5.4. Análisis de la actividad fotocatalítica del concreto mediante el ensayo de decoloración (Prueba de la rodamina B)	249
5.4.1. Prueba de la Rodamina en $f'c$ 210 kgf/cm ²	250
5.4.1.1. Análisis estadístico de actividad fotocatalítica Prueba de la rodamina B a las 4 horas (R-4) en $f'c$ 210 kgf/cm ²	253

5.4.1.2. Análisis estadístico de actividad fotocatalítica Prueba de la rodamina B a las 26 horas (R-26) en $f'c$ 210 kgf/cm ²	258
5.4.2. Prueba de la Rodamina en $f'c$ 280 kgf/cm ²	262
5.4.2.1. Análisis estadístico de actividad fotocatalítica Prueba de la rodamina B a las 4 horas (R-4) en $f'c$ 280 kgf/cm ²	265
5.4.2.2. Análisis estadístico de actividad fotocatalítica Prueba de la rodamina B a las 26 horas (R-26) en $f'c$ 280 kgf/cm ²	270
5.5. Ensayo de Intemperismo	275
5.6. Análisis de costos	285
5.7. Discusión de resultados	289
CONCLUSIONES	298
RECOMENDACIONES	301
REFERENCIAS	303
ANEXOS	307
ANEXO 1: Matriz de consistencia	308
ANEXO 2: Ensayo de los materiales	310
a) Análisis granulométrico del agregado fino	310
b) Análisis granulométrico del agregado grueso	313
c) Contenido de humedad del agregado fino	316
d) Contenido de humedad del agregado grueso	316
e) Peso unitario del agregado fino	317
f) Peso unitario del agregado grueso	318
g) Peso específico y absorción del agregado fino	319
h) Peso específico y absorción del agregado grueso	320
i) Pasante de la malla 200	321
ANEXO 3: Diseño de mezcla y constancia de uso de laboratorio de la UCSM	322
ANEXO 4: Ficha técnica de los materiales	337

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	12
Tabla 2. Matriz de estado de arte.....	19
Tabla 3. Propiedades físicas del dióxido de titanio (TiO ₂).....	26
Tabla 4. Materiales	35
Tabla 5. Diseño de mezcla.....	35
Tabla 6. Dosificaciones	36
Tabla 7. Días de evaluación.....	36
Tabla 8. Ensayos de laboratorio	39
Tabla 9. Tamaño de muestra para los ensayos de tracción directa	42
Tabla 10. Tamaño de muestra para los ensayos de compresión directa	42
Tabla 11. Muestra para ensayo de decoloración.....	44
Tabla 12. Criterio de dosificación porcentual	48
Tabla 13. Límites granulométricos del HUSO 7 del agregado grueso	51
Tabla 14. Resultados de Análisis granulométrico de agregado grueso Muestra 1	52
Tabla 15. Resultados de Análisis granulométrico de agregado grueso Muestra 2	53
Tabla 16. Resultados de Análisis granulométrico de agregado grueso Muestra 3	54
Tabla 17. Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso.....	58
Tabla 18. Resultados de PUS del agregado grueso	60
Tabla 19. Resultados de PUC del agregado grueso.....	62
Tabla 20. Resultados de contenido de humedad del agregado grueso	64
Tabla 21. Límites granulométricos de la norma ASTM C 33 del agregado fino	66
Tabla 22. Resultados de Análisis granulométrico de agregado fino Muestra 1	66
Tabla 23. Resultados de Análisis granulométrico de agregado fino Muestra 2	67
Tabla 24. Resultados de Análisis granulométrico de agregado fino Muestra 3	68
Tabla 25. Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso.....	72
Tabla 26. Resultados de PUS del agregado fino.....	75
Tabla 27. Resultados de PUC del agregado fino	76
Tabla 28. Resultados de contenido de humedad del agregado fino.....	78
Tabla 29. Resultados de contenido de humedad del agregado fino.....	80
Tabla 30. Características de los materiales.....	83
Tabla 31. Resistencia requerida sin desviación estándar en kgf/cm ²	83

Tabla 32. Consistencia y asentamiento del concreto	84
Tabla 33. Volumen unitario de agua para TMN y consistencia	84
Tabla 34. Contenido de aire atrapado	85
Tabla 35. Relación a/c	85
Tabla 36. Interpolación de la relación a/c	86
Tabla 37. Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	87
Tabla 38. Interpolación de la combinación de agregados.....	88
Tabla 39. Pesos de diseño en seco	89
Tabla 40. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico	90
Tabla 41. Proporción de pesos del diseño de mezcla	90
Tabla 42. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm ² con adición de 0% de Dióxido de Titanio	91
Tabla 43. Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm ² con adición de 0% de Dióxido de Titanio	91
Tabla 44. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm ² con adición de 3% de Dióxido de Titanio	91
Tabla 45. Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm ² con adición de 3% de Dióxido de Titanio	92
Tabla 46. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm ² con adición de 6% de Dióxido de Titanio	92
Tabla 47. Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm ² con adición de 6% de Dióxido de Titanio	92
Tabla 48. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm ² con adición de 9% de Dióxido de Titanio	92
Tabla 49. Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm ² con adición de 9% de Dióxido de Titanio	92
Tabla 50. Características de los materiales.....	93
Tabla 51. Relación agua/cemento	95
Tabla 52. Interpolación de la relación a/c.....	95
Tabla 53. Interpolación de la combinación de agregados.....	96
Tabla 54. Pesos de diseño en seco	98
Tabla 55. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico	99
Tabla 56. Proporción de pesos del diseño de mezcla	99

Tabla 57. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm ² con adición de 0% de Dióxido de Titanio	100
Tabla 58. Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm ² con adición de 0% de Dióxido de Titanio	100
Tabla 59. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm ² con adición de 3% de Dióxido de Titanio	100
Tabla 60. Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm ² con adición de 3% de Dióxido de Titanio	101
Tabla 61. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm ² con adición de 6% de Dióxido de Titanio	101
Tabla 62. Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm ² con adición de 6% de Dióxido de Titanio	101
Tabla 63. Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm ² con adición de 9% de Dióxido de Titanio	101
Tabla 64. Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm ² con adición de 9% de Dióxido de Titanio	102
Tabla 65. Temperatura y asentamiento (SLUMP) del concreto en estado fresco	105
Tabla 66. Peso Unitario del concreto en estado fresco	107
Tabla 67. Resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ²	108
Tabla 68. Resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ²	110
Tabla 69. Resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ²	113
Tabla 70. Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ²	115
Tabla 71. Resistencia a la compresión del Vaciado 8 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ²	118
Tabla 72. Promedios por edad de probetas de concreto	120
Tabla 73. Resistencia a la compresión del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ²	121
Tabla 74. Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ²	124

Tabla 75. Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ²	126
Tabla 76. Promedios por edad de probetas de concreto	129
Tabla 77. Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO ₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm ² - vaciado 1	130
Tabla 78. Promedios por edad de probetas de concreto	133
Tabla 79. Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO ₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm ² - vaciado 2	134
Tabla 80. Promedios por edad de probetas de concreto con 3% adición	137
Tabla 81. Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO ₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm ² - vaciado 3	138
Tabla 82. Promedios por edad de probetas de concreto con 6% adición	141
Tabla 83. Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO ₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm ² - vaciado 4	142
Tabla 84. Promedios por edad de probetas de concreto con 9% adición	145
Tabla 85. Información del factor resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm ² a los 7 días	147
Tabla 86. Análisis de Varianza resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm ² a los 7 días	147
Tabla 87. Resumen del modelo resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm ² a los 7 días	147
Tabla 88. Medias resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm ² a los 7 días	147
Tabla 89. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm ² a los 7 días	148
Tabla 90. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm ² a los 7 días	148
Tabla 91. Información del factor resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm ² a los 14 días	151

Tabla 92. Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días.....	151
Tabla 93. Resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días.....	151
Tabla 94. Medias resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días	151
Tabla 95. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días.....	152
Tabla 96. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días.....	152
Tabla 97. Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días	155
Tabla 98. Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días.....	156
Tabla 99. Resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días.....	156
Tabla 100. Medias resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días	156
Tabla 101. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días.....	156
Tabla 102. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días.....	157
Tabla 103. Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO ₂ con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² - vaciado 1	160
Tabla 104. Promedios por edad de probetas de concreto con 0% adición	163
Tabla 105. Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO ₂ con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² - vaciado 2.....	164
Tabla 106. Promedios por edad de probetas de concreto con 3% adición	167
Tabla 107. Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO ₂ con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² - vaciado 3.....	168
Tabla 108. Promedios por edad de probetas de concreto con 6% adición	171

Tabla 109. Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm ² - vaciado 4.....	172
Tabla 110. Promedios por edad de probetas de concreto con 9% adición	175
Tabla 111. Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días	177
Tabla 112. Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días	177
Tabla 113. Resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días	177
Tabla 114. Medias resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días	177
Tabla 115. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días.....	178
Tabla 116. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días.....	178
Tabla 117. Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días	181
Tabla 118. Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días	181
Tabla 119. Resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días	181
Tabla 120. Medias resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días	181
Tabla 121. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días.....	182
Tabla 122. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días.....	182
Tabla 123. Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días	185
Tabla 124. Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días	185
Tabla 125. Resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días	185
Tabla 126. Medias resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días	185

Tabla 127. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días.....	186
Tabla 128. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días.....	186
Tabla 129. Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 210 kgf/cm ² – vaciado 1 a 0%.....	189
Tabla 130. Promedio por edad de probetas al 0%	192
Tabla 131. Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 210 kgf/cm ² vaciado 2 a 3%	193
Tabla 132. Promedio por edad de probetas al 3%	196
Tabla 133. Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 210 kgf/cm ² vaciado 3 a 6%	197
Tabla 134. Promedio por edad de probetas al 6%	200
Tabla 135. Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 210 kgf/cm ² vaciado 4 a 9%	201
Tabla 136. Promedio por edad de probetas al 9%	204
Tabla 137. Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 7 días.....	206
Tabla 138. Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 7 días.....	206
Tabla 139. Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 7 días.....	206
Tabla 140. Medias resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 7 días	206
Tabla 141. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 7 días.....	207
Tabla 142. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 7 días.....	207
Tabla 143. Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días.....	210
Tabla 144. Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días.....	210
Tabla 145. Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días.....	210
Tabla 146. Medias resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días	211
Tabla 147. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días.....	211

Tabla 148. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 14 días.....	211
Tabla 149. Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días.....	214
Tabla 150. Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días.....	215
Tabla 151. Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días.....	215
Tabla 152. Medias resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días	215
Tabla 153. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días.....	215
Tabla 154. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm ² a los 28 días.....	216
Tabla 155. Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 280 kgf/cm ² vaciado 1 a 0%	219
Tabla 156. Promedio por edad de probetas al 0%	222
Tabla 157. Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 280 kgf/cm ² vaciado 2 a 3%	223
Tabla 158. Promedio por edad de probetas al 3%	226
Tabla 159. Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 280 kgf/cm ² vaciado 3 a 6%	227
Tabla 160. Promedio por edad de probetas al 6%	230
Tabla 161. Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 280 kgf/cm ² vaciado 4 a 9%	231
Tabla 162. Resistencia promedio a 9%	234
Tabla 163. Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días.....	236
Tabla 164. Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días.....	236
Tabla 165. Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días.....	236
Tabla 166. Medias resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días	236
Tabla 167. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días.....	237
Tabla 168. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 7 días.....	237

Tabla 169. Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días.....	240
Tabla 170. Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días.....	240
Tabla 171. Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días.....	240
Tabla 172. Medias resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días	241
Tabla 173. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días.....	241
Tabla 174. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 14 días.....	241
Tabla 175. Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días.....	244
Tabla 176. Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días.....	245
Tabla 177. Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días.....	245
Tabla 178. Medias resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días	245
Tabla 179. Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días.....	245
Tabla 180. Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm ² a los 28 días.....	246
Tabla 181. Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.....	250
Tabla 182. Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)	250
Tabla 183. Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.....	251
Tabla 184. Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)	251
Tabla 185. Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.....	251
Tabla 186. Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)	252
Tabla 187. Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.....	252

Tabla 188. Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)	252
Tabla 189. Resumen de índice de degradación R (0), R (4) y R (26) para las distintas dosificaciones	253
Tabla 190. Información del factor índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	254
Tabla 191. Análisis de Varianza índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	254
Tabla 192. Resumen del modelo índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	254
Tabla 193. Medias índices de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	254
Tabla 194. Comparaciones en parejas de Tukey índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 4 horas R-4	255
Tabla 195. Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 4 horas R-4	255
Tabla 196. Información del factor índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	258
Tabla 197. Análisis de Varianza índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	258
Tabla 198. Resumen del modelo índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	258
Tabla 199. Medias índices de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	259
Tabla 200. Comparaciones en parejas de Tukey índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	259
Tabla 201. Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración $f'c$ 210 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	259
Tabla 202. Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.....	262
Tabla 203. Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)	262
Tabla 204. Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.....	263
Tabla 205. Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)	263
Tabla 206. Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.....	263

Tabla 207. Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)	264
Tabla 208. Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.....	264
Tabla 209. Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)	264
Tabla 210. Resumen de índice de degradación R (0), R (4) y R (26) para las distintas dosificaciones	264
Tabla 211. Información del factor índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	266
Tabla 212. Análisis de Varianza índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	266
Tabla 213. Resumen del modelo índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	266
Tabla 214. Medias índices de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	266
Tabla 215. Comparaciones en parejas de Tukey índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	267
Tabla 216. Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	267
Tabla 217. Información del factor índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	270
Tabla 218. Análisis de Varianza índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	270
Tabla 219. Resumen del modelo índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	270
Tabla 220. Medias índices de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	271
Tabla 221. Comparaciones en parejas de Tukey índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	271
Tabla 222. Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	271
Tabla 223. Costo por m ³ de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm ² + 0% de TiO ₂	285
Tabla 224. Costo por m ³ de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm ² + 3% de TiO ₂	285
Tabla 225. Costo por m ³ de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm ² + 6% de TiO ₂	286
Tabla 226. Costo por m ³ de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm ² + 9% de TiO ₂	286
Tabla 227. Costo por m ³ de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm ² + 0% de TiO ₂	287

Tabla 228. Costo por m³ de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² + 3% de TiO₂ 287

Tabla 229. Costo por m³ de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² + 6% de TiO₂ 287

Tabla 230. Costo por m³ de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² + 9% de TiO₂ 288



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aeropuerto Roissy- Charles de Gaulle en París, ejemplo de edificaciones con concreto fotocatalítico	23
Figura 2. Iglesia de Jubileo en Roma, ejemplo de edificación con concreto fotocatalítico	23
Figura 3. Proceso de fotocatálisis	30
Figura 4. Diagrama de flujo de proceso	40
Figura 5. Imagen Satelital de la intersección de las calles.	45
Figura 6. Presencia de alto tránsito vehicular	45
Figura 7. Materiales para el análisis granulométrico.....	50
Figura 8. Cuarteo del agregado grueso	50
Figura 9. Secado del material en el horno.	51
Figura 10. Determinación del análisis granulométrico del agregado grueso	51
Figura 11. Curva granulométrica M-1 del agregado grueso	52
Figura 12. Curva granulométrica M-2 del agregado grueso	53
Figura 13. Curva granulométrica M-3 del agregado grueso	54
Figura 14. Dispersión de resultados de módulo de fineza del agregado grueso	55
Figura 15. Tamizado de la muestra por la malla N° 4.....	56
Figura 16. Secado de la muestra con ayuda de una franela.....	57
Figura 17. Sumergido de la muestra en el tanque de agua	57
Figura 18. Dispersión de resultados del ensayo de peso específico de agregado grueso respecto a la media.....	58
Figura 19. Dispersión de resultados del ensayo de peso absorción del agregado grueso respecto a la media.....	59
Figura 20. Determinación del PUS del agregado grueso	60
Figura 21. Dispersión de resultados del ensayo de PUS de agregado grueso respecto a la media	61
Figura 22. Determinación del PUC del agregado grueso	61
Figura 23. Dispersión de resultados del ensayo de PUC de agregado grueso respecto a la media	62
Figura 24. Determinación del contenido de humedad del agregado grueso.....	63

Figura 25. Dispersión de resultados del ensayo de contenido de humedad de agregado grueso respecto a la media	64
Figura 26. Secado del material en el horno.	65
Figura 27. Determinación del análisis granulométrico del agregado fino.....	65
Figura 28. Curva granulométrica M-1 del agregado fino.....	67
Figura 29. Curva granulométrica M-2 del agregado fino.....	67
Figura 30. Curva granulométrica M-3 del agregado fino.....	68
Figura 31. Dispersión de resultados de módulo de fineza del agregado fino.....	69
Figura 32. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino	71
Figura 33. Dispersión de resultados del ensayo de peso específico de agregado fino respecto a la media	72
Figura 34. Dispersión de resultados del ensayo de peso absorción del agregado fino respecto a la media	73
Figura 35. Determinación del PUS del agregado fino.....	74
Figura 36. Dispersión de resultados del ensayo de PUS de agregado fino respecto a la media	75
Figura 37. Determinación del PUC del agregado fino	76
Figura 38. Dispersión de resultados del ensayo de PUC de agregado fino respecto a la media	77
Figura 39. Determinación del contenido de humedad del agregado fino.....	78
Figura 40. Dispersión de resultados del ensayo de contenido de humedad de agregado fino respecto a la media	79
Figura 41. Determinación del contenido de humedad del agregado fino.....	80
Figura 42. Dispersión de resultados del ensayo de pasante de la malla N° 200 de agregado fino respecto a la media	81
Figura 43. Ficha técnica del cemento Yura Tipo IP.....	81
Figura 44. Ficha técnica del Dióxido de Titanio	82
Figura 45. Diagrama de flujo del proceso metodológico	102
Figura 46. Medición del asentamiento del concreto fresco diseño $f'c=210$ $\text{kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2$	104
Figura 47. Medición de la temperatura del concreto fresco diseño $f'c=210$ $\text{kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2$	104
Figura 48. Peso del recipiente vacío.....	106

Figura 49. Peso del recipiente con el concreto fresco enrasado	106
Figura 50. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 7 días.....	109
Figura 51. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 14 días.....	109
Figura 52. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 28 días.....	110
Figura 53. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 7 días.....	111
Figura 54. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 14 días.....	112
Figura 55. Gráfico de módulo de fineza del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 28 días.....	112
Figura 56. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 7 días.....	114
Figura 57. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 14 días.....	114
Figura 58. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 28 días.....	115
Figura 59. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 7 días.....	116
Figura 60. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 14 días.....	117
Figura 61. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 28 días.....	117
Figura 62. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 7 días.....	119
Figura 63. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 14 días.....	119
Figura 64. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 28 días.....	120
Figura 65. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto	120

Figura 66. Gráfico de módulo de fineza del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 7 días.....	122
Figura 67. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 14 días.....	123
Figura 68. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 28 días.....	123
Figura 69. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 7 días.....	125
Figura 70. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 14 días.....	125
Figura 71. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 28 días.....	126
Figura 72. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 7 días.....	127
Figura 73. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 14 días.....	128
Figura 74. Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm ² para los 28 días.....	128
Figura 75. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto	129
Figura 76. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 7 días.....	132
Figura 77. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 14 días.....	132
Figura 78. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 28 días.....	133
Figura 79. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto	133
Figura 80. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 7 días.....	136
Figura 81. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 14 días.....	136
Figura 82. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ –28 días.....	137

Figura 83. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 3% de adición	137
Figura 84. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 7 días	140
Figura 85. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 14 días	140
Figura 86. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 28 días	141
Figura 87. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 6% de adición	141
Figura 88. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 7 días	144
Figura 89. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 14 días	144
Figura 90. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 28 días	145
Figura 91. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 9% de adición	145
Figura 92. Resistencia a la compresión promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO ₂	146
Figura 93. Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 7 días.....	149
Figura 94. Valores individuales de resistencia a la compresión a los 7 días.....	149
Figura 95. Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 7 días	150
Figura 96. Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 14 días.....	153
Figura 97. Valores individuales de resistencia a la compresión a los 14 días.....	154
Figura 98. Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 14 días	154
Figura 99. Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 28 días.....	158
Figura 100. Valores individuales de resistencia a la compresión a los 28 días.....	158
Figura 101. Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 28 días	159
Figura 102. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 7 días	162
Figura 103. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 14 días	162

Figura 104. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 28 días.....	163
Figura 105. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 0% de adición a los 280 kgf/cm ²	163
Figura 106. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 7 días.....	166
Figura 107. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 14 días.....	166
Figura 108. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 28 días.....	167
Figura 109. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 3% de adición a los 280 kgf/cm ²	167
Figura 110. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 7 días.....	170
Figura 111. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 14 días.....	170
Figura 112. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 28 días.....	171
Figura 113. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 6% de adición a los 280 kgf/cm ²	171
Figura 114. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 7 días.....	174
Figura 115. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 14 días.....	174
Figura 116. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión 280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 28 días.....	175
Figura 117. Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 9% de adición a los 280 kgf/cm ²	175
Figura 118. Resistencia a la compresión promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO ₂	176
Figura 119. Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 7 días.....	179
Figura 120. Valores individuales de resistencia a la compresión a los 7 días.....	179
Figura 121. Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 7 días	180

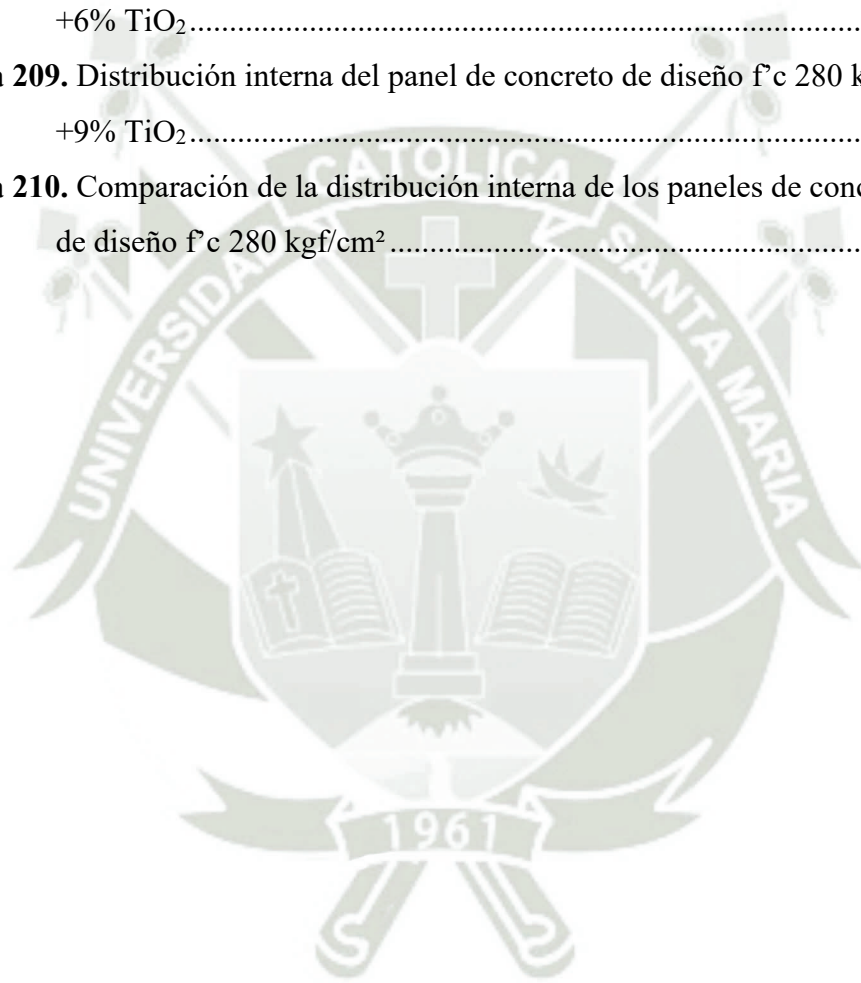
Figura 122. Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 14 días.....	183
Figura 123. Valores individuales de resistencia a la compresión a los 14 días.....	183
Figura 124. Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 14 días	184
Figura 125. Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 28 días.....	187
Figura 126. Valores individuales de resistencia a la compresión a los 28 días.....	187
Figura 127. Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 28 días	188
Figura 128. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 7 días	191
Figura 129. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 14 días	191
Figura 130. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 28 días	192
Figura 131. Resistencia promedio a 0%.....	192
Figura 132. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 7 días	195
Figura 133. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 14 días	195
Figura 134. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 28 días	196
Figura 135. Resistencia promedio a 3%.....	196
Figura 136. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 7 días	199
Figura 137. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 14 días	199
Figura 138. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 28 días	200
Figura 139. Resistencia promedio a 6%.....	200
Figura 140. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 7 días	203
Figura 141. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 14 días	203
Figura 142. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción 210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 28 días	204

Figura 143. Resistencia promedio a 9%	204
Figura 144. Resistencia a la tracción promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO ₂	205
Figura 145. Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 7 días	208
Figura 146. Valores individuales de resistencia a la tracción a los 7 días.....	208
Figura 147. Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 7 días	209
Figura 148. Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 14 días	212
Figura 149. Valores individuales de resistencia a la tracción a los 14 días.....	213
Figura 150. Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 14 días	213
Figura 151. Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 28 días	217
Figura 152. Valores individuales de resistencia a la tracción a los 28 días.....	217
Figura 153. Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 28 días	218
Figura 154. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 7 días	221
Figura 155. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 14 días	221
Figura 156. Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂ – 28 días	222
Figura 157. Resistencia promedio a 0%	222
Figura 158. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 7 días	225
Figura 159. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 14 días	225
Figura 160. Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂ – 28 días	226
Figura 161. Resistencia promedio a 3%	226
Figura 162. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 14 días	229
Figura 163. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 14 días	229
Figura 164. Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂ – 28 días	230
Figura 165. Resistencia promedio a 6%	230

Figura 166. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 7 días	233
Figura 167. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 14 días	233
Figura 168. Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción 280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂ – 28 días	234
Figura 169. Resistencia promedio a 9%	234
Figura 170. Resistencia a la tracción promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO ₂	235
Figura 171. Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 7 días	238
Figura 172. Valores individuales de resistencia a la tracción a los 7 días.....	238
Figura 173. Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 7 días	239
Figura 174. Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 14 días	242
Figura 175. Valores individuales de resistencia a la tracción a los 14 días.....	243
Figura 176. Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 14 días	243
Figura 177. Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 28 días	247
Figura 178. Valores individuales de resistencia a la tracción a los 28 días.....	247
Figura 179. Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 28 días	248
Figura 180. Probeta prismática expuesta a los rayos UV	249
Figura 181. Índice de degradación con diferentes porcentajes de TiO ₂	253
Figura 182. Gráfico de Intervalos índice de decoloración f'c 210 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	256
Figura 183. Valores individuales de índice de decoloración f'c 210 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	256
Figura 184. Gráfico de residuos para el índice de decoloración f'c 210 kgf/cm ² a las 4 horas R-4	257
Figura 185. Gráfico de Intervalos índice de decoloración f'c 210 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	260
Figura 186. Valores individuales de índice de decoloración f'c 210 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	261
Figura 187. Gráfico de residuos para el índice de decoloración f'c 210 kgf/cm ² a las 26 horas R-26	261
Figura 188. Índice de degradación con diferentes porcentajes de TiO ₂	265

Figura 189. Gráfico de Intervalos índice de decoloración f'c 280 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	268
Figura 190. Valores individuales de índice de decoloración f'c 280 kgf/cm ² a las 4 horas R-4.....	268
Figura 191. Gráfico de residuos para el índice de decoloración f'c 280 kgf/cm ² a las 4 horas R-4	269
Figura 192. Gráfico de Intervalos índice de decoloración f'c 280 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	272
Figura 193. Valores individuales de índice de decoloración f'c 280 kgf/cm ² a las 26 horas R-26.....	273
Figura 194. Gráfico de residuos para el índice de decoloración f'c 280 kgf/cm ² a las 26 horas R-26	273
Figura 195. Temperatura mínima y máxima en la ciudad de Arequipa en los meses de enero y febrero de 2025	276
Figura 196. Temperatura mínima y máxima en la ciudad de Arequipa en los meses de enero y febrero de 2025	276
Figura 197. Vaciado de los paneles de concreto para resistencias 210 kgf/cm ² y 280 kgf/cm ² con adición de distintos porcentajes de TiO ₂	277
Figura 198. Curado de los paneles de concreto para resistencias 210 kgf/cm ² y 280 kgf/cm ² con adición de distintos porcentajes de TiO ₂	277
Figura 199. Exposición de los paneles en el 5to piso del laboratorio de suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María.....	278
Figura 200. Corte de los paneles de concreto en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María.....	278
Figura 201. Distribución interna del panel de concreto de diseño f'c 210 kgf/cm ² +0% TiO ₂	279
Figura 202. Distribución interna del panel de concreto de diseño f'c 210 kgf/cm ² +3% TiO ₂	279
Figura 203. Distribución interna del panel de concreto de diseño f'c 210 kgf/cm ² +3% TiO ₂	280
Figura 204. Distribución interna del panel de concreto de diseño f'c 210 kgf/cm ² +9% TiO ₂	280

Figura 205. Comparación de la distribución interna de los paneles de concreto de diseño f'c 210 kgf/cm ²	280
Figura 206. Distribución interna del panel de concreto de diseño f'c 280 kgf/cm ² +0% TiO ₂	282
Figura 207. Distribución interna del panel de concreto de diseño f'c 280 kgf/cm ² +3% TiO ₂	282
Figura 208. Distribución interna del panel de concreto de diseño f'c 280 kgf/cm ² +6% TiO ₂	283
Figura 209. Distribución interna del panel de concreto de diseño f'c 280 kgf/cm ² +9% TiO ₂	283
Figura 210. Comparación de la distribución interna de los paneles de concreto de diseño f'c 280 kgf/cm ²	284



INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por la contaminación ambiental y la necesidad de desarrollar materiales de construcción más sostenibles han impulsado la investigación de nuevos tipos de concretos con propiedades mejoradas, como el concreto fotocatalítico. Este tipo de concreto, al incorporar dióxido de titanio (TiO_2), posee la capacidad de degradar contaminantes presentes en el ambiente, contribuyendo así a la limpieza del aire y mejorando la calidad ambiental de las ciudades. En particular, los acabados caravista, utilizados comúnmente en la construcción de fachadas, representan una superficie ideal para aplicar esta tecnología debido a su exposición constante a factores externos, como la contaminación del aire (Vásquez, 2016).

Es por ello que, el objetivo de la presente investigación es evaluar las propiedades mecánicas y la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 , con resistencias f'_c de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , aplicable a acabados caravista en la ciudad de Arequipa. A través de ensayos de compresión, realizados a los 7, 14 y 28 días de curado, se busca determinar el impacto de la incorporación de TiO_2 en la resistencia mecánica del concreto, así como en su capacidad para promover la autolimpieza y la degradación de contaminantes. Los resultados obtenidos permitirán evaluar si el concreto fotocatalítico es una alternativa viable y sostenible para aplicaciones urbanas en zonas con altos niveles de contaminación, como es el caso de Arequipa, una ciudad caracterizada por su crecimiento urbano y la presencia de altos niveles de partículas contaminantes en el aire (Najar S. , 2021).

Esta investigación no solo contribuirá al desarrollo de materiales de construcción más eficientes y ecológicos, sino que también ofrecerá una solución potencial para mejorar la durabilidad estética de las edificaciones, reduciendo la acumulación de suciedad y la necesidad de mantenimiento constante, lo que resultará en un impacto positivo tanto a nivel ambiental como económico (Camelo & Segura, 2019).

CAPÍTULO I



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la Investigación

A Nivel Mundial

A lo largo de la evolución histórica, los materiales y compuestos derivados del cemento han desempeñado un papel fundamental en la ingeniería civil y la edificación de estructuras. No obstante, en la actualidad, su aplicación ha experimentado una diversificación significativa, extendiéndose más allá de su función estructural para convertirse también en elementos funcionales en la creación de estructuras inteligentes. Estos materiales inteligentes exhiben la capacidad de reaccionar de manera beneficiosa ante estímulos externos. La fotocatalisis ha adquirido una importancia considerable desde el descubrimiento de la división fotocatalítica del agua utilizando óxido de titanio (TiO_2) en ánodos fotoquímicos, según investigaciones llevadas a cabo por Fukushima y Honda, así como por Wrighton y otros en décadas pasadas. Esta tecnología ha captado la atención a nivel mundial debido a sus prometedoras aplicaciones en campos como la energía solar, la química verde y la remediación ambiental. La eficacia de la fotocatalisis ha quedado demostrada en la eliminación de contaminantes atmosféricos, contribuyendo de manera significativa a la mejora de la calidad de vida (Fernández J. , 2023).

De igual manera, el TiO_2 , especialmente en su forma nanoescalar, se ha convertido en un componente esencial en materiales de construcción dotados de propiedades fotocatalíticas. Este semiconductor es compatible con materiales tradicionales de construcción, como el cemento, sin comprometer sus características originales. El TiO_2 ha demostrado su capacidad para reducir diversos contaminantes del aire, tales como óxidos de nitrógeno, compuestos aromáticos, amoníaco y aldehídos. La integración de TiO_2 en el concreto puede llevarse a cabo tanto como una parte integral del mismo como a través de la aplicación de recubrimientos superficiales. Esta sinergia entre materiales estructurales y funcionales tuvo sus inicios en la década de 1990, y varias empresas han patentado productos como adoquines y revestimientos fotocatalíticos basados en aglomerantes hidráulicos. Las diversas funciones del TiO_2 lo han convertido en un material versátil en aplicaciones de construcción, ya sea en entornos interiores o exteriores. Se utiliza en morteros de cemento, adoquines y traviesas exteriores para la

creación de edificios inteligentes con propiedades autolimpiantes, antimicrobianas y purificadoras de aire, donde las preocupaciones ambientales en la construcción siguen estándares internacionales (Ramírez, 2006).

En tal sentido que, es relevante que, a nivel mundial los niveles de contaminación del aire continúan siendo preocupantemente elevados en numerosas partes del mundo. Según recientes datos proporcionados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se revela que el 90% de la población está expuesta a niveles elevados de contaminantes en el aire. Estas actualizaciones alarmantes señalan que anualmente fallecen alrededor de 7 millones de individuos debido a la exposición a partículas finas que penetran profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular. Esto desencadena enfermedades como accidentes cerebrovasculares, afecciones cardíacas, cáncer de pulmón, enfermedades pulmonares crónicas e infecciones respiratorias, incluyendo la neumonía. Es importante destacar que más del 90% de estas muertes atribuibles a la contaminación del aire acontecen en países de ingresos bajos y medios, principalmente en las regiones de Asia y África, seguidos por países con economías similares en el Mediterráneo Oriental, Europa y América (Chirinos, 2019).

A Nivel Nacional

Actualmente, numerosos estudios e investigaciones en Perú han venido fomentando el avance de materiales sostenibles y respetuosos con el entorno en proyectos de construcción. Un ejemplo de estos materiales es el concreto fotocatalítico, que respalda el progreso de la edificación sostenible gracias a sus propiedades fundamentales, como la capacidad para mantener las estructuras limpias y libres de sustancias contaminantes que podrían dañar su estado original. El proceso de fotocatalisis también desempeña un papel crucial en la eliminación de contaminantes como óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COVs), partículas en suspensión (PM), ozono (O₃) y dióxido de carbono (CO₂), los cuales suelen encontrarse en la atmósfera (Camelo & Segura, 2019).

Asimismo, las estructuras de concreto a menudo se ven afectadas por influencias externas, como la contaminación ambiental o eventos naturales, que con el tiempo provocan el deterioro de su apariencia y color, especialmente en fachadas de hormigón arquitectónico. A lo largo de los años, se han empleado diversos productos, como pinturas y selladores, con el fin de mitigar estos problemas, pero su eficacia ha sido limitada, ya que estos productos requieren mantenimiento periódico y reposición para mantener la

calidad de las estructuras. A pesar de que se refieran principalmente a daños estéticos, esto implica un gasto constante para preservar la apariencia de las estructuras. No obstante, la investigación en curso ha conducido al desarrollo de alternativas que permiten al hormigón autolimpiarse, lo que ofrece ventajas significativas en el ámbito de la construcción. Una de estas alternativas es el concreto fotocatalítico (Silva, 2023).

De igual manera en la Universidad Nacional de Cajamarca permitió determinar el uso del TiO_2 , que las proporciones de TiO_2 Evaluadas más recomendables son de 0%, 3%, 6%, 9%, 12% y 15% del peso del cemento. Lo que permite resultados en función al concreto sin TiO_2 alcanzó una resistencia a la compresión de 100.78% a los 28 días, asimismo, el concreto con 15% de TiO_2 presentó una resistencia de 97.53% en el mismo periodo, indicando una ligera disminución con el aumento del contenido de TiO_2 . Del mismo modo con la capacidad autolimpiante la prueba de Decoloración con Rodamina B: El concreto sin TiO_2 permite mostrar valores R4 de 6.19% y R26 de 19.35%, indicando una baja capacidad autolimpiante. Las mezclas con TiO_2 superaron los valores $R4 > 20\%$ y $R26 > 50\%$, evidenciando una mejora significativa en la capacidad autolimpiante.

A Nivel Local

De igual manera que, la construcción de edificios y estructuras en la ciudad de Arequipa requiere el uso de materiales de construcción que sean duraderos y capaces de mantener su aspecto estético a lo largo del tiempo, dadas las condiciones climáticas y ambientales de la región. En este contexto, el concreto fotocatalítico con adición de dióxido de titanio (TiO_2) ha surgido como una posible solución para mejorar la resistencia y la capacidad autolimpiante de las superficies de concreto en aplicaciones de acabados caravista.

Sin embargo, a pesar de la creciente atención que se le ha dado a este material en el campo de la construcción, existe una falta de investigaciones específicas que aborden la evaluación de las propiedades mecánicas y la capacidad autolimpiante de este tipo de concreto en el contexto de la ciudad de Arequipa. Esta carencia de información deja una brecha en el conocimiento necesario para tomar decisiones informadas sobre su aplicabilidad y eficacia en proyectos de construcción en la región.

Es por ello que, la necesidad de plantear un concreto caravista puede surgir por varias razones dependiendo del contexto y los requisitos del proyecto de construcción. El concreto caravista se refiere a un tipo de concreto que se utiliza como acabado exterior de edificaciones, y que se deja a la vista para lograr un aspecto estético y decorativo. Asimismo, el concreto caravista se elige a menudo por su apariencia distintiva y moderna. Puede proporcionar una apariencia robusta y contemporánea a la estructura, y es especialmente popular en edificaciones industriales o de diseño arquitectónico único.

Asimismo, en cuanto a costos la comparación con otros revestimientos exteriores, el concreto caravista puede ser una opción más económica. Al usar el propio concreto como acabado, se eliminan los costos adicionales asociados con la instalación de otros materiales de revestimiento, de igual manera es conocido por su durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas adversas. Al dejar el concreto a la vista, se puede aprovechar esta resistencia para crear una fachada duradera y de bajo mantenimiento; ya que el concreto caravista es fácil de mantener en comparación con otros revestimientos. No requiere pintura regular ni tratamientos especiales, lo que puede reducir los costos y el tiempo de mantenimiento a lo largo del tiempo.

De igual manera que, es importante considerar las condiciones climáticas locales, el entorno arquitectónico circundante y los requisitos específicos del proyecto antes de decidir utilizar concreto caravista. Además, es fundamental garantizar que se cumplan los estándares de construcción y que se tomen las medidas necesarias para garantizar la durabilidad y resistencia de la fachada de concreto.

Es por ello que, la necesidad del tema de investigación radica en que es crucial señalar que una parte importante de esta contaminación es causada no sólo por la fabricación de materiales de construcción, sino también por el transporte de materiales durante la construcción y otras fases. El proceso comienza con la extracción de materias primas, lo que conduce al agotamiento de los recursos naturales. Sin embargo, durante la construcción, también hay contaminación del aire interno causada por los trabajadores de la construcción y por materiales como el TiO_2 , lo que reduce la productividad de los trabajadores y tiene un impacto negativo en el medio ambiente (Najar S. , 2021).

1.1.1. Problema General

¿En qué consiste la evaluación de las propiedades mecánicas y la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 considerando la resistencia f'_c 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 para acabados caravista en la ciudad de Arequipa?

1.1.2. Problemas Específicos

- 1- ¿Cuál es el diseño de mezcla de concreto empleando el método de Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados para las resistencias f'_c 210 kgf/cm^2 y f'_c 280 kgf/cm^2 ?
- 2- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas del concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia f'_c 210 kgf/cm^2 y f'_c 280 kgf/cm^2 para acabados caravista en la ciudad de Arequipa?
- 3- ¿Cuál es el índice de decoloración en la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia f'_c 210 kgf/cm^2 y f'_c 280 kgf/cm^2 para acabados caravista en la ciudad de Arequipa?
- 4- ¿Cuál es el efecto de la incorporación del fotocatalizador Dióxido de Titanio en la capacidad de autolimpieza del concreto y en su resistencia a la compresión?

1.2. Justificación de la Investigación

1.2.1. Justificación Ambiental

La presente investigación se justifica; ya que, reduce el problema de contaminación del aire en Arequipa porque al ser igual que muchas áreas urbanas en todo el mundo, enfrenta un serio problema de contaminación del aire. Las emisiones de vehículos, en particular, son una de las principales fuentes de contaminación del aire, lo que conlleva consecuencias negativas para la salud de la población y el medio ambiente.

De igual manera que, genera un impacto en la salud pública; ya que, la contaminación del aire está directamente relacionada con una serie de problemas de salud, como enfermedades respiratorias, cardiovasculares y, en algunos casos, incluso cáncer. El desarrollo de soluciones para reducir la contaminación del aire puede tener un impacto significativo en la salud pública y la calidad de vida de los habitantes de Arequipa.

Asimismo, otorga un compromiso con el desarrollo sostenible, en cuanto al desarrollo de materiales de construcción más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente es un objetivo importante en la agenda de desarrollo sostenible. La

implementación de concreto fotocatalítico con TiO_2 , que tiene propiedades de autolimpieza y capacidad para reducir la contaminación del aire, se alinea con este compromiso.

De igual manera que, la tesis aborda un enfoque innovador para la reducción de la contaminación del aire en Arequipa mediante la incorporación de tecnología de concreto fotocatalítico con TiO_2 . Esta investigación podría establecer un precedente para futuros proyectos de construcción más sostenibles y contribuir al avance tecnológico en el campo de la construcción.

Es por ello que, se vincula de cierta manera en cuanto a beneficios medioambientales a largo plazo; ya que, la utilización de concreto fotocatalítico con TiO_2 en acabados caravista en la construcción de infraestructuras viales y edificaciones podría conducir a una mejora significativa en la calidad del aire a lo largo del tiempo, lo que beneficiaría tanto al medio ambiente como a la comunidad en general.

De igual manera que, el concreto fotocatalítico tiene la capacidad de descomposición de contaminantes atmosféricos; ya que, el concreto fotocatalítico contiene aditivos como el dióxido de titanio, que actúan como catalizadores cuando son expuestos a la luz solar. Este proceso descompone contaminantes atmosféricos, como óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), convirtiéndolos en compuestos más inofensivos. Del mismo modo, la acción fotocatalítica del concreto también ayuda a eliminar contaminantes depositados en la superficie del material. Esto implica que los contaminantes, como partículas en suspensión y materia particulada, son descompuestos o lavados de la superficie del concreto, mejorando la calidad del aire circundante.

Del mismo modo que, la presencia de contaminantes como los NO_x contribuye a la formación de ozono troposférico, un componente perjudicial para la salud. Al descomponer los NO_x , el concreto fotocatalítico puede contribuir a la reducción de la formación de ozono, mejorando así la calidad del aire. El concreto fotocatalítico también posee propiedades de autolimpieza. Al descomponer los contaminantes, el material ayuda a prevenir la acumulación de suciedad y polución en su superficie, reduciendo la necesidad de limpieza constante y manteniendo la eficacia de la acción fotocatalítica.

Finalmente, al incorporar concreto fotocatalítico en proyectos de construcción y planificación urbana, se fomenta una infraestructura más sostenible. Esto puede llevar a un diseño urbano que priorice la calidad del aire y el bienestar de la población, estableciendo un modelo para futuros desarrollos.

1.2.2. Justificación Social

La evaluación de las propiedades mecánicas y la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 y resistencia $F'c$ de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 para acabados caravista en la ciudad de Arequipa. La construcción de infraestructuras y edificaciones con materiales avanzados como el concreto fotocatalítico puede mejorar significativamente la calidad de vida de los habitantes de Arequipa. Estos materiales son capaces de autolimpiarse, lo que contribuye a mantener las superficies de los edificios y calles más limpias y atractivas. Esto, a su vez, genera un entorno urbano más agradable y saludable para la comunidad.

De igual manera, la evaluación de las propiedades mecánicas de este tipo de concreto permitirá determinar su idoneidad para aplicaciones en edificaciones con requerimientos de resistencia específicos, como los acabados caravista. La posibilidad de utilizar este material en la construcción puede promover la sostenibilidad al reducir la necesidad de mantenimiento y limpieza de las estructuras, lo que ahorra recursos y energía a largo plazo.

1.2.3. Justificación Económica

La construcción y mantenimiento de infraestructuras civiles, como edificios y carreteras, representan una parte sustancial de la inversión pública y privada en cualquier región. En el contexto de la ciudad de Arequipa, que es una de las ciudades más grandes y económicamente activas del Perú, la construcción de edificios y la infraestructura vial son esenciales para el desarrollo económico y la calidad de vida de sus habitantes. Por lo tanto, cualquier avance en la eficiencia y la durabilidad de los materiales de construcción tiene un impacto directo en la economía local.

Asimismo, la adición de TiO_2 al concreto con el objetivo de mejorar su capacidad autolimpiante representa una innovación importante en el campo de la construcción. La capacidad de un material para limpiarse a sí mismo a través de procesos fotocatalíticos no solo reduce los costos de mantenimiento, sino que también mejora la estética de las estructuras con el tiempo. Esto es particularmente relevante en áreas urbanas como

Arequipa, donde la contaminación atmosférica y la acumulación de suciedad en las estructuras son problemas comunes. La implementación de este tipo de concreto podría ahorrar importantes recursos económicos en términos de limpieza y mantenimiento a largo plazo.

Además, la evaluación de las propiedades mecánicas del concreto fotocatalítico con diferentes niveles de resistencia (210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2) tiene implicaciones económicas significativas. La resistencia del concreto es un factor crítico en la durabilidad de las estructuras, y la capacidad de adaptar la resistencia del concreto a las necesidades específicas de un proyecto puede tener un impacto positivo en la eficiencia de la construcción y en la reducción de costos. Esto es especialmente relevante en proyectos de construcción de gran envergadura, donde la optimización de los recursos es fundamental para el éxito económico del proyecto.

1.2.4. Justificación Tecnológica

En la actualidad, existe una creciente demanda por la construcción sostenible en respuesta a los desafíos ambientales y de salud en las áreas urbanas. La incorporación de tecnologías innovadoras, como el concreto fotocatalítico, es esencial para abordar estos desafíos y cumplir con los estándares ambientales y de calidad de vida. Además, las ciudades, incluida la Ciudad de Arequipa, enfrentan problemas relacionados con la contaminación del aire y la proliferación de microorganismos en las superficies de los edificios. El concreto fotocatalítico con TiO_2 es conocido por su capacidad para purificar el aire y mantener superficies más limpias, lo que puede contribuir a la mejora de la calidad del aire y la higiene en áreas urbanas.

Es por ello que, la implementación de concreto fotocatalítico con propiedades autolimpiantes puede reducir los costos de mantenimiento a lo largo del tiempo, ya que requiere menos limpieza y mantenimiento. Esto puede ser particularmente relevante para proyectos de construcción a gran escala en entornos urbanos. La investigación propuesta contribuirá al conocimiento técnico y científico en el campo de la construcción y materiales de construcción. Los resultados de esta tesis pueden servir como una referencia valiosa para futuros proyectos de construcción en Arequipa y en otros lugares con desafíos similares.

1.2.5. Justificación Política o Institucional

La ciudad de Arequipa, al igual que muchas otras áreas urbanas en todo el mundo, se enfrenta a desafíos relacionados con la calidad del aire, la contaminación del agua y la preservación del patrimonio arquitectónico. La utilización de concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 puede contribuir significativamente a la mejora de la calidad de vida de los habitantes de Arequipa al abordar estos problemas. Esto se alinea con los objetivos de las autoridades locales y regionales de proporcionar un entorno urbano más saludable y sostenible.

Asimismo, la investigación propuesta se enmarca en la búsqueda de soluciones de construcción sostenible. La construcción de edificios y estructuras con materiales que poseen propiedades mecánicas mejoradas y capacidad autolimpiante tiene un impacto positivo en la eficiencia energética y en la reducción de la huella de carbono. Este enfoque se alinea con la política de desarrollo sostenible a nivel nacional e internacional, promoviendo la reducción de la contaminación y la preservación de recursos naturales.

Conservación del patrimonio arquitectónico: Arequipa es conocida por su valioso patrimonio arquitectónico, que incluye edificios históricos de fachada caravista. La utilización de concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 para acabados caravista puede ser una alternativa innovadora y respetuosa con el entorno para la restauración y preservación de estos edificios, lo que contribuye a la identidad cultural de la ciudad y a la promoción del turismo.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General

La incorporación de TiO_2 al concreto en proporciones de 0%, 3%, 6% y 9% mejora significativamente la resistencia mecánica y la capacidad autolimpiante en concretos con $f'c$ 210 kgf/cm^2 y $f'c$ 280 kgf/cm^2 para acabados caravista en Arequipa

1.4. Variables

1.4.1. Definición conceptual de las variables

1.4.1.1. Concreto Fotocatalítico con TiO_2

Esta tecnología se fundamenta en el uso de partículas de dióxido de titanio que pueden incorporarse en el cemento blanco o gris sin influir en su funcionamiento. Es aplicable en una amplia gama de concretos, con la única distinción de que tiene la

capacidad de eliminar cualquier sustancia que se encuentre adherida a su superficie, la cual pudiera potencialmente ocasionar contaminación (Silva, 2023).

1.4.1.2. Propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante

Se refieren a su comportamiento bajo cargas y fuerzas externas. Incluyen aspectos como resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y durabilidad en donde la capacidad autolimpiante es una propiedad única del concreto fotocatalítico que se debe a la acción fotocatalítica del dióxido de titanio cuando se expone a la luz solar. (León, 2013).

1.4.2. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
<u>Variable Independiente</u>	Esta tecnología se fundamenta en el uso de partículas de dióxido de titanio que pueden incorporarse en el cemento blanco o gris sin influir en su funcionamiento. Es aplicable en una amplia gama de concretos, con la única distinción de que tiene la capacidad de eliminar cualquier sustancia que se encuentre adherida a su superficie, la cual pudiera potencialmente ocasionar contaminación (Silva, 2023)	Características físicas y mecánicas	-Contaminación -Resistencia y durabilidad -Tracción directa -Decoloración	-Documentación -Procesador de Textos - Ensayos de laboratorio
<u>Variable Dependiente</u>	Se refieren a su comportamiento bajo cargas y fuerzas externas. Incluyen aspectos como resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y durabilidad en donde la capacidad autolimpiante es una propiedad única del concreto fotocatalítico que se debe a la acción fotocatalítica del dióxido de titanio cuando se expone a la luz solar. (León, 2013).	Características funcionales y estéticas	-Resistencia y durabilidad -Compatibilidad	-Procesador de textos -Normativa Técnica - Diseño de concreto -Uso y empleabilidad

Nota. Esta tabla muestra la operacionalización de variables para el desarrollo de la investigación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm^2 y $f'c$ 280 kgf/cm^2 para acabados caravista en la ciudad de Arequipa.

1.5.2. Objetivos Específicos

- 1- Realizar el diseño de mezcla de concreto empleando el método de Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados para las resistencias $f'c$ 210 kgf/cm^2 y $f'c$ 280 kgf/cm^2 .
- 2- Determinar las propiedades mecánicas del concreto endurecido con adición de TiO_2 , evaluando su capacidad autolimpiante.
- 3- Determinar el índice de decoloración en la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm^2 y $f'c$ 280 kgf/cm^2 para acabados caravista en la ciudad de Arequipa.
- 4- Evaluar el efecto de la incorporación del fotocatalizador Dióxido de Titanio en la capacidad de autolimpieza del concreto.

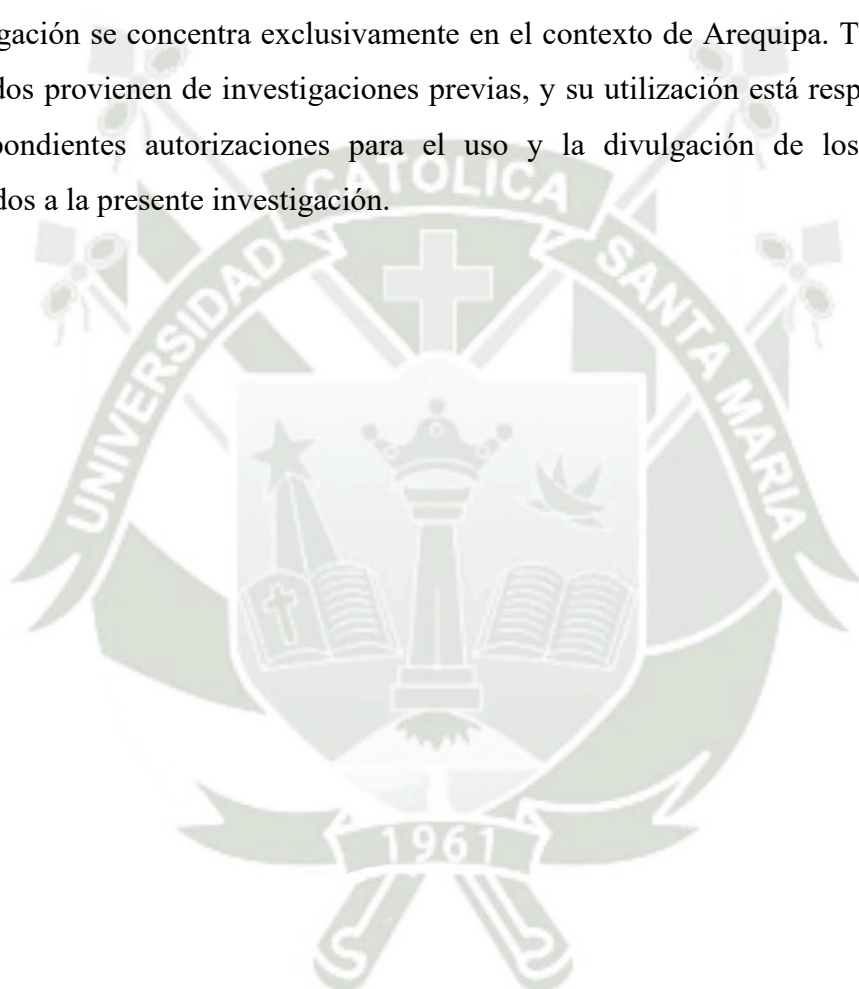
1.6. Alcance

La presente investigación se centra en llevar a cabo un estudio exhaustivo que tiene como objetivo principal investigar las propiedades mecánicas y la capacidad autolimpiante de dos tipos de concreto fotocatalítico con diferentes resistencias ($f'c$ 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2) en el contexto de acabados caravista, en la ciudad de Arequipa. El alcance de esta tesis busca contribuir al conocimiento sobre la viabilidad y ventajas del uso de concreto fotocatalítico con diferentes resistencias y adición de TiO_2 en acabados caravista, con un enfoque en la ciudad de Arequipa.

En tal sentido la investigación se llevará a cabo mediante la recopilación de información relacionada con el concreto fotocatalítico, las propiedades mecánicas del concreto, la incorporación de TiO_2 y la tecnología caravista. Este análisis servirá como base sólida para la investigación, en la cual se procederá a diseñar y producir muestras de concreto con niveles variados de resistencia ($f'c$ 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2) y diversas concentraciones de TiO_2 para su posterior evaluación. Se establecerán las mezclas de concreto específicas y los procedimientos de fabricación correspondientes.

1.7. Limitaciones

Las limitaciones inherentes a este estudio residen en la cantidad de tiempo necesario para recopilar datos sobre el tema en cuestión. La información se obtuvo principalmente de profesionales experimentados y certificados en ingeniería, como ingenieros residentes, inspectores, supervisores, calculadores y diseñadores. Dado que la temática es específica y especializada, la disponibilidad de información adicional para profundizar en aspectos más relevantes es limitada. Además, es importante señalar que la investigación se concentra exclusivamente en el contexto de Arequipa. Todos los datos utilizados provienen de investigaciones previas, y su utilización está respaldada por las correspondientes autorizaciones para el uso y la divulgación de los fundamentos asignados a la presente investigación.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado de Arte

El desarrollo de materiales de construcción avanzados ha sido un tema de creciente interés en la industria de la construcción en las últimas décadas. Estos materiales innovadores buscan mejorar tanto las propiedades mecánicas como las características funcionales de los elementos constructivos, contribuyendo así a la sostenibilidad y la durabilidad de las estructuras. Uno de estos materiales prometedores es el concreto fotocatalítico con adición de dióxido de titanio (TiO_2).

De acuerdo a estudios previos referentes al tema se tiene

Guo et al, (2020) en su artículo determinan que las partículas de nano- TiO_2 de cristales mixtos fotocatalíticos se incorporaron al hormigón mediante el método de dopaje interno (IDM) y el método de pulverización (SPM) en este artículo. Para evaluar la eficiencia de la degradación fotocatalítica del hormigón de nano- TiO_2 de cristal mixto, se eligió el naranja de metilo (MO) para simular los contaminantes. Las características fisicoquímicas y el rendimiento fotocatalítico del hormigón de nano- TiO_2 de cristal mixto preparado mediante los dos métodos diferentes anteriores se investigaron experimentalmente bajo irradiación UV e irradiación solar. Además, también se analizaron y discutieron los efectos de dos factores influyentes clave, incluida la concentración de contaminantes y las condiciones de irradiación. Los resultados experimentales indican que el hormigón de nano- TiO_2 preparado mediante el método de pulverización (S PM) exhibe una eficiencia de degradación fotocatalítica máxima del 73,82 % cuando la concentración de la suspensión de nano- TiO_2 pulverizada es de 10 mg/l. La eficiencia de degradación fotocatalítica del hormigón nano- TiO_2 sin pulir es mucho mayor que la del hormigón nano- TiO_2 pulido bajo el mismo tiempo de exposición a la irradiación UV. Además, la eficiencia de degradación fotocatalítica del hormigón nano- TiO_2 disminuye con el aumento de la concentración de contaminantes. Las condiciones de irradiación tienen una influencia obvia en la eficiencia de degradación fotocatalítica del hormigón nano- TiO_2 . En el aspecto de aplicaciones, se presentaron las recomendaciones prácticas para el hormigón nano- TiO_2 con capacidad de autolimpieza de acuerdo a los resultados experimentales.

Meng et al, (2020) en su artículo manifiestan que se preparó un adoquín de hormigón fotocatalítico a base de nanotubos de TiO_2 y se investigaron sus propiedades mecánicas, incluida la resistencia a la compresión y la abrasión, así como la eliminación fotocatalítica de NO. Los resultados indican que la resistencia a la compresión y la resistencia a la abrasión del adoquín de hormigón fotocatalítico fueron obviamente reforzadas por nanotubos de TiO_2 en comparación con las nanopartículas de TiO_2 , lo que podría derivarse de la fuerza de unión mejorada entre los nanotubos de TiO_2 y el gel de hidrato de silicato de calcio (C-S-H) derivado del cemento. hidratación. Además, el adoquín de hormigón fotocatalítico basado en nanotubos de TiO_2 muestra la mejor eliminación fotocatalítica de NO entre las muestras preparadas, lo que podría resultar de la propiedad de adsorción mejorada del gas NO sobre los nanotubos de TiO_2 , y se encontraron pocos cambios en la conversión de NO antes y después del pulido. En general, los nanotubos de TiO_2 no sólo contribuyen a reforzar las propiedades mecánicas del bloque de hormigón, sino que también se dedican a mejorar el rendimiento fotocatalítico para la purificación de NO

Zhou et al, (2021) en su artículo manifiestan que el tratamiento de la contaminación mediante el uso de técnicas fotocatalíticas se ha convertido en un tema candente en los últimos años, pero los métodos existentes que degradan agentes contaminantes mediante técnicas fotocatalíticas aún son limitados. Este artículo propuso un enfoque para limpiar la contaminación ambiental con estructuras marinas construidas con hormigón fotocatalítico. El concreto fotocatalítico se preparó utilizando un fotocatalizador (Na-g-C₃N₄) y concreto ordinario. El Na-g-C₃N₄ se creó a partir de residuos de melamina y NaCl y luego se combinó con la superficie de concreto. De esta manera, las superficies de las estructuras marinas de concreto tendrían la capacidad de degradar las películas de petróleo en la superficie del mar bajo la luz solar. Para probar el rendimiento del concreto fotocatalítico, realizamos experimentos de degradación y también se consideraron siete factores que influyen (p. ej., tiempo de irradiación, intensidad de irradiación, ángulo de irradiación, tiempo de fregado de las olas, altura de la región fotocatalítica, pH y temperatura del agua de mar). Los resultados experimentales mostraron que las tasas de degradación de los hidrocarburos de petróleo por el concreto fotocatalítico podrían alcanzar aproximadamente el 50%. Entre los siete factores que influyen, los primeros cinco factores podrían influir significativamente en el proceso de degradación, mientras que el pH y la temperatura del agua de mar no juegan un papel

importante en la degradación fotocatalítica. Con base en las observaciones de las pruebas, se encontró que la tasa de degradación estaba limitada a aproximadamente el 50%. Cuando el espesor de la película no es suficiente para soportar la formación del proceso de degradación fotocatalítica se detendrá. Este estudio representó un intento exitoso de combinar los campos de la energía limpia, la fotocatálisis, el control de la contaminación ambiental y los materiales de construcción, así como de proporcionar un nuevo método para limpiar la contaminación del petróleo mediante técnicas fotocatalíticas. Demostraremos que el concreto fotocatalítico puede degradar eficazmente las películas de petróleo en la superficie del océano en entornos marinos complejos, por lo que es factible utilizar estructuras de concreto fotocatalítico para eliminar la contaminación.

Relevancia para la Ciudad de Arequipa

La elección de la ciudad de Arequipa como entorno de estudio es significativa, dado que Arequipa enfrenta desafíos ambientales y de contaminación del aire que pueden ser mitigados con la implementación de materiales fotocatalíticos. Además, la ciudad es conocida por su arquitectura caravista, lo que resalta la importancia de evaluar cómo el concreto fotocatalítico podría integrarse en esta práctica arquitectónica.

En resumen, la investigación propuesta busca abordar una serie de cuestiones clave relacionadas con el concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 , incluyendo sus propiedades mecánicas, capacidad autolimpiante y aplicabilidad en acabados caravista en la ciudad de Arequipa. Este estado del arte proporciona un contexto sólido para esta tesis y destaca la importancia de esta investigación en el campo de la construcción y la sostenibilidad en Arequipa y otras áreas urbanas. Es por ello que se decidió recopilar información correspondiente de diferentes trabajos de investigación referente al tema, en este caso “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CAPACIDAD AUTOLIMPIANTE DEL CONCRETO FOTOCATALÍTICO CON ADICIÓN DE TiO_2 CON RESISTENCIA f'_c 210 KG/CM^2 Y 280 KG/CM^2 PARA ACABADOS CARAVISTA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA”

Estos trabajos descritos son de gran aporte e incentivan a adquirir conocimientos sobre el tema a tratar, para este caso se considerarán investigaciones de índole local, nacional e internacional.

Tabla 2
Matriz de estado de arte

Autor	Título	Aporte
Guo, Zhan; Huang, Chenxiang; Chen, Yu	Experimental study on photocatalytic degradation efficiency of mixed crystal nano-TiO ₂ concrete	Este artículo aporta conocimiento técnico y aplicado al campo de los materiales de construcción avanzados, mostrando que el uso de nano-TiO ₂ en el hormigón puede mejorar significativamente su capacidad para degradar contaminantes bajo irradiación, contribuyendo al desarrollo de ciudades más limpias y sostenibles. También establece parámetros clave para maximizar la eficiencia del material, lo que puede influir en futuras investigaciones o desarrollos normativos
Meng, Chengqi; Dong, Pengyu; Tian, Hao; Cheng, Ting; Li, Jianjun; Liu, Yin; Yang, Xiuli; Xie, Minghua; Chen, Xiaowei	Adoquín de hormigón fotocatalítico reforzado con nanotubos de TiO ₂ para la eliminación de NO	El artículo aporta al conocimiento científico y tecnológico mediante la propuesta de un adoquín de hormigón fotocatalítico más resistente y eficiente, gracias al uso de nanotubos de TiO ₂ . Este desarrollo contribuye tanto a la mejora de la infraestructura urbana como a la mitigación de la contaminación atmosférica, lo cual es clave para el diseño de ciudades sostenibles
Zhou, Yiming; Elchalakani, Mohamed; Du, Peng; Sun, Chuanzhi	Cleaning up oil pollution in the ocean with photocatalytic concrete marine structures	Este artículo representa un avance significativo al ampliar el uso del concreto fotocatalítico más allá del entorno urbano, aplicándolo en el ámbito marino con un nuevo material fotocatalítico (Na-g-C ₃ N ₄) de origen reciclado. Su principal aporte consiste en demostrar la viabilidad técnica y ambiental de utilizar estructuras de concreto como herramientas activas de descontaminación oceánica, fusionando sostenibilidad, innovación y remediación ambiental.

Nota. En la tabla se muestra la matriz de estado de arte referente a la investigación.

2.2. Antecedentes de la Investigación

Bernuy G, & Flores H, (2020) En la tesis para optar al título de Ingeniero Civil “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CAPACIDAD AUTOLIMPIABLE DEL MORTERO C/A 1:5 DE CEMENTO PORTLAND TIPO I MODIFICADO CON DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂), EN LA CIUDAD DE LIMA” de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, tuvo como objetivo general evaluar las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiable del mortero de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂), en la ciudad de Lima, presentó una metodología con un nivel de investigación descriptivo con método cuantitativo, el diseño de la investigación se basó en la determinación del porcentaje adecuado de sustitución de dióxido de titanio en la mezcla de proporción 1:5 de cemento y arena que cumpla con los requisitos de las propiedades mecánicas del concreto. Luego de ello con el porcentaje adecuado se ensayó la propiedad autolimpiantes del concreto modificado. Se obtuvo como resultados que para concretos adicionados con porcentajes de TiO₂ afectan su fluidez, solo el mortero adicionado con 5% se sitúa en el rango de consistencia media lo que indica que una mezcla con este porcentaje de adición sería de fácil manejabilidad por tener consistencia plástica. La muestra patrón (0% adición de dióxido de titanio) tiene la mayor tasa de fluidez 109.78% y la menor le corresponde al espécimen con adición de 10% de fotocatalizador. El realizar las mezclas según norma no permite observar saber si un trabajador normal de la pasta en campo podría trabajar con esta puesto que en el ensayo se hace con una mezcladora mecánica. Con respecto a la fluidez, los porcentajes de disminución de esta propiedad del mortero fueron de 8.26%, 14.51%, 21.65% según la adición de dióxido de titanio en porcentajes de 5%, 7.5% y 10% respectivamente, finalmente se concluye que, para el resultado de la evaluación de la actividad fotocatalítica en el mortero patrón y los modificados podemos observar en los resultados que el mortero patrón no está en el rango para ser considerado fotocatalítico de la rodamina, pero si los morteros adicionados con 5%, 7.5% y 10% siendo el que mejor índice de actividad es el último con 84.19%, se pudo observar durante la experiencia como el compuesto rodamina se iba desapareciendo de los especímenes, aunque podemos agregar que la exposición a los rayos UV no es del todo grata.

Fernández M, & Huamán F, (2022) en la tesis para optar al título de Ingeniero Civil “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y RESISTENCIA DEL CONCRETO F'C=210 KG/CM² ADICIONANDO FIBRA DE

CAUCHO RECICLADO, CHEPEN-2022” tuvo como objetivo evaluar cómo influye la adición de FCR en las propiedades físicas, mecánicas y resistencia del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ – Chepén 2022. Teniendo como metodología el método Cuasi- Experimental se usó para este proyecto, planteando un enfoque cuantitativo y explicativo. La población se conforma por el diseño de mezcla con la adición de FCR con las dosificaciones de en 0%, 4% y 8% de acuerdo con el peso del cemento. Se realizaron ensayos de esfuerzo a compresión y tracción a los 7, 14 y 28 días, teniendo como resultados a compresión a los 28 días fueron de 232.43 kg/cm^2 , 246.03 kg/cm^2 y 267.33 kg/cm^2 y para la tracción fue de 28.40 kg/cm^2 , 31.37 kg/cm^2 y 34.43 kg/cm^2 respectivamente, también se realizó ensayo a flexión a los 28 días dando como resultado 35.83 kg/cm^2 , 39.80 kg/cm^2 y 42.53 kg/cm^2 , los cuales son características mecánicas del concreto, para los ensayos de propiedades físicas en estado inicial la trabajabilidad fue de 7.62 cm, 8.89 cm y 8.26 cm en las dosificaciones de 0%, 4% y 8%, peso unitario en estado inicial de 2301 kg/cm^3 , 2327 kg/cm^3 y 2337 kg/cm^3 y contenido de aire en 2.5%, 2.1% y 2.3%. Donde finalmente se llegó a la conclusión que las dosificaciones del 4% y 8% de FCR en el concreto favorece de manera positiva en los resultados para los esfuerzos de compresión, tracción y flexión.

Fernández J, (2023) en su artículo científico titulado “INFLUENCIA DEL DIÓXIDO DE TITANIO EN EL CONCRETO PERMEABLE CON EFECTO FOTOCATALIZADOR” tuvo como objetivo determinar la influencia del dióxido de titanio en el concreto permeable con efecto fotocatalizador. Empleó una población de investigación de 63 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm y 42 probetas de 9.5 x 15 cm de concreto; teniendo como muestra probetas con diseño convencional (sin adición de titanio), y por los diseños de mezcla utilizando dióxido de titanio, considerando el estado de dióxido de titanio y el porcentaje de este sobre el concreto. Finalmente e determinó que los especímenes con 1,5% de TiO_2 en fase anatasa presentaron buenos índice de coeficiente de permeabilidad en relación de la muestra patrón, la mayor resistencia a la compresión se presenta en la muestra con 1.5% de TiO_2 en fase rutilo, siendo seguidos por los especímenes con 5,5% de TiO_2 en fase rutilo y 1.5% en la fase anatasa que también presentaron buenos índice de resistencia a la compresión; la mayor propiedad fotocatalíticas se presentaron en los especímenes con 1,5% de TiO_2 en fase anatasa. Se concluyó: la dosificación de 1.5% en la fase anatasa es la más recomendable dado que

muestra buen índice de permeabilidad, así como mejoras significativas en la resistencia a la compresión del concreto y en la propiedad fotocatalítica.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Concreto Fotocatalítico

Se trata de una tecnología que se basa en partículas de dióxido de titanio, y se puede aplicar a tanto el cemento blanco como el gris sin tener ningún efecto negativo en su rendimiento. Puede ser utilizada en cualquier tipo de concreto, con la única diferencia de que puede eliminar cualquier sustancia que se haya adherido a su superficie y que pueda causar alguna forma de contaminación. Este proceso es conocido como fotocátalisis, en el cual, cuando la luz solar incide en la superficie, se neutralizan los contaminantes, en su mayoría orgánicos y algunos inorgánicos, y posteriormente, gracias a la lluvia, la superficie es lavada, eliminando así las partículas contaminantes. De esta manera, las fachadas se mantienen limpias sin necesidad de aplicar productos químicos potencialmente perjudiciales, lo que conlleva un ahorro de costos en cuanto al mantenimiento (Silva, 2023)

En tal sentido, se conforma de fibras naturales y restos de materiales de construcción, como ladrillos y caucho de neumáticos. Aunque tanto los residuos como las fibras son fundamentales para las propiedades del concreto, es el componente de caucho el que aporta su singularidad (Pérez, 2018).

De igual manera que, es un material de construcción especial que incorpora dióxido de titanio (TiO_2) en su composición con el objetivo de aprovechar sus propiedades fotocatalíticas. Estas propiedades hacen que el concreto sea capaz de descomponer contaminantes orgánicos y mantener sus superficies más limpias cuando se expone a la luz solar o artificial.

2.3.1.1. Aplicaciones del concreto fotocatalítico

La máxima eficiencia de este tipo de concreto se observa claramente en proyectos a gran escala, especialmente en aquellos que presentan una amplia superficie expuesta a la luz, lo que conduce a un mejor rendimiento en términos de autolimpieza y descontaminación. Ejemplos destacados de su aplicación se encuentran en pavimentos y fachadas de edificios en entornos urbanos con un tráfico intenso. (Silva, 2023).

2.3.1.1.1. Ejemplo sobre el uso de las aplicaciones del concreto fotocatalítico.

Este concreto ha sido utilizado para edificios en lugares altamente contaminados con excelentes resultados.

- La sede de Air France en el aeropuerto internacional de Roissy-Charles de Gaulle, cerca de París, donde el edificio de concreto blanco ha mantenido su color.

Figura 1.

Aeropuerto Roissy- Charles de Gaulle en París, ejemplo de edificaciones con concreto fotocatalítico



Nota. En la figura 1 se aprecia Aeropuerto Roissy- Charles de Gaulle en París. imagen tomada de (Silva, 2023).

- La iglesia del Jubileo en Roma, son solo algunos ejemplos de la aplicación de esta tecnología.

Figura 2.

Iglesia de Jubileo en Roma, ejemplo de edificación con concreto fotocatalítico



Nota. En la figura 2 se aprecia la iglesia Jubileo en Roma imagen tomada de (Silva, 2023).

2.3.1.2. Características del concreto fotocatalítico

- **Fotocatálisis:** La principal característica del concreto fotocatalítico es su capacidad para acelerar reacciones químicas en presencia de luz. El dióxido de titanio (TiO_2) actúa como un fotocatalizador que descompone contaminantes orgánicos, como las partículas de suciedad, las manchas de aceite y otros compuestos orgánicos en la superficie del concreto.
- **Autolimpieza:** Gracias a su capacidad fotocatalítica, el concreto fotocatalítico es autolimpiante, lo que significa que puede mantener su superficie más limpia con el tiempo, reduciendo la necesidad de limpieza y mantenimiento manual.
- **Mejora de la calidad del aire:** Al descomponer contaminantes del aire, el concreto fotocatalítico puede contribuir a la mejora de la calidad del aire en entornos urbanos al reducir la concentración de compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno.
- **Durabilidad:** Además de sus propiedades autolimpiantes, el concreto fotocatalítico puede tener propiedades mecánicas similares o incluso superiores a las del concreto convencional, lo que contribuye a la durabilidad de las estructuras.

2.3.1.3. Empleabilidad del concreto fotocatalítico

- **Fachadas y revestimientos:** El concreto fotocatalítico se utiliza comúnmente en fachadas de edificios, revestimientos exteriores y superficies exteriores expuestas a la contaminación y las inclemencias del tiempo. Su capacidad autolimpiante lo convierte en una elección atractiva para mantener la estética de los edificios.
- **Pavimentos y calles:** En áreas urbanas, el concreto fotocatalítico se utiliza en pavimentos de calles y plazas, lo que contribuye a reducir la contaminación del aire y a mantener las superficies limpias.
- **Infraestructura vial:** En carreteras y puentes, el concreto fotocatalítico puede ayudar a mantener la visibilidad y la seguridad al reducir la acumulación de suciedad y contaminantes en las superficies de tráfico.

- **Túneles y espacios subterráneos:** En espacios subterráneos, como túneles y estaciones de metro, el concreto fotocatalítico puede mejorar la calidad del aire al reducir la concentración de gases y partículas contaminantes.

2.3.2. Dióxido de titanio (TiO_2)

Es un compuesto inorgánico de color blanco que se encuentra en estado sólido en la naturaleza. Está constituido por la unión de un átomo de titanio y dos átomos de oxígeno, lo que resulta en la fórmula química TiO_2 . Presenta notables características, como una elevada estabilidad tanto en términos físicos como químicos, su inocuidad para los seres humanos, su abundancia en la Tierra y su capacidad de ser compatible con la biología. Estas particularidades han permitido su aplicación como un pigmento altamente blanco en productos como pinturas, cosméticos, y cremas corporales, así como su uso como aditivo en alimentos enlatados y bloqueadores solares. Además, debido a sus propiedades físicas y químicas, también se emplea en la vanguardia tecnológica, especialmente en la fabricación de dispositivos electrónicos, como sensores de gases y ventanas termocrómicas, que cambian de color según las condiciones ambientales. (Hernández E. , 2022).

De igual manera que, el dióxido de titanio (TiO_2), entre varios catalizadores semiconductores, es el fotocatalizador más usado en virtud de su fotoactividad favorable, estabilidad química, no tóxico y bajo costo, además de sus excelentes características que la hacen aptas para las aplicaciones de fotocatálisis. La aplicación principal del dióxido de titanio es destinada en un 98% como pigmento blanco (agente blanqueador, recubrimientos etc.) y solo un 2% se utiliza para obtenerlo como metal, revestimiento de electrodos para soldadura entre otros (Najar S. , 2021).

Asimismo, el dióxido de titanio es un compuesto químico ampliamente presente en la naturaleza como uno de los óxidos más frecuentes del titanio, un metal de transición que se halla en la corteza terrestre en diversos minerales como rutilo, anatasa e ilmenita. En la industria alimentaria, se emplea como un aditivo colorante conocido con la denominación E171 (Maldonado, 2023).

Tabla 3.
Propiedades físicas del dióxido de titanio (TiO₂)

PROPIEDAD	RUTILO (b)	ANATASE	BROOKITA
Peso Molecular (gr/mol)	79.89	79.89	79.89
Sistema cristalino	Tetragonal	Tetragonal- Octaédrica	Ortorrómbico
Volumen	62.07	136.25	257.38
Volumen molar (m ³ /mol)	18,693	20,156	19,377
Densidad (kg/m ³)	4,274	3,895	4,123

Nota. En la tabla 3 se aprecia los valores en cuanto a las propiedades del dióxido de titanio, datos tomados de (Najar S. , 2021).

2.3.2.1. Método de laboratorio para la obtención de dióxido de titanio (TiO₂)

Principalmente se utilizan estos métodos para crear productos con atributos particulares a partir de soluciones acuosas o alcohólicas que contienen dióxido de titanio (TiO₂) en su composición (Najar S. , 2021).

2.3.2.1.1. Proceso de sulfatado.

La química involucrada en el proceso de sulfato consta de tres etapas fundamentales: la disolución del mineral, la creación de dióxido de titanio en forma hidratada y la generación de dióxido de titanio sin agua (Grupo Neumann, 2022).

- **Proceso de mineralización:** El mineral utilizado suele ser la ilmenita, la cual se somete a una molienda fina y luego se disuelve en ácido sulfúrico, generando una mezcla de sulfatos. Es crucial eliminar los iones de hierro de la solución para evitar que afecten el color del producto final. Tras la filtración, la solución restante contiene sulfato de titanio, conocido como TiOSO₄ (Grupo Neumann, 2022).
- **Generación de dióxido de titanio hidratado:** La etapa subsiguiente involucra la hidrólisis del sulfato de titanio en solución para obtener dióxido de titanio hidratado, que es insoluble (Grupo Neumann, 2022).
- **Producción de dióxido de titanio anhidro:** La fase final del proceso implica calentar el sólido en un horno rotatorio alimentado con llamas de gas. Este proceso permite evaporar el agua y descomponer cualquier residuo de ácido sulfúrico presente en el sólido. Tras el enfriamiento, el producto se somete a una trituration para formar cristales del tamaño requerido (Grupo Neumann, 2022).

2.3.2.2. Prueba de rodamina B

La rodamina desempeña un papel fundamental en la evaluación de la capacidad fotocatalítica de los adoquines de concreto, ya que su decoloración indica la degradación de diferentes contaminantes presentes en el ambiente. Este compuesto se emplea según las pautas de la Norma Italiana UNI 11259-2008, donde el colorante químico se utiliza para medir la eficiencia fotocatalítica (Najar S. , 2021).

De igual manera, la rodamina pertenece a una categoría de compuestos orgánicos heterocíclicos que son fluorescentes y derivan del amino-xanteno. Dentro de esta familia, encontramos la rodamina B, la rodamina 6G y la rodamina 123, que también se pueden considerar derivados de la fluoresceína. Estos compuestos tienen diversas aplicaciones, como su uso en la agricultura para distinguir entre semillas tratadas y no tratadas. Además, se utilizan como colorantes en industrias textiles y de papel, y se introducen en láseres de colorante. También son comúnmente empleados en el agua para medir la velocidad, volumen y dirección del flujo, facilitando la ubicación de una línea. La ventaja de estos compuestos radica en su capacidad para cambiar de color de manera sencilla y económica, lo que se logra mediante instrumentos conocidos como fluorómetros, en comparación con otros pigmentos (Najar S. , 2021).

En tal sentido, las rodaminas, siendo compuestos orgánicos, tienen la capacidad de disolverse en agua, metanol y etanol. En cuanto a su nivel de toxicidad, se considera bajo, aunque es importante señalar que estudios realizados en los Estados Unidos sugieren que la rodamina B podría tener propiedades carcinogénicas, lo que justifica la necesidad de incluir una etiqueta de advertencia. Este compuesto suele presentarse en forma de un sólido cristalino de color verde brillante, y es altamente soluble en agua (con una concentración de hasta 50g/L) y en alcoholes. Las soluciones de rodamina B en estos solventes adquieren un color rojo con una intensa fluorescencia característica. Es relevante destacar que, a pesar de su solubilidad en agua, es importante tener en cuenta que el cloro utilizado para tratar el agua del grifo puede descomponer la rodamina B. Además, estas soluciones tienden a ser absorbidas por los envases plásticos comunes en los que se almacena, por lo que es recomendable mantenerla en recipientes de vidrio (Najar S. , 2021).

La rodamina B tiene características apropiadas para ser elegida como material de diversos tipos de ensayos colorimétricos debido a que:

- Posee baja foto sensibilidad a la luz UV
- Alta estabilidad en un entorno básico
- Alta sensibilidad colorimétrica
- Amplio uso en fotocátalisis

2.3.2.3. Prueba de rodamina UNI 11259

La Unificación Nacional Italiana, conocida como UNI, es una entidad conformada por organizaciones tanto privadas como públicas, que ha obtenido reconocimiento legal. Esta entidad es miembro de origen italiano en dos importantes organismos internacionales: la ISO (Organización Internacional de Estandarización) y el CEN (Comité Europeo de Normalización). UNI se dedica a la elaboración y promulgación de normas técnicas en una amplia variedad de sectores, a excepción de los campos eléctrico y electrónico. Una de las normas emitidas por UNI es la UNI 11259-2008, la cual tiene como propósito la utilización del método colorimétrico con el pigmento rodamina para cuantificar la actividad fotocatalítica. Este proceso implica la recopilación de datos numéricos y se basa principalmente en el registro de cambios en el color a lo largo del tiempo, con un límite de 26 horas. Esta prueba se lleva a cabo en muestras creadas a partir de cemento previamente tratado con dióxido de titanio y pigmentado con rodamina B, que es un pigmento orgánico. El ensayo se realiza en condiciones de radiación UV-A, típicamente utilizando lámparas UV, a una distancia de 1 metro o menos (Najar S. , 2021).

En tal sentido, durante el experimento, se observará la actividad fotocatalítica mediante la reducción del color de la rodamina. Para llevar a cabo la medición del cambio de color, se utilizará un dispositivo llamado colorímetro, y la interpretación de los resultados estará a cargo de un investigador. La métrica principal que se utilizará para evaluar la actividad fotocatalítica se basa en el parámetro " a^* ", que sirve como referencia para el color rojo. Para recopilar datos, se tomará una medida inicial de " a^* " justo antes de exponer la muestra a la lámpara UV-A, es decir, a^* (0 horas). Posteriormente, se realizarán dos mediciones adicionales, una a las 4 horas después del inicio de la exposición, que se denotará como a^* (4 horas), y otra después de 26 horas, a^* (26 horas) (Najar S. , 2021).

Finalmente, se calcularán los valores R4 y R26 utilizando la fórmula siguiente para determinar la capacidad fotocatalítica de la muestra, la cual debe ser mayor al 15% de decoloración para validar su actividad fotocatalítica (Najar S. , 2021).

2.3.2.4. Prueba de autolimpieza

Esta evaluación se basa en la apreciación u observación, en la que se emplea la rodamina B como tinte orgánico aplicado en la superficie de una estructura de concreto fabricada con cemento fotocatalítico. Posteriormente, se expone el panel o la pieza de concreto a una exposición de 24 a 48 horas de luz ultravioleta, y se recopilan datos de manera periódica. Una de las características clave de este tipo de adoquín fotocatalítico es su capacidad de autolimpieza, la cual tiene una importancia significativa. Esto se debe a que no solo se consideran las propiedades físicas y mecánicas del adoquín, sino también su aspecto visual. Un ejemplo claro de esto es cómo los edificios, con el paso del tiempo, van perdiendo su atractivo estético debido al envejecimiento y la contaminación ambiental, que manchan las estructuras y son afectadas por las condiciones climáticas. Sin embargo, el mantenimiento constante de estas estructuras conlleva a menudo costos adicionales cuando se utilizan otros materiales. El uso del concreto autolimpiable ofrece una solución a este problema (Najar S. , 2021).

Asimismo, la capacidad de autolimpieza de un material se debe principalmente a su eficaz capacidad para oxidar las moléculas orgánicas. Los radicales de oxígeno generados a partir de los rayos UV en la superficie del fotocatalizador TiO_2 tienen un alto poder oxidativo y pueden descomponer los compuestos orgánicos presentes. La atmósfera proporciona el agua y el oxígeno necesarios para la formación de estos radicales OH, mientras que la luz ultravioleta contenida en la luz solar es esencial para activar el TiO_2 .

Finalmente, para evaluar la resistencia a la erosión de las paredes exteriores de construcciones construidas con concreto que contiene dióxido de titanio (TiO_2), se llevará a cabo un seguimiento y control de su cambio de color a lo largo del tiempo. Este seguimiento constituye una manera directa de determinar la efectividad de la capacidad de autolimpieza proporcionada por el TiO_2 presente en el concreto.

2.3.3. Fotocatálisis

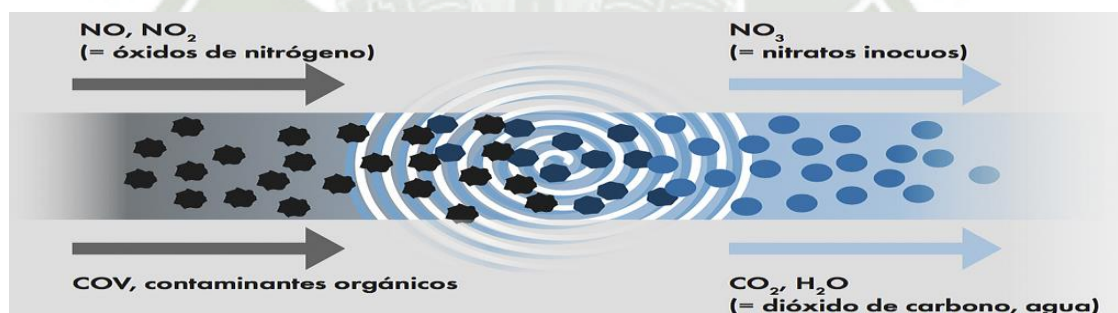
Es un proceso natural que aprovecha la luz solar para eliminar el dióxido de carbono y producir sustancias orgánicas. Este principio de descontaminación se basa en

la naturaleza misma, y, en este contexto, también elimina otros contaminantes atmosféricos comunes, como óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles, virus y bacterias, gracias a una reacción de oxidación inducida por la energía solar. En resumen, es una reacción fotoquímica que convierte la energía solar en energía química en presencia de un catalizador. El catalizador más frecuentemente utilizado es el dióxido de titanio (TiO_2), que se encuentra en productos como protector solar, aspirina y pastas dentales, entre otros (Fernández R. , 2020).

De igual manera que, la fotocatalisis es un proceso químico que utiliza la luz, generalmente la luz solar, para impulsar reacciones químicas en una superficie catalítica. Esta reacción se basa en la capacidad de ciertos materiales, conocidos como fotocatalizadores, para absorber la luz y activar procesos de oxidación y reducción. Uno de los fotocatalizadores más comunes es el dióxido de titanio (TiO_2). La fotocatalisis se utiliza en diversas aplicaciones, incluyendo la descontaminación del aire y el agua, la eliminación de compuestos orgánicos y la degradación de agentes patógenos como bacterias y virus.

Figura 3.

Proceso de fotocatalisis



Nota. En la figura 3 se aprecia el proceso de fotocatalisis en el procedimiento de evitar la contaminación del aire, imagen tomada de (Fernández R. , 2020).

2.3.4. Acabados caravista

Se consideran como una mezcla de agua, cemento, agua, agregados y aditivos en proporciones adecuadas, de tal manera que estos puedan quedar simplemente expuestos. (López, 2018).

Asimismo, también conocidos como acabados "vista limpia" o "vista exterior" en algunos contextos, son un tipo de acabado arquitectónico utilizado en la construcción de edificios y estructuras. Este tipo de acabado se caracteriza por dejar visible la textura y la apariencia natural del material de construcción utilizado, que suele ser el concreto.

2.3.4.1. Clasificación de los acabados caravista.

- **Concreto liso:** Se puede alcanzar creando el encofrado mediante la utilización de láminas de madera contrachapada (también conocida como triplay), láminas metálicas o sintéticas, con el propósito de generar uniones extremadamente delgadas y apenas perceptibles (López, 2018).
- **Concreto texturado:** Se refiere a la textura que se obtiene al eliminar de manera temprana el molde o encofrado de la superficie de concreto que se va a mostrar, creando una superficie ligeramente rugosa y porosa que permite que el concreto adopte su forma natural (López, 2018).
- **Bloques de concreto:** El resultado se logra al emplear una variedad de madera como molde, de manera que su textura quede impresa en el concreto. En estas situaciones, la elección de la madera a emplear y su colocación son aspectos de suma relevancia (López, 2018).

2.3.4.2. Características de los acabados caravista.

- **Textura y Apariencia Visible:** La característica distintiva de los acabados caravista es que muestran la textura y apariencia natural del material de construcción, como el concreto, sin ocultarlos detrás de capas de revestimiento o acabado. Esto significa que las imperfecciones, vetas, agujeros y variaciones en la superficie del material son visibles y pueden contribuir a la estética del edificio.
- **Estética Natural:** Los acabados caravista son apreciados por su estética natural y rústica. Este tipo de acabado a menudo se utiliza en edificios que buscan una apariencia auténtica y una conexión con los materiales de construcción originales.
- **Versatilidad de Materiales:** Aunque el concreto es uno de los materiales más comunes para los acabados caravista, también se pueden utilizar otros materiales, como ladrillos o piedra, para lograr el mismo efecto de mostrar la textura natural.
- **Proceso de Acabado:** Para lograr un acabado caravista, se requiere un proceso de construcción especial. El concreto se vierte en moldes que pueden ser de madera, metal u otros materiales, y luego se retiran los moldes antes de que el concreto esté completamente seco. Esto permite que la superficie del concreto conserve su textura original.

2.3.4.3. Aplicaciones de los acabados caravista.

- **Fachadas de Edificios:** Los edificios comerciales y residenciales a menudo utilizan acabados caravista en las fachadas para darles un aspecto distintivo y natural. Esto puede ser especialmente adecuado para edificios que se integran en entornos urbanos o rurales.
- **Paredes Interiores:** En interiores, los acabados caravista pueden utilizarse para crear paredes de acento, chimeneas, columnas y otros elementos arquitectónicos que realzan la estética del espacio.
- **Elementos Paisajísticos:** Los acabados caravista también se utilizan en la construcción de elementos paisajísticos, como muros de contención, bancos y revestimientos de superficies exteriores.
- **Restauración de Edificios Históricos:** En la restauración de edificios históricos, los acabados caravista se utilizan a menudo para preservar y realzar la apariencia original de la estructura.



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

Hernández Sampieri, et al, (2014)) establece que la investigación explicativa “Busca determinar las causas de un fenómeno y explicar por que ocurren, permitiendo en si comprender en profundidad los factores que determinan su comportamiento ” (pág. 92)

Es **Explicativa**, ya que pretende analizar y determinar los criterios que se van a considerar para evaluar las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia f'_c 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 para acabados caravista en la ciudad de Arequipa.

La investigación es de naturaleza explicativa en este análisis.

3.2. Diseño de la Investigación

Hernández et al, (2014) establece que la investigación es **Experimental**; ya que, plantea “Situación de control en la cual se manipulan, de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos)” (pág. 130)

3.2.1. Variable Dependiente

3.2.1.1. Propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante

Se refieren a su comportamiento bajo cargas y fuerzas externas. Incluyen aspectos como resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y durabilidad en donde la capacidad autolimpiante es una propiedad única del concreto fotocatalítico que se debe a la acción fotocatalítica del dióxido de titanio cuando se expone a la luz solar (León, 2013).

3.2.2. Variable Independiente

3.2.2.1. Concreto Fotocatalítico con TiO_2

Esta tecnología se fundamenta en el uso de partículas de dióxido de titanio que pueden incorporarse en el cemento blanco o gris sin influir en su funcionamiento. Es aplicable en una amplia gama de concretos, con la única distinción de que tiene la capacidad de eliminar cualquier sustancia que se encuentre adherida a su superficie, la cual pudiera potencialmente ocasionar contaminación (Silva, 2023).

3.3. Métodos de Investigación

Línea de investigación: Diseño de concreto

Se va a emplear como técnica la **Adquisición de datos mediante ensayos de laboratorio.**

Para desarrollar la técnica se aplicará la **Observación directa.**

De acuerdo Arias F, (2012) establece que la observación directa “Radica en estudiar y poder preparar un informe que este detallado para que permita ayudar a resumir la información que se necesite” (pág. 52).

En este estudio se empleará las técnicas de adquisición de datos como pruebas de laboratorio y el uso del análisis e interpretación de los resultados.

3.3.1. Materiales y Equipos.

Materiales para utilizar

Tabla 4

Materiales

CEMENTO	YURA TIPO IP
AGREGADO FINO	Cantera “LA PODEROSA”
AGREGADO GRUESO	Cantera “LA PODEROSA”
AGUA	POTABLE
ADITIVO	TiO ₂ - TRONOX CR-828

Nota. En la tabla se aprecia los distintos materiales a emplear para desarrollar el concreto fotocatalítico, para el modelamiento se empleará en el desarrollo de la investigación.

Diseños de mezcla

Tabla 5

Diseño de mezcla

METODO	MODULO	2 diseños: 210 Kgf/cm ² y 280 Kgf/cm ²
DE FINEZA		

Nota: En la tabla 5 se aprecia el diseño de mezcla para el método de fineza a considerar el cual fue de 2 diseños: 210 Kgf/cm² y 280 Kgf/cm².

TIO 2

Dosificaciones

Tabla 6

Dosificaciones

F^c= 210 Kg/cm²	0 %, 3 %, 6 %, 9 % de TiO ₂
F^c= 280 Kg/cm²	0 %, 3 %, 6 %, 9 % de TiO ₂

Nota, en la tabla se especifica la cantidad de aditivo a emplear tanto en **CONCRETO PATRÓN (0%)** de las cuales se emplearán 30 muestras para fines académico, como también la cantidad de aditivo a emplear al 3%, 6%, 9%.

Variable de respuesta: Resistencia a la compresión, permeabilidad y efecto fotocatalizador.

Características

El TiO₂ funge como un aditivo en la fabricación de concreto para potenciar sus propiedades fotocatalíticas, permitiendo que el concreto tenga la capacidad de purificar el aire y autolimpiarse. Se centra en el uso de TiO₂ en el concreto permeable para evaluar su resistencia a la compresión, permeabilidad y efecto fotocatalizador. El TiO₂ se ha convertido en un componente clave en la construcción de estructuras inteligentes con beneficios ambientales significativos, aunque su implementación a gran escala todavía requiere un mayor impulso y comprensión.

Días de análisis

Tabla 7

Días de evaluación

DIAS DE ANALISIS	7, 14 y 28 días
-------------------------	-----------------

Nota. En la tabla 7 se aprecia los días de análisis, los cuales fueron 7, 14 y 28 días respectivamente para la realización de los ensayos.

ENSAYOS

ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD A LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS:

CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS

- Contenido de humedad del agregado fino (Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregado por secado NTP 339.185). (NTP 339.185, 2002)
- Contenido de humedad del agregado grueso (Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregado por secado NTP 339.185) (NTP 339.185, 2002)

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

- Peso específico y absorción de agregado fino (Método de ensayo normalizado para densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción de agregado fino NTP 400.022). (NTP 400.022, 2013)
- Peso específico y absorción de agregado grueso (Método de ensayo normalizado para densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción de agregado grueso NTP 400.021). (NTP 400.021, 2013)

PESO UNITARIO DE AGREGADOS

- Peso unitario de agregado fino (Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado NTP 400.017). (NTP 400.017, 2011)
- Peso unitario de agregado grueso (Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado NTP 400.017). (NTP 400.017, 2011)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

- Análisis granulométrico del agregado fino (Análisis granulométrico del agregado grueso, fino y global NTP 400.012). (NTP 400.012, 2018)
- Análisis granulométrico del agregado grueso (Análisis granulométrico del agregado grueso, fino y global NTP 400.012). (NTP 400.012, 2018)

PASANTE DE LA MALLA N° 200

- Material pasante de la malla N° 200 del agregado fino (Método del ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ g (N° 200) por lavado en agregados NTP 400.018). (NTP 400.018, 2013)

ENSAYO Y CONTROL DEL CONCRETO FRESCO:

- Grado de asentamiento del concreto fresco. (NTP 339.035, 2009)
- Peso unitario del concreto fresco. (NTP 339.046, 2008)
- Temperatura en concreto fresco. (NTP 339.184, 2021)
- Moldeo de concreto. (NTP 339.183, 2013)

ENSAYOS PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ENDURECIDO

- Resistencia a la compresión axial. (NTP 339.034, 2015)
- Resistencia a la tracción indirecta. (NTP 339.034, 2015)

ENSAYO DE CONTROL DE ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA DEL CONCRETO

- Prueba de Rodamina. (UNI 11259-8: 2016, 2016)

CUADRO DE ENSAYO DE LABORATORIOS:

Tabla 8

Ensayos de laboratorio

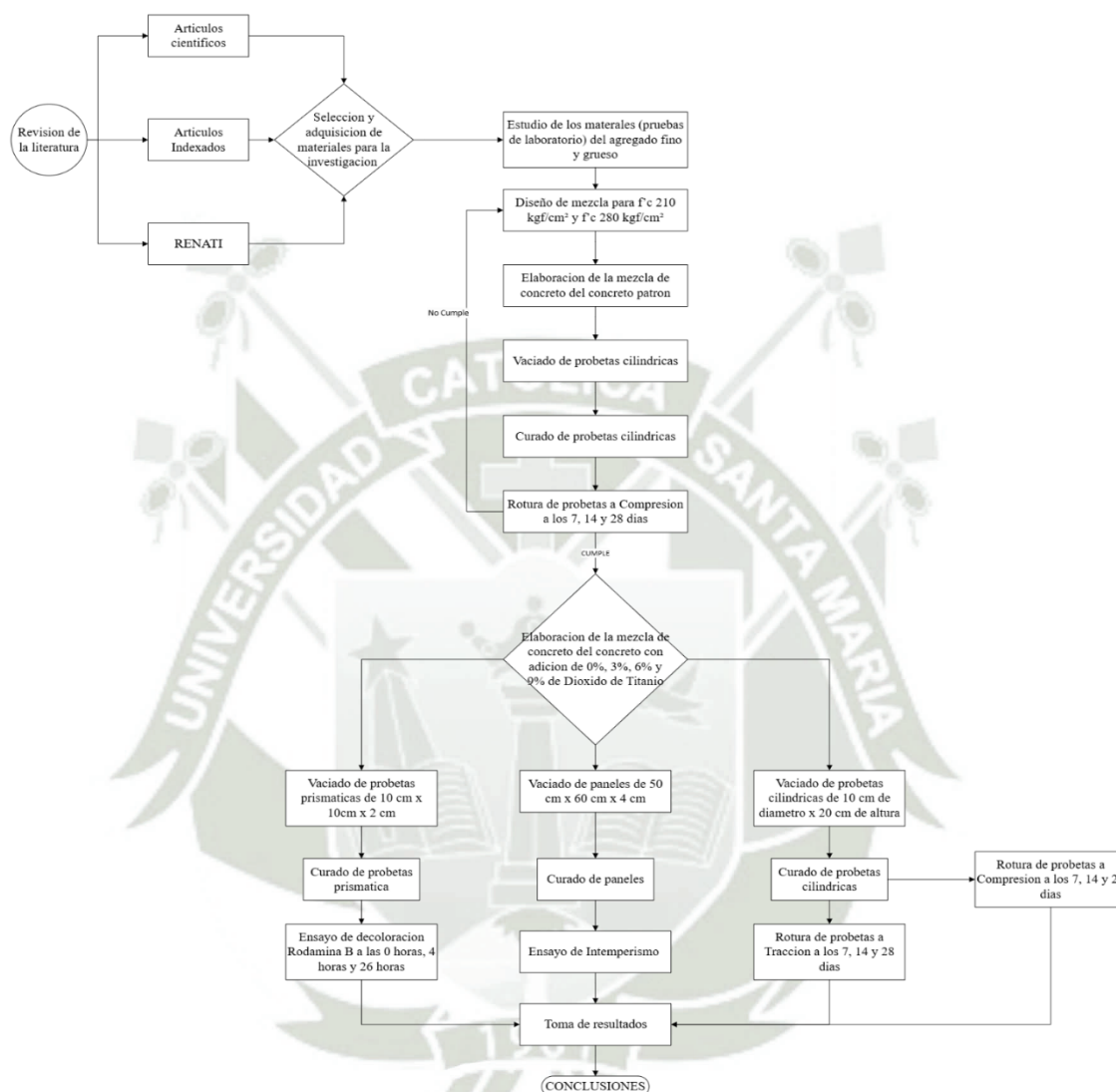
ITEM	ENSAYO	NORMATIVA
ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD A LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS:		
1	Contenido de humedad del agregado fino	NTP 339.185
2	Contenido de humedad del agregado grueso	NTP 339.185
3	Peso específico y absorción de agregado fino	NTP 400.022
4	Peso específico y absorción de agregado grueso	NTP 400.021
5	Peso unitario de agregado fino	NTP 400.017
6	Peso unitario de agregado grueso	NTP 400.017
7	Análisis granulométrico del agregado fino	NTP 400.012
8	Análisis granulométrico del agregado grueso	NTP 400.012
9	Material pasante de la malla N° 200	NTP 400.018
ENSAYO Y CONTROL DEL CONCRETO FRESCO:		
10	Grado de asentamiento del concreto fresco	NTP 339.035
11	Peso unitario del concreto fresco	NTP 339.046
12	Temperatura en concreto fresco	NTP 339.184
13	Moldeo de concreto	NTP 339.183
ENSAYOS PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO		
ENDURECIDO		
14	Resistencia a la compresión axial	NTP 339.034
15	Resistencia a la tracción indirecta	NTP 339.084
ENSAYO DE CONTROL DE ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA DEL CONCRETO		
16	Prueba de Rodamina	UNI 11259
17	Prueba de Intemperismo	

Nota. En la tabla 8 se aprecia los ensayos de laboratorio a considerar, los cuáles constan de 17 ensayos respectivamente.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Figura 4.

Diagrama de flujo de proceso



Nota. En la figura 4 se aprecia el diagrama del flujo del proceso de realización del estudio.

Muestras

PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN Y TRACCIÓN INDIRECTA:

Para el ensayo a compresión y tracción indirecta se usará especímenes cilíndricos, con un tamaño de muestra de **9 unidades** por diseño y por cada día de análisis, teniendo un total de **432** probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura (4 Pulg x 8 Pulg). Los cuáles se realizarán de manera particular para poder analizarlos en el laboratorio de la Universidad Católica Santa María.

Tamaño de muestra para ensayo de compresión y tracción indirecta

MUESTRAS

PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN Y TRACCIÓN INDIRECTA:

Para el ensayo a compresión y tracción indirecta se usará especímenes cilíndricos, con un tamaño de muestra de 9 unidades por diseño y por cada día de análisis, teniendo un total de **432** probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura (4 pulg x 8 pulg).

Tamaño de muestra para ensayo de compresión y tracción indirecta.

$$TAMAÑO DE MUESTRA = \frac{z^2 * \sigma^2}{E^2}$$

Donde:

- z : Factor de confiabilidad
- E : Error
- σ : Desviación estándar

Para calcular el tamaño de la muestra, se trabajará con una confiabilidad de **98%**, usando los siguientes datos:

- $z = 2.33$
- $E = 10 \text{ kgf/cm}^2$
- $\sigma = 10 \text{ kgf/cm}^2$

$$TAMAÑO DE MUESTRA = \frac{z^2 * \sigma^2}{E^2}$$

$$TAMAÑO DE MUESTRA = \frac{(2.33)^2 * (10 \text{ kgf/cm}^2)^2}{(10 \text{ kgf/cm}^2)^2}$$

$$TAMAÑO DE MUESTRA = 5.43 \equiv 6 \text{ unidades}$$

- Tamaño de la muestra que se usara: 9 unidades
- Ensayos mecánicos: 2 (tracción y compresión)

- Días de ensayo: 3 días (7, 14 y 28 días)

Tabla 9
Tamaño de muestra para los ensayos de tracción directa

MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA	RESISTENCIA (f'c kgf/cm²	TIEMPO DE CURADO (DIAS)	% TiO₂ ADICIONADO			
			0%	3%	6%	9%
Método Modulo de Fineza de la combinación de los agregados	210	7	9	9	9	9
		14	9	9	9	9
		28	9	9	9	9
	280	7	9	9	9	9
		14	9	9	9	9
		28	9	9	9	9
216						

Nota. En la tabla 9 se aprecia los tamaños de muestra a considerar con adición, para lo cual se requieren 216 muestras representativas.

Tabla 10
Tamaño de muestra para los ensayos de compresión directa

MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA	RESISTENCIA (f'c kgf/cm²)	TIEMPO DE CURADO (DIAS)	% TiO₂ ADICIONADO			
			0%	3%	6%	9%
Método Modulo de Fineza de la combinación de los agregados	210	7	9	9	9	9
		14	9	9	9	9
		28	9	9	9	9
	280	7	9	9	9	9
		14	9	9	9	9
		28	9	9	9	9
216						

Nota. En la tabla 10 se aprecia los tamaños de muestra para los ensayos de compresión directa a considerar con adición, para lo cual se requieren 216 muestras representativas.

COMPARATIVA

Se pretende realizar el ensayo considerando el concreto patrón (Sin adición) y el concreto con adicionamiento de TiO₂ y la rodamina para determinar el grano y nivel de modificación en las propiedades del concreto cuando se adiciona un elemento.

PARA EL ENSAYO DE DECOLORACIÓN (PRUEBA DE RODAMINA UNI 11259) – MATERIALES FOTOCATALÍTICOS

Para el ensayo de decoloración se elaborará especímenes prismáticos rectangulares, con un tamaño de muestra de 6 unidades por diseño, teniendo un total de **48** probetas prismáticas rectangulares de 10 cm x 10 cm x 2 cm. Estas probetas serán realizadas de manera particular y se utilizarán para ser analizadas en el laboratorio de la Universidad Católica Santa María.

El ensayo de la rodamina B, se realizará según la norma italiana UNI 11259, donde se impregnará una de las caras de la muestra con rodamina b para ser expuesta a una lámpara de rayos UV, se registrará los valores del sistema de colores CIE mediante el uso de un colorímetro, las mediciones se harán a las 4 horas hasta la hora 26 a 50 cm de distancia de la lámpara UV. para determinar el porcentaje de degradación del color.

El colorímetro mide el parámetro a^* del sistema de color CIE $L^*a^*b^*$, La descomposición del color de este sistema se da en 3 factores, la luminosidad con valores entre blanco y negro es representado por el factor L^* , los valores entre rojo y verde son representados por el factor a^* y los valores entre azul y amarillo por el factor b^* .

Para determinar la existencia de actividades fotocatalíticas se calcularon los factores R4 y R26 que son la variación del factor a^* a las 4 horas y 26 horas de exposición a rayos UV con respecto al de 0 horas.

Para que el concreto sea considerado como un material fotocatalítico el factor R4 debe ser mayor al 20% y el factor R26 al 50%.

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

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

TAMAÑO DE MUESTRA PARA ENSAYO DE DECOLORACIÓN.

Tabla 11
Muestra para ensayo de decoloración

MÉTODO	RESISTENCIA	% TiO ₂ ADICIONADO	Nº ENSAYOS	TAMAÑO DE LA MUESTRA	TOTAL	
METODO MODULO DE FINEZA	f'c= 210 kgf/cm²	0%	1	6	6	
		3%	1	6	6	
		6%	1	6	6	
		9%	1	6	6	
	f'c= 280 kgf/cm²	0%	1	6	6	
		3%	1	6	6	
		6%	1	6	6	
		9%	1	6	6	
						48

Nota. En la tabla 11 se aprecia la muestra para el ensayo de decoloración para el método de fineza, el cual corresponde a 48 muestras representativas.

PARA EL ENSAYO DE INTEMPERSIMO.

El concreto fotocatalítico estará constantemente expuesto a las condiciones ambientales naturales como radiación solar, temperatura y humedad. Así mismo, la contaminación ambiental también afecta a la piel de los edificios evidenciando en un proceso de ensuciamiento que produce un daño estético y transforma negativamente el carácter del entorno urbano.

La Asociación Iberoamericana de Fotocatálisis (AIF) afirma que la fotocatálisis es una reacción de oxidación que se produce cuando la radiación solar activa un catalizador como el TiO₂ en presencia del oxígeno, es importante la absorción de moléculas contaminantes sobre la superficie del elemento catalizador para que se realice la acción de descomposición y eliminación de los contaminantes y evitar la acumulación de partículas en el material de revestimiento.

Para la evaluación cualitativa del comportamiento fotocatalítico del concreto con distintitos porcentajes de TiO₂ se construirá **04 paneles de 0.50 x 0.60 m** los cuales serán expuestos al medio ambiente durante 60 días (2 meses) con el fin de observar día a día su respuesta ante el Intemperismo, la cual se realizará un seguimiento continuo documentado fotográficamente.

El ensayo se realizará en la intersección de las avenidas Av. Miguel Forga, Cayetano Arenas y Juan Barcleay en la ciudad de Arequipa.

Figura 5.

Imagen Satelital de la intersección de las calles.



Nota. En la figura 5 Se observa una vista satelital de intersección de las calles Av. Miguel Forga, Cayetano Arenas y Juan Barcleay. Tomado de Google Earth

Figura 6.

Presencia de alto tránsito vehicular



Nota. En la figura 6 Se observa la presencia de buses interprovinciales.

La elección de la calle para realiza el ensayo in situ se justifica en base a varios factores claves que aseguran la eficacia del ensayo.

1. Exposición a condiciones reales.

- La intersección de calles elegidas representa un ambiente urbano e industrial típico donde los materiales serán expuestos a una variedad de condiciones ambientales reales como fluctuación de temperatura, humedad, radiación solar, contaminación y tráfico vehicular.
- Permitirá el efecto combinado de diversos factores ambientales que no se puede simular completamente en un laboratorio.

2. Variabilidad de Factores Contaminantes.

- La intersección de calles mencionadas está expuestas a contaminantes de distintas fuentes como gases de escape de vehículos al ser una de las principales calles de acceso al terminal Terrestre e ingreso al parque industrial de la ciudad de Arequipa, partículas suspendidas y residuos industriales dejados por la población,
- La presencia de tráfico vehicular introduce vibraciones, abrasión y contaminantes específicos que contribuyen al deterioro de los materiales, proporcionando una visión completa de los desafíos que enfrentan los materiales en un entorno urbano

3. Accesibilidad y Monitoreo Continuo.

- La intersección de calles se encuentra cerca a los laboratorios de materiales de la Universidad Católica de Santa María, por lo que se podrá realizar un monitoreo constante y la recolección de datos frecuentes sin la necesidad de desplazamientos complicados.



CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE MEZCLAS PARA CONCRETO FOTOCATALÍTICO

4.1. Propiedades físico–mecánicas del agregado grueso

4.1.1. Análisis Granulométrico del agregado grueso

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 400.012 Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (NTP 400.012, 2018)

El procedimiento comienza con la extracción de 3 muestras, cada muestra tiene un peso mínimo de 2000 g a partir del cuarteo, la cual se procede a secar al horno a una temperatura constante. Se toma el peso de la muestra antes de realizar el tamizado con los tamices de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N° 8 y el fondo; con los datos obtenidos se comparó con los límites granulométricos establecidos por el HUSO 7 y obtenemos el módulo de fineza.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulado}(1", 3/4", 1/2", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100\%}$$

4.1.1.1. Criterio para dosificación porcentual

Tabla 12

Criterio de dosificación porcentual

% de TiO ₂	Rol en el estudio	Justificación técnica
0%	Control/testigo	Comparación base, sin modificación.
3%	Dosis mínima funcional	Inicia efecto fotocatalítico sin afectar resistencia.
6%	Valor medio	Balance entre funcionalidad y propiedades mecánicas.
9%	Umbral superior	Evaluación de límite antes de saturación o detrimento.

Nota. En la tabla 12 se aprecia el criterio de dosificación porcentual correspondiente para la presente investigación.

La elección de los porcentajes 0%, 3%, 6% y 9% de adición de dióxido de titanio (TiO₂) en el estudio “Evaluación de las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico” responde a criterios técnicos, prácticos y científicos, los cuales se detallan a continuación:

a) 0% TiO₂ (Testigo o control)

- Función: Establece una línea base para comparar el comportamiento del concreto sin aditivo fotocatalítico.

- Importancia: Permite observar diferencias reales atribuibles únicamente al TiO_2 en propiedades mecánicas y fotocatalíticas.

b) 3% TiO_2

- Criterio experimental: Este valor es comúnmente reportado en la literatura técnica como un punto de inicio eficaz donde comienzan a observarse propiedades autolimpiantes significativas sin alterar demasiado la trabajabilidad o resistencia del concreto.
- Aplicabilidad: Se considera una dosis baja viable para proyectos piloto o en zonas de moderada exposición ambiental.

c) 6% TiO_2

- Criterio comparativo: Este valor se incorpora para identificar si existe una tendencia de mejora proporcional en las propiedades deseadas al incrementar la concentración del fotocatalizador.
- Referencia técnica: Estudios previos han mostrado que entre 5% y 6% puede lograrse un equilibrio entre buena actividad fotocatalítica y mínima pérdida de resistencia.

d) 9% TiO_2

- Criterio exploratorio: Este porcentaje permite explorar el límite de mejora antes de llegar a una saturación, donde ya no se incrementan las propiedades autolimpiantes o incluso podrían empeorar las propiedades mecánicas (debido a dispersión ineficiente o falta de integración con la matriz cementicia).
- Justificación local: En la ciudad de Arequipa, donde la radiación UV es alta, una dosis mayor puede tener sentido para potenciar el efecto fotocatalítico.

Figura 7

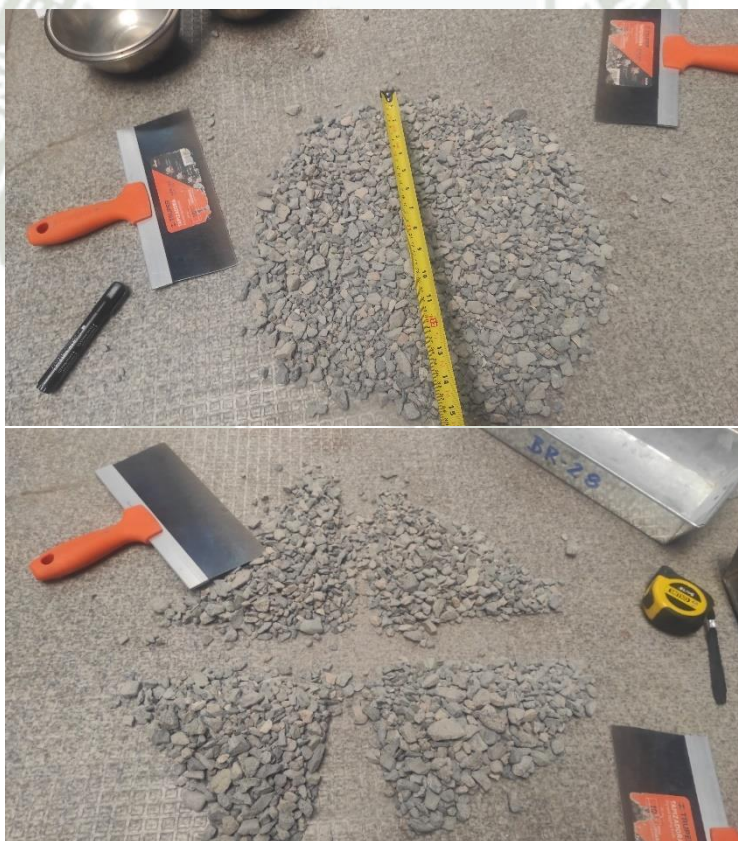
Materiales para el análisis granulométrico



Nota. En la figura 7 se puede apreciar los materiales para el análisis granulométrico para la obtención de datos.

Figura 8

Cuarteo del agregado grueso



Nota. En la figura 8 se aprecia el proceso de cuarteo del agregado grueso para la experimentación.

Figura 9.

Secado del material en el horno.



Nota. En la figura 9 se aprecia el proceso de secado del material en el horno para el experimento.

Figura 10

Determinación del análisis granulométrico del agregado grueso



Nota. En la figura 10 se aprecia la determinación del análisis granulométrico para el agregado grueso.

Tabla 13

Limites granulométricos del HUSO 7 del agregado grueso

Tamiz		Límite inferior	Limite Superior
Pulg	mm	%	%
1 1/2"	37.5		
1"	25.4		
3/4"	19.05	100.00%	100.00%
1/2"	12.7	90.00%	100.00%
3/8"	9.53	40.00%	70.00%
N° 4	4.76	0.00%	15.00%
N° 8	2.36	0.00%	5.00%

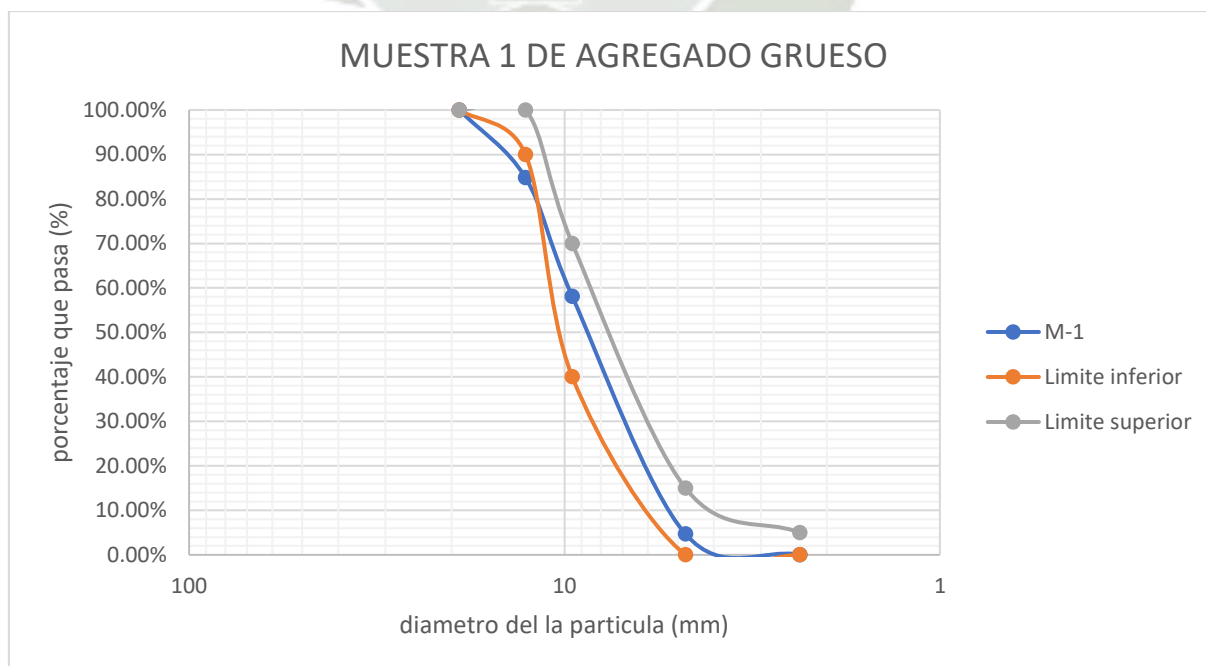
Nota. En la tabla 13 se aprecia los límites granulométricos del HUSO 7 del agregado grueso

- MUESTRA 1

Tabla 14
Resultados de Análisis granulométrico de agregado grueso Muestra 1

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
1 1/2"	37.5	127.43	127.43	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	127.43	127.43	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	127.43	127.43	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	127.43	462.29	334.86	15.22%	15.22%	84.78%
3/8"	9.53	127.43	714.72	587.29	26.70%	41.92%	58.08%
N° 4	4.76	127.43	1302.36	1174.93	53.41%	95.33%	4.67%
N° 8	2.36	127.43	228.99	101.56	4.62%	99.95%	0.05%
FONDO		127.43	128.61	1.18	0.05%	100.00%	0.00%
TOTAL				2199.82	100%		
$W_{inicial\ total} =$		2199.82 g		MF=	6.37	TM=	3/4"
$Perdida =$		0 g		7.3 < MF < 8.9		TMN=	1/2"

Nota. En la tabla 14 se aprecia los resultados de Análisis granulométrico de agregado grueso Muestra 1.

Figura 11.
Curva granulométrica M-1 del agregado grueso


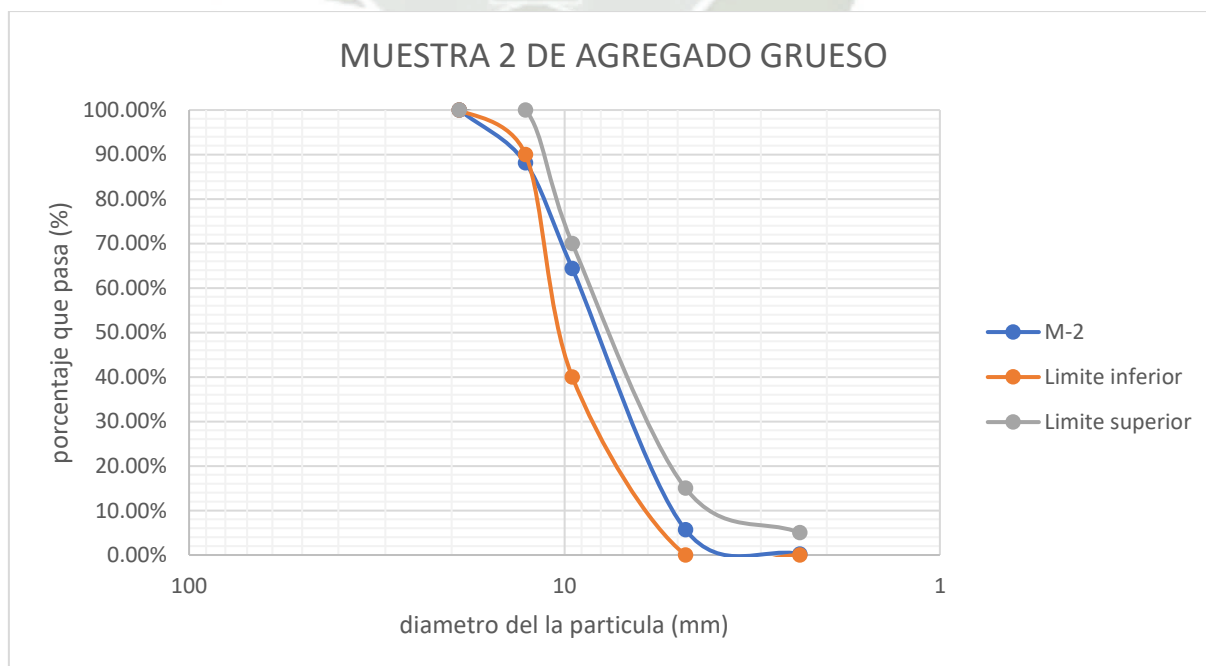
Nota. En la figura 11 se aprecia el gráfico de Curva granulométrica M-1 del agregado grueso

- MUESTRA 2

Tabla 15.
Resultados de Análisis granulométrico de agregado grueso Muestra 2

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
1 1/2"	37.5	121.94	121.94	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	121.94	121.94	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	121.94	121.94	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	121.94	362.59	240.65	11.91%	11.91%	88.09%
3/8"	9.53	121.94	601.49	479.55	23.73%	35.64%	64.36%
N° 4	4.76	121.94	1308.14	1186.20	58.71%	94.35%	5.65%
N° 8	2.36	121.94	231.62	109.68	5.43%	99.78%	0.22%
FONDO		121.94	126.40	4.46	0.22%	100.00%	0.00%
TOTAL				2020.54	100%		
$W_{inicial\ total} =$		2020.54 g		MF=	6.30	TM=	3/4"
$Perdida =$		0 g		7.3 < MF < 8.9		TMN=	1/2"

Nota. En la tabla 15 se aprecia los resultados de Análisis granulométrico de agregado grueso Muestra 2

Figura 12.
Curva granulométrica M-2 del agregado grueso


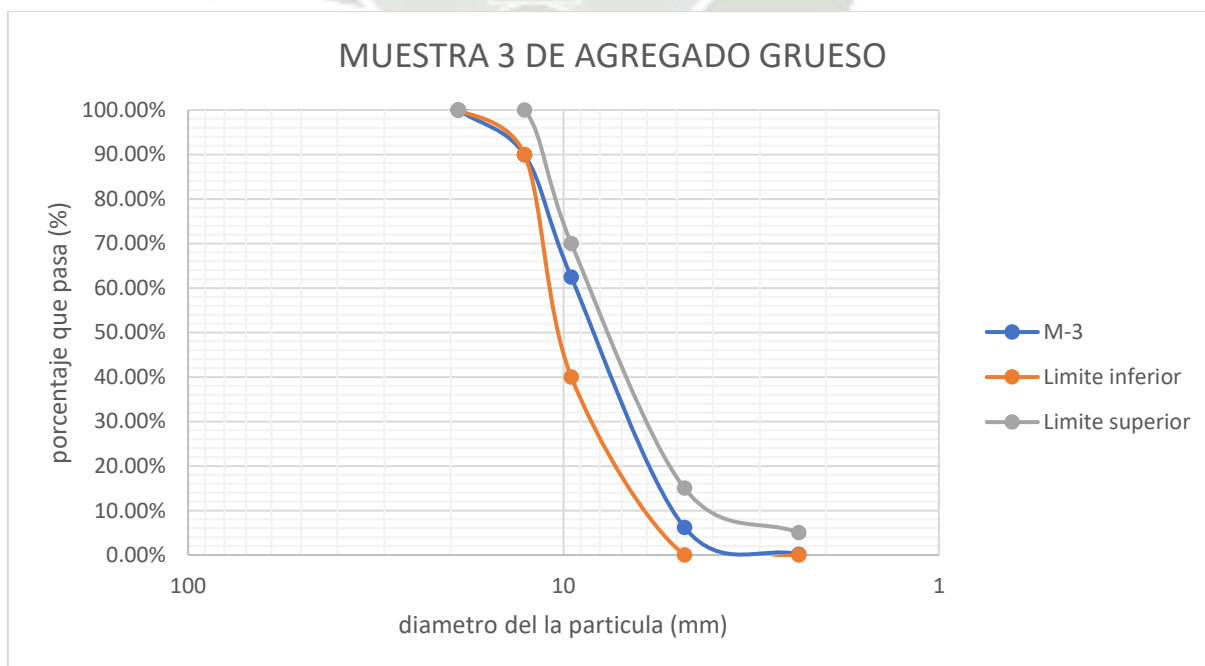
Nota. En la figura 13 se aprecia el gráfico de Curva granulométrica M-2 del agregado grueso.

- MUESTRA 3

Tabla 16.
Resultados de Análisis granulométrico de agregado grueso Muestra 3

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
1 1/2"	37.5	121.99	121.99	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	121.99	121.99	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	121.99	121.99	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	121.99	325.44	203.45	10.09%	10.09%	89.91%
3/8"	9.53	121.99	676.35	554.36	27.49%	37.58%	62.42%
N° 4	4.76	121.99	1255.97	1133.98	56.23%	93.81%	6.19%
N° 8	2.36	121.99	243.75	121.76	6.04%	99.84%	0.16%
FONDO		121.99	125.15	3.16	0.16%	100.00%	0.00%
TOTAL				2016.71	100%		
$W_{inicial\ total} =$		2016.71 g		MF=	6.31		TM= 3/4"
$Perdida =$		0 g		7.3 < MF < 8.9			TMN= 1/2"

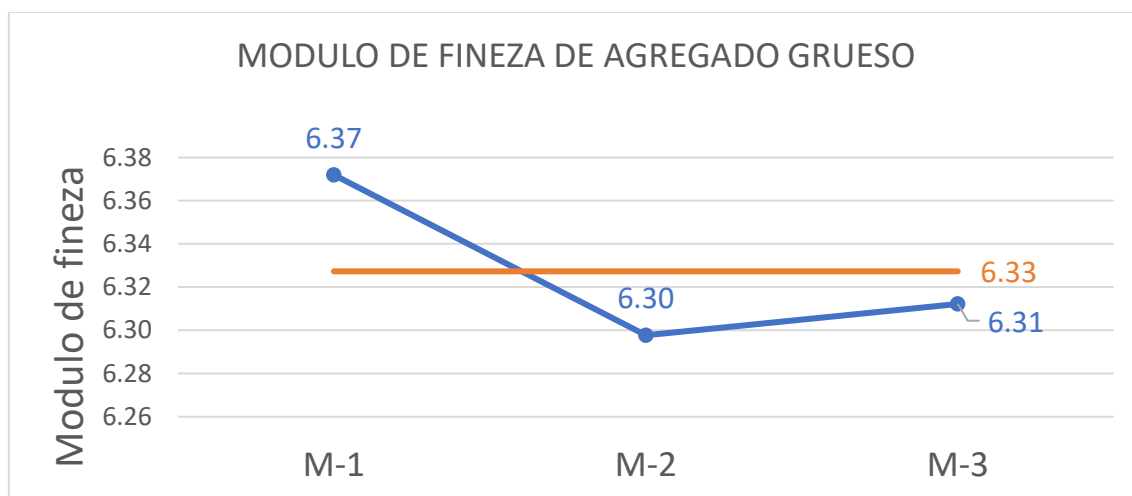
Nota. En la tabla 15 se aprecia los resultados de Análisis granulométrico de agregado grueso Muestra 3.

Figura 13.
Curva granulométrica M-3 del agregado grueso


Nota. En la figura 13 se aprecia el gráfico de Curva granulométrica M-3 del agregado grueso.

Figura 14.

Dispersión de resultados de módulo de fineza del agregado grueso



Nota. En la figura 14 se aprecia el gráfico de dispersión de resultados de módulos de fineza del agregado grueso.

4.1.2. Peso específico y absorción del agregado grueso

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 400.021 Método para el ensayo normalizado del para la densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado grueso. (NTP 400.021, 2013)

El procedimiento comienza con la extracción de tres muestras de 2000 g cada una, la cual se tamiza por la malla N° 4, para lavar y extraer el polvo y las impurezas para poder secar en el horno hasta que llegue a una temperatura constante, sacada la muestra del horno se deja enfriar para sumergir la muestra por un tiempo de 24 h.

Al día siguiente se obtiene la muestra en un estado saturado superficialmente seco, al secar la muestra con la franela se obtiene el estado seco superficialmente, luego de que la muestra no moje al tacto, se coloca en la canastilla para sumergirlo en el tanque de agua y tomar el peso con ayuda de la balanza.

Para finalizar, la muestra se seca en el horno a una temperatura constante y se toma el peso de la muestra, para los cálculos se utilizan las siguientes formulas:

$$V_{MASA} + V_{VACIO} = P_{SSS} - P_{SUMERGIDO}$$

$$V_{MASA} = (V_{MASA} + V_{VACIO}) - (P_{SSS} - P_{SECO})$$

V_{VACIO} : Volumen de vacíos (cm³)

V_{MASA} : Volumen de masa (cm^3)

P_{SSS} : Peso saturado superficialmente seco (g)

P_{SECO} : Peso seco (g)

$P_{SUMERGIDO}$: Peso de la fiola con agua (g)

$$Pe\ BULK_{SECO} = P_{SECO} / (V_{MASA} + V_{VACIO})$$

$$Pe\ BULK_{SATURADO} = P_{SSS} / (V_{MASA} + V_{VACIO})$$

$$Pe\ APARENTE_{SECO} = P_{SECO} / V_{MASA}$$

$Pe\ BULK_{SECO}$: Peso específico BULK seco (g/cm^3)

$Pe\ BULK_{SATURADO}$: Peso específico BULK saturado (g/cm^3)

$Pe\ BULK_{SECO}$: Peso específico BULK aparente seco (g/cm^3)

$$\% \text{ ABSORCION} = ((P_{SSS} - P_{SECO}) / P_{SECO}) \times 100$$

$\% \text{ ABSORCION}$: porcentaje de absorción (%)

Figura 15.

Tamizado de la muestra por la malla N° 4



Nota. En la figura 15 se aprecia el procesado de tamizado de la muestra por la malla N° 4.

Figura 16.

Secado de la muestra con ayuda de una franela



Nota. En la figura 16 se aprecia el proceso de secado de la muestra con ayuda de una franela.

Figura 17.

Sumergido de la muestra en el tanque de agua

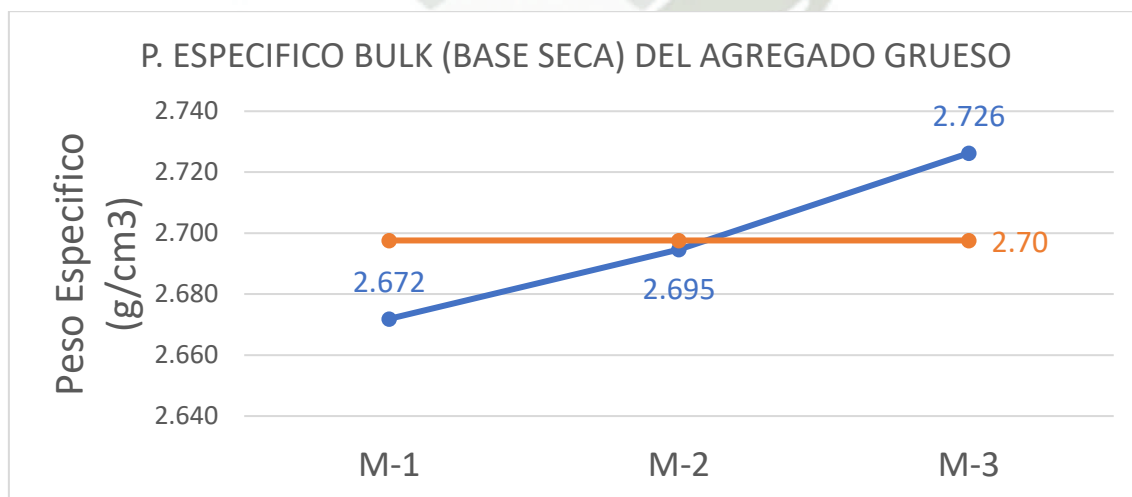


Nota. En la figura 17 se aprecia el proceso de sumergido de la muestra en el tanque de agua

Tabla 17.
Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso

Nº DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
Peso Superficialmente Seco (SSS)	g	2075.50	2074.50	2084.50
Peso de la Canastilla Sumergida	g	887.00	887.00	887.00
Peso de la Canastilla + Material Sumergida	g	2196.00	2200.00	2219.00
Peso del Material Sumergida	g	1309.00	1313.00	1332.00
Volumen de la Masa + Volumen de vacíos	cm ³	766.50	761.50	752.50
Peso Seco	g	2048.00	2052.00	2051.50
Volumen de la Masa	cm ³	739.00	739.00	719.50
P. Especifico Bulk (Base Seca)	g/cm ³	2.672	2.695	2.726
			2.698	
P. Especifico Bulk (Base Saturada)	g/cm ³	2.708	2.724	2.770
			2.734	
P. Especifico Aparente (Base Seca)	g/cm ³	2.771	2.777	2.851
			2.800	
Absorción	%	1.34%	1.10%	1.61%
Absorción Promedio	%		1.35%	

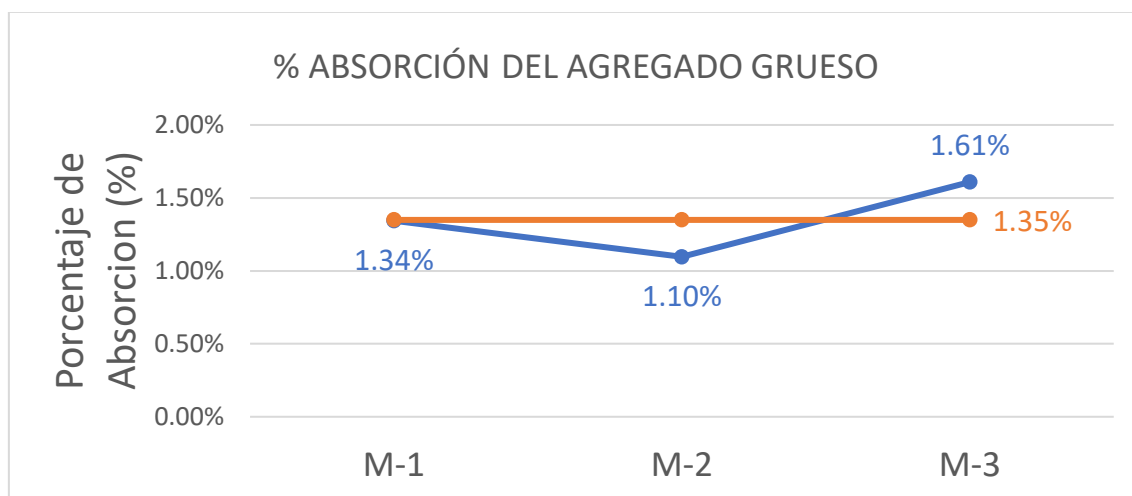
Nota. En la tabla 17 se aprecia los resultados en cuanto peso específico y absorción del agregado grueso.

Figura 18.
Dispersión de resultados del ensayo de peso específico de agregado grueso respecto a la media


Nota. En la figura 18 se aprecia el gráfico de dispersión de resultados del ensayo de peso específico de agregado grueso respecto a la media.

Figura 19.

Dispersión de resultados del ensayo de peso absorción del agregado grueso respecto a la media



Nota. En la figura 18 se aprecia el gráfico de dispersión de resultados del ensayo de peso absorción del agregado grueso respecto a la media.

En las gráficas podemos observar que el agregado grueso tiene un peso específico de 2.70 g/cm^3 y una absorción de 1.35%.

4.1.3. Peso unitario del agregado grueso.

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 400.017 Método para determinar el peso unitario del agregado. (NTP 400.017, 2011)

El procedimiento comienza con el cuarteo de tres muestras de agregado, las muestras deben de ser mayor a 125% de la cantidad que se requiere para poder llenar el recipiente de medida que es de $1/10 \text{ pie}^3$ la cual se obtiene de la Norma NTP 400.017; la muestra de agregado se dejara secar al horno a temperatura constante.

- Determinación del Peso unitario suelto del agregado grueso (PUS)**

Se toma el peso del recipiente de capacidad $1/10 \text{ pie}^3$, para llenarlo de la muestra de agregado con la pala de mano desde una altura de 2 pulgadas tomando de referencia el borde del recipiente, el material sobrante se elimina con la barra compactadora. Se toma el peso del recipiente con la muestra de agregado.

Figura 20.
Determinación del PUS del agregado grueso


Nota. En la figura 20 se aprecia los materiales para la Determinación del PUS del agregado grueso.

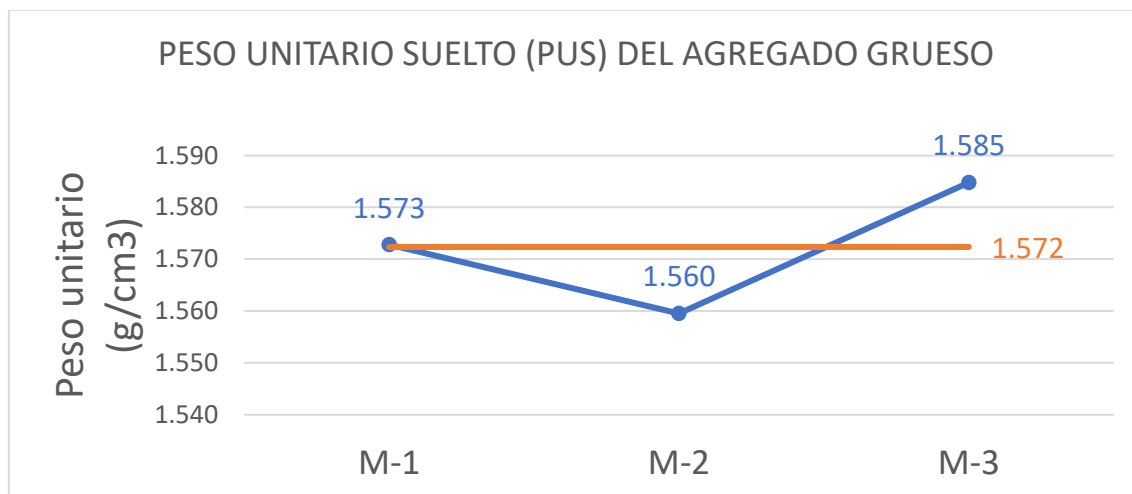
Tabla 18.
Resultados de PUS del agregado grueso

Nº DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
Peso del Molde + Peso de la Muestra	g	6103.50	6066.00	6137.50
Peso del Molde	g	1650.50	1650.50	1650.50
Peso de la Muestra	g	4453.00	4415.50	4487.00
Volumen del Molde	cm ³	2831.30	2831.30	2831.30
Densidad	g/cm ³	1.573	1.560	1.585
P.U.S.	g/cm ³		1.527	

Nota. En la tabla 18 se aprecia los resultados de PUS del agregado grueso.

Figura 21.

Dispersión de resultados del ensayo de PUS de agregado grueso respecto a la media



Nota. En la figura 21 se aprecia el gráfico de dispersión de resultados del ensayo de PUS de agregado grueso respecto a la media.

- **Determinación del Peso unitario compactado del agregado grueso (PUC)**

Se toma el peso del recipiente de capacidad $1/10 \text{ pie}^3$, para llenarlo de la muestra de agregado con la pala de mano desde una altura de 2 pulgadas tomando de referencia el borde del recipiente, se llenará en 3 capas de mismo volumen las cuales serán apisonadas con 25 golpes con la barra compactadora con una fuerza uniforme, la última capa se llena y compacta; el material sobrante se elimina con la barra compactadora. Se toma el peso del recipiente con la muestra de agregado.

Figura 22.

Determinación del PUC del agregado grueso

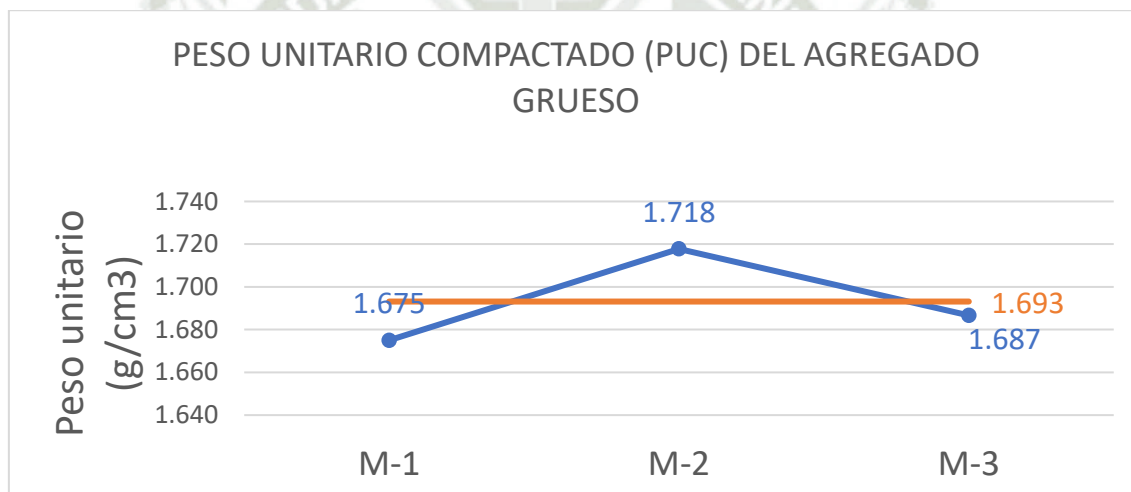


Nota. En la tabla 22 se aprecia los resultados de PUC del agregado grueso.

Tabla 19.
Resultados de PUC del agregado grueso

Nº DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
Peso del Molde + Peso de la Muestra	g	6393.00	6514.00	6426.00
Peso del Molde	g	1650.50	1650.50	1650.50
Peso de la Muestra	g	4742.50	4863.50	4775.50
Volumen del Molde	cm ³	2831.30	2831.30	2831.30
Densidad	g/cm ³	1.675	1.718	1.687
P.U.C.	g/cm ³		1.693	

Nota. En la tabla 19 se aprecia los resultados del PUC del agregado grueso.

Figura 23.
Dispersión de resultados del ensayo de PUC de agregado grueso respecto a la media


Nota. En la figura 23 se aprecia el gráfico de dispersión de resultados del ensayo de PUC de agregado grueso respecto a la media.

En las gráficas podemos observar que el agregado grueso tiene un peso unitario suelto (PUS) de 1.527 g/cm³ y peso unitario compactado (PUC) de 1.693 g/cm³.

4.1.4. Contenido de humedad del agregado grueso

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.185 Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. (NTP 339.185, 2002)

El procedimiento comienza con el cuarteo de la muestra de agregado, se extrae tres muestras de 2000 g de agregado húmedo de acuerdo a la tabla 1 de tamaño de muestra

de acuerdo a la norma NTP 339.185; las muestras de agregado se pesarán para obtener el peso húmedo del agregado

Se deja secar al horno a temperatura constante la muestra para obtener el peso de la muestra seca al horno.

Figura 24

Determinación del contenido de humedad del agregado grueso

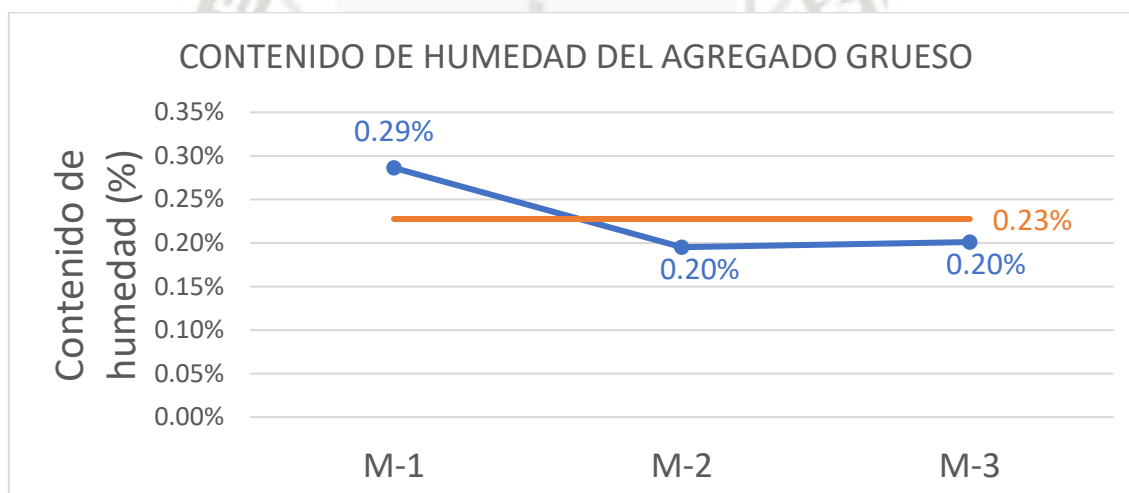


Nota. En la figura 24 se aprecia los materiales para la Determinación del contenido de humedad del agregado grueso.

Tabla 20
Resultados de contenido de humedad del agregado grueso

Nº DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
Peso de la bandeja	g	104.20	137.00	104.38
Peso de la bandeja + Muestra húmeda	g	2834.10	2185.71	2161.19
Peso de Muestra húmeda	g	2050.10	2048.71	2056.81
Peso de la bandeja + Muestra Seca	g	2148.45	2181.72	2157.06
Peso de la Muestra Seca	g	2044.25	2044.72	2052.68
Peso del Agua	g	5.85	3.99	4.13
Contenido de Humedad Parcial	%	0.29%	0.20%	0.20%
Contenido de Humedad Promedio	%		0.23%	

Nota. En la tabla se aprecia los resultados de contenido de humedad del agregado grueso.

Figura 25
Dispersión de resultados del ensayo de contenido de humedad de agregado grueso respecto a la media


Nota. En la figura 25 se aprecia el gráfico de Dispersión de resultados del ensayo de contenido de humedad de agregado grueso respecto a la media.

En la gráfica podemos observar que el agregado grueso tiene contenido de humedad de 0.23%.

4.2. Propiedades físico–mecánicas del Agregado Fino.

4.2.1. Análisis Granulométrico del agregado Fino

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 400.012 Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

El procedimiento comienza con la extracción de una muestra mínima de 300 g a partir del cuarteo, la cual se procede a secar al horno a una temperatura constante. Se toma el peso de la muestra seca antes de realizar el tamizado con los tamices de 3/8", N°4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y el fondo; con los datos obtenidos comparamos con los límites granulométricos establecidos en por la norma ASTM C 33 y obtenemos el módulo de fineza.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulado}(3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100\%}$$

Figura 26

Secado del material en el horno.



Nota. En la figura 26 se aprecia el secado del material en el horno para las muestras.

Figura 27

Determinación del análisis granulométrico del agregado fino



Nota. En la figura 27 se aprecia la determinación del análisis granulométrico del agregado fino.

Tabla 21
Límites granulométricos de la norma ASTM C 33 del agregado fino

Tamiz		Límite inferior	Límite Superior
Pulg	mm	%	%
3/8"	9.50	100.00%	100.00%
N° 4	4.75	95.00%	100.00%
N° 8	2.36	80.00%	100.00%
N° 16	1.18	50.00%	85.00%
N° 30	0.60	25.00%	60.00%
N° 50	0.30	5.00%	30.00%
N° 100	0.15	0.00%	10.00%

Nota. En la tabla 21 se aprecia los resultados de los límites granulométricos de la norma ASTM C 33 del agregado fino.

- MUESTRA 1

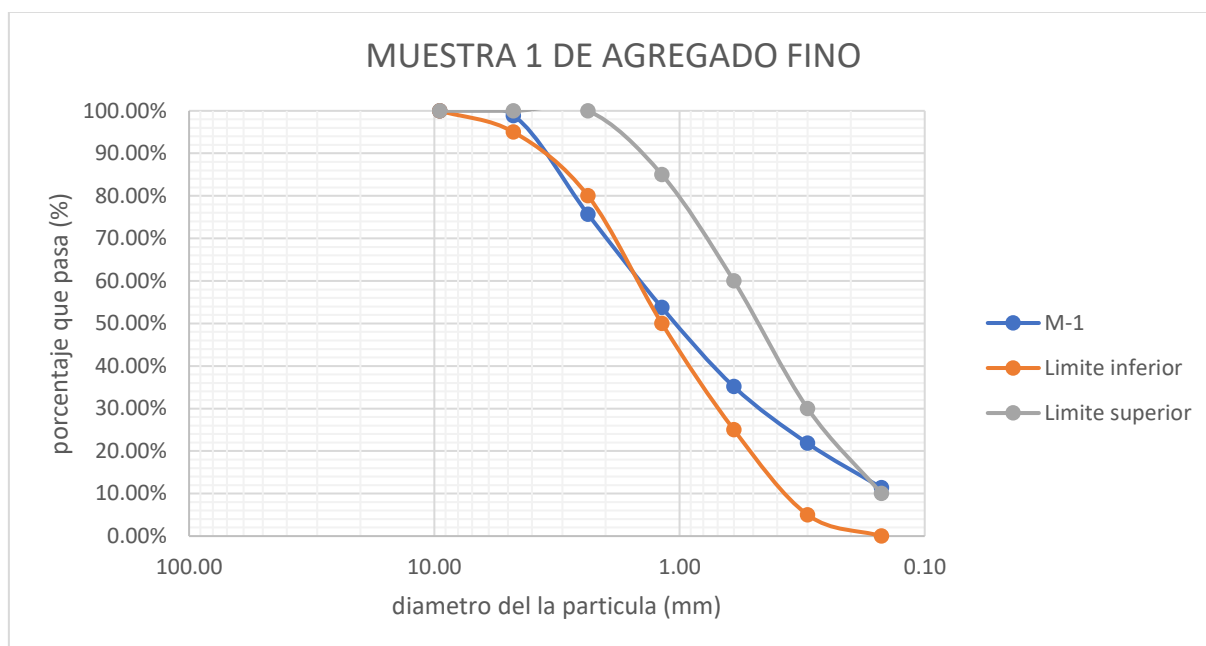
Tabla 22
Resultados de Análisis granulométrico de agregado fino Muestra 1

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
3/8"	9.50	127.48	517.19	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75	127.48	491.64	3.47	1.13%	1.13%	98.87%
N° 8	2.36	127.48	502.24	71.07	23.21%	24.35%	75.65%
N° 16	1.18	127.48	461.94	67.08	21.91%	46.26%	53.74%
N° 30	0.60	127.48	423.20	57.00	18.62%	64.88%	35.12%
N° 50	0.30	127.48	392.26	40.79	13.32%	78.20%	21.80%
N° 100	0.15	127.48	377.54	31.93	10.43%	88.63%	11.37%
N° 200	0.08	127.48	343.73	21.64	7.07%	95.70%	4.30%
FONDO		127.48	373.29	13.17	4.30%	100.00%	0.00%
TOTAL				306.15	100%		
$W_{inicial\ total} =$		306.15 g		MF=	3.03		
$Perdida =$		0 g		$2.3 < MF < 3.1$			

Nota. En la tabla 22 se aprecia los resultados de Análisis granulométrico de agregado fino Muestra 1

Figura 28

Curva granulométrica M-1 del agregado fino



Nota. En la figura 28 se aprecia la curva granulométrica M-1 del agregado fino.

- **MUESTRA 2**

Tabla 23

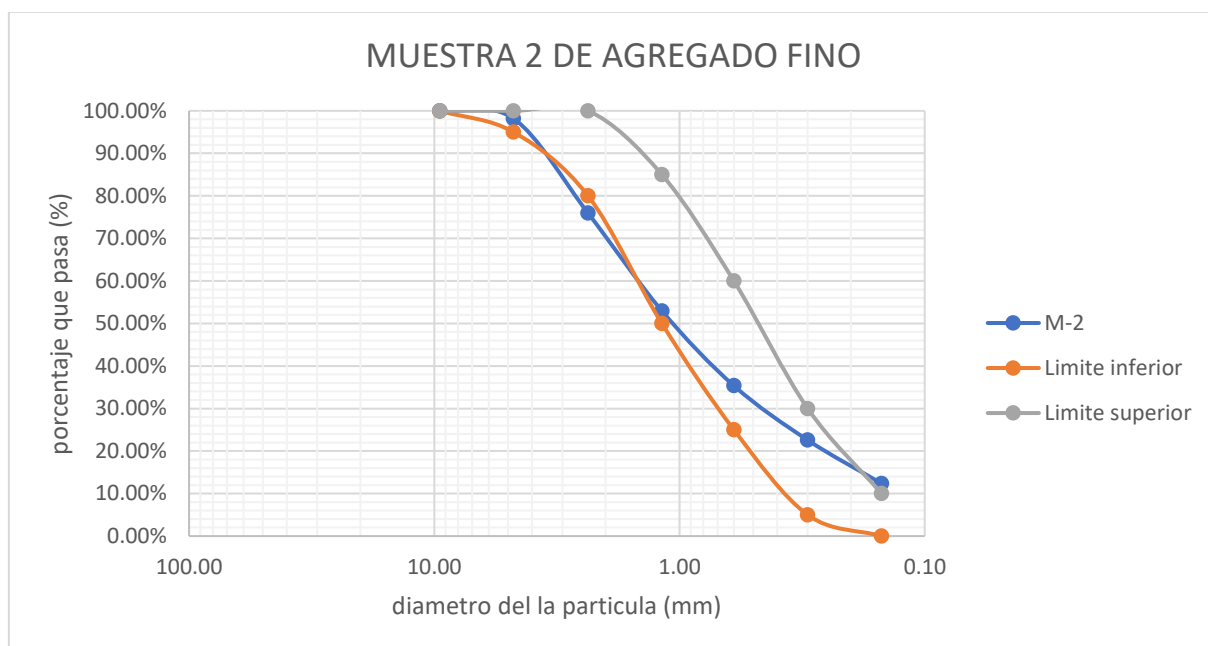
Resultados de Análisis granulométrico de agregado fino Muestra 2

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
3/8"	9.50	249.96	517.19	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75	249.96	491.94	5.82	1.84%	1.84%	98.16%
N° 8	2.36	249.96	506.19	70.38	22.22%	24.06%	75.94%
N° 16	1.18	249.96	465.41	72.81	22.99%	47.04%	52.96%
N° 30	0.60	249.96	422.66	55.78	17.61%	64.65%	35.35%
N° 50	0.30	249.96	391.11	40.49	12.78%	77.43%	22.57%
N° 100	0.15	249.96	375.56	32.30	10.20%	87.63%	12.37%
N° 200	0.08	249.96	344.10	26.90	8.49%	96.12%	3.88%
FONDO		249.96	372.68	12.29	3.88%	100.00%	0.00%
TOTAL				316.77	100%		
$W_{inicial\ total} =$		316.77	g	MF=		3.03	
$Perdida =$		0	g	$2.3 < MF < 3.1$			

Nota. En la tabla 23 se aprecia los resultados de Análisis granulométrico de agregado fino Muestra 2

Figura 29

Curva granulométrica M-2 del agregado fino



Nota. En la figura 29 se aprecia la curva granulométrica M-2 del agregado fino.

- **MUESTRA 3**

Tabla 24

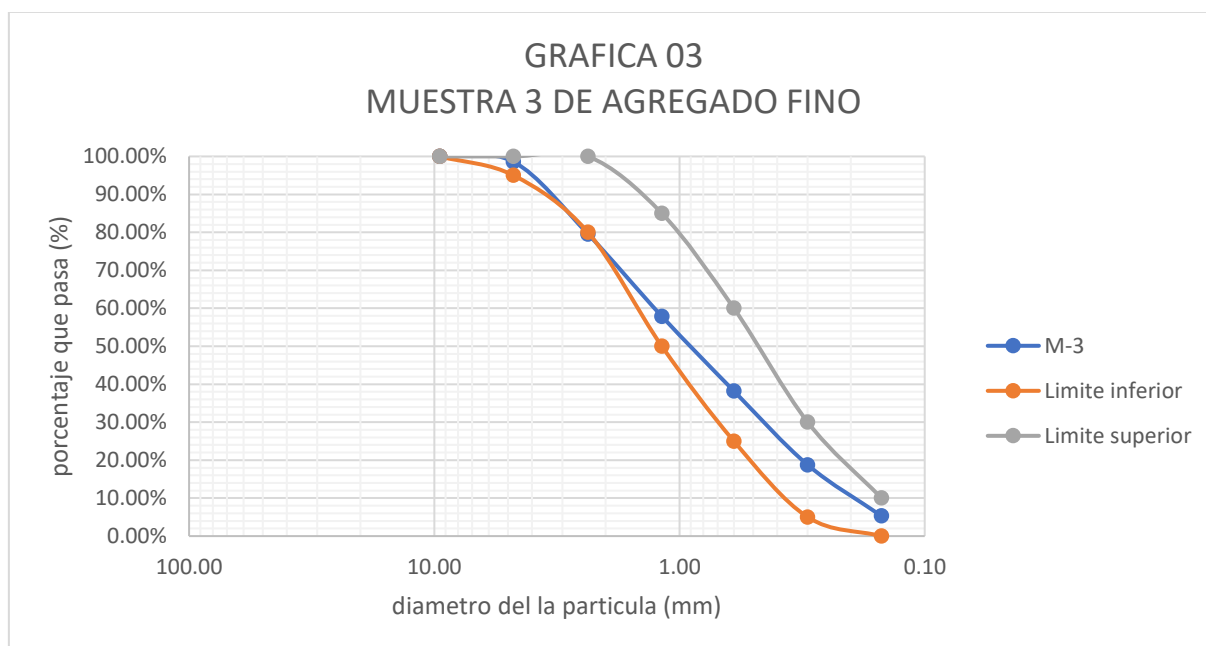
Resultados de Análisis granulométrico de agregado fino Muestra 3

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
3/8"	9.50	250.00	517.19	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75	250.00	492.41	4.48	1.42%	1.42%	98.58%
Nº 8	2.36	250.00	501.15	60.00	19.05%	20.47%	79.53%
Nº 16	1.18	250.00	465.83	68.18	21.65%	42.12%	57.88%
Nº 30	0.60	250.00	424.56	61.97	19.67%	61.79%	38.21%
Nº 50	0.30	250.00	392.41	61.31	19.46%	81.25%	18.75%
Nº 100	0.15	250.00	380.28	42.38	13.45%	94.71%	5.29%
Nº 200	0.08	250.00	344.79	14.77	4.69%	99.40%	0.60%
FONDO		250.00	366.93	1.90	0.60%	100.00%	0.00%
TOTAL				314.99	100%		
$W_{inicial\ total} =$		314.99	g	$MF =$		3.02	
$Perdida =$		0	g	$2.3 < MF < 3.1$			

Nota. En la tabla 24 se aprecia los resultados de Análisis granulométrico de agregado fino Muestra 3.

Figura 30.

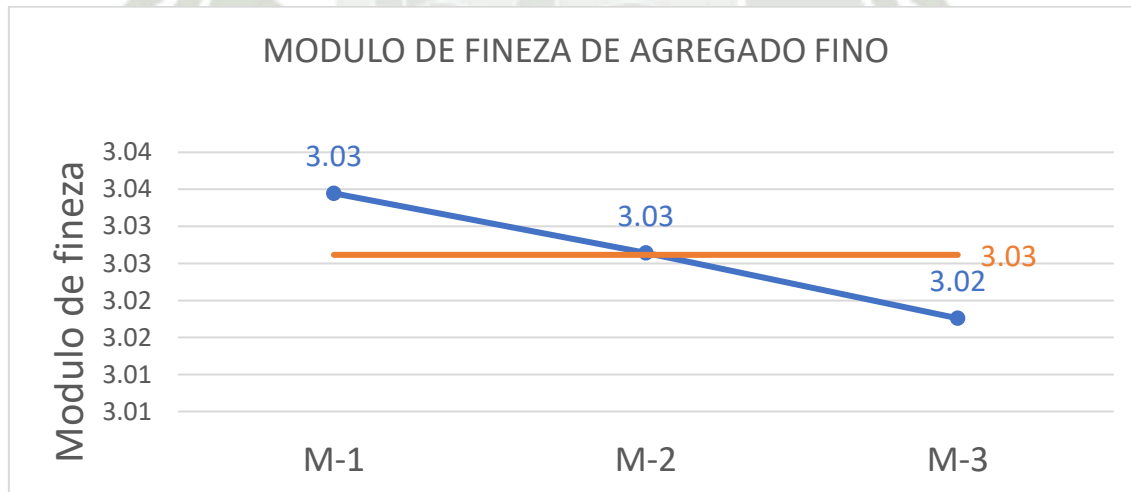
Curva granulométrica M-3 del agregado fino



Nota. En la figura 30 se aprecia la Curva granulométrica M-3 del agregado fino

Figura 31

Dispersión de resultados de módulo de fineza del agregado fino



Nota. En la figura 31 se aprecia el gráfico de Dispersión de resultados de módulo de fineza del agregado fino

4.2.2. Peso específico y absorción del agregado fino.

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 400.021 Método para el ensayo normalizado del para la densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado fino. (NTP 400.022, 2013)

El procedimiento comienza con la extracción de la muestra, la cual se deja secar en el horno hasta que llegue a una temperatura constante, sacada la muestra del horno se sumerge la muestra por un tiempo de 24 horas.

Luego se extiende la muestra húmeda en una bandeja y con ayuda de una estufa se seca hasta que la muestra presente un secado homogéneo, se realiza la prueba de humedad superficial llenando con la muestra el molde troncocónico y apisonando con 25 golpes con la barra compactadora y enrazando el molde, si al momento de levanta el molde verticalmente la muestra presenta una caída ligera, esto indicara que se ha llegado al estado saturado superficialmente seco.

Se realiza el procedimiento gravimétrico pensando la fiola vacía y con agua destilada hasta la marca de calibración, se extrae 500 gramos de muestra en estado saturado superficialmente seco con ayuda de un embudo para colocarla en con agua destilada hasta la marca de calibración, se agita la fiola de manera manual hasta eliminar las burbujas de aire y obtener una temperatura de 23° C y tomar su peso.

Para finalizar, se coloca la muestra en un recipiente para secar en el horno a una temperatura constante y se toma el peso de la muestra, para los cálculos se utilizan las siguientes formulas:

$$V_{MASA} + V_{VACIO} = (P_{SSS} + P_{AGUA+FIOLA}) - P_{AGUA+FIOLA+SSS}$$

$$V_{MASA} = (V_{MASA} + V_{VACIO}) - (P_{SSS} - P_{SECO})$$

V_{VACIO} : Volumen de vacíos en cm^3

V_{MASA} : Volumen de masa en cm^3

P_{SSS} : Peso saturado superficialmente seco en gramos

P_{SECO} : Peso seco en gramos

$P_{AGUA+FIOLA}$: Peso de la fiola con agua en gramos

$P_{AGUA+FIOLA+SSS}$: Peso de la fiola con agua y la muestra en gramos

$$Pe\ BULK_{SECO} = P_{SECO}/(V_{MASA} + V_{VACIO})$$

$$Pe\ BULK_{SATURADO} = P_{SSS}/(V_{MASA} + V_{VACIO})$$

$$Pe\ APARENTE_{SECO} = P_{SECO}/V_{MASA}$$

$Pe\ BULK_{SECO}$: Peso específico BULK seco (g/cm^3)

$P_e \text{ BULK}_{SATURADO}$: Peso específico BULK saturado (g/cm^3)

$P_e \text{ BULK}_{SECO}$: Peso específico BULK aparente seco (g/cm^3)

$$\% \text{ ABSORCION} = ((P_{SSS} - P_{SECO})/P_{SECO}) \times 100$$

$\% \text{ ABSORCION}$: Porcentaje de absorción (%)

Figura 32.

Determinación del peso específico y absorción del agregad fino

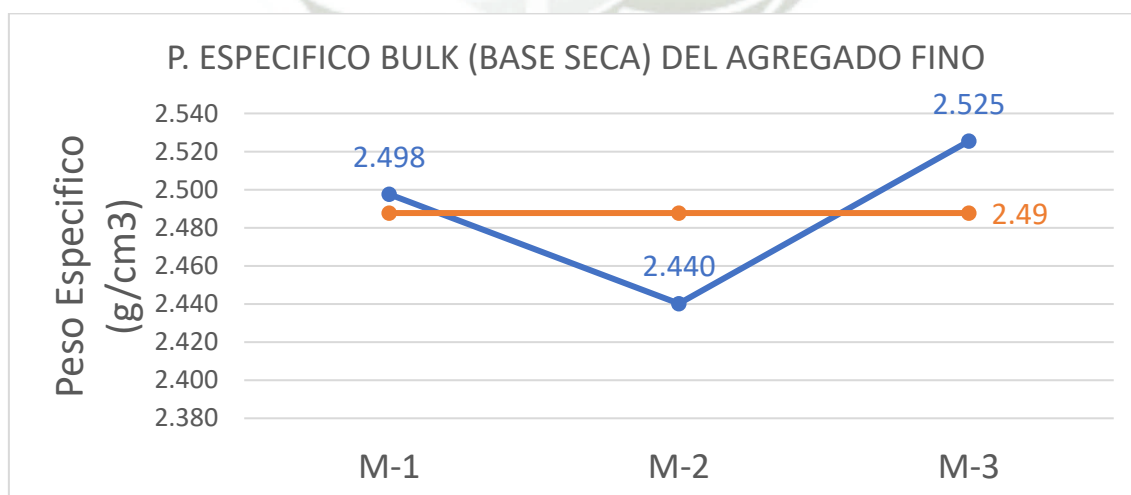


Nota. En la figura 32 se aprecia los materiales en cuanto a la determinación del peso específico y absorción del agregad fino.

Tabla 25.
Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso

Nº DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
Peso Superficialmente Seco (SSS)	g	500.70	500.11	500.80
Peso de la Fiola	g	281.58	281.58	281.58
Peso de la Fiola + Agua	g	1280.61	1280.61	1280.61
Peso de la Fiola +Peso material SSS + Agua	g	1589.83	1584.20	1588.92
Volumen de la Masa + Volumen de Vacíos	cm ³	191.48	196.52	192.49
Peso Seco	g	478.23	479.55	486.12
Volumen de la Masa	cm ³	169.01	175.96	177.81
P. Especifico Bulk (Base Seca)	g/cm ³	2.498	2.440	2.525
			2.488	
P. Especifico Bulk (Base Saturada)	g/cm ³	2.615	2.545	2.602
			2.587	
P. Especifico Aparente (Base Seca)	g/cm ³	2.830	2.725	2.734
			2.763	
Absorción	%	4.70%	4.29%	3.02%
Absorción Promedio	%		4.00%	

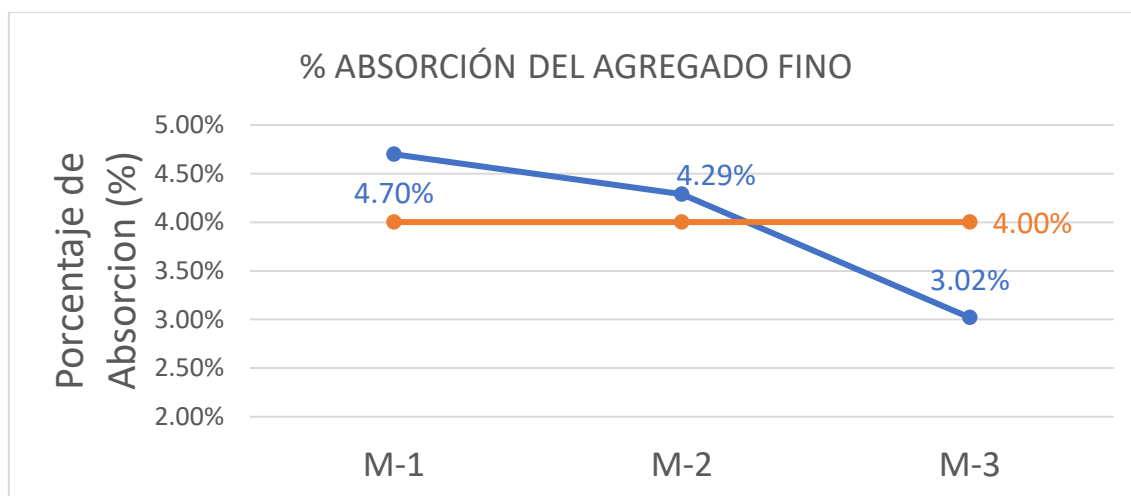
Nota. En la tabla 25 se aprecia los resultados de peso específico y absorción del agregado grueso.

Figura 33.
Dispersión de resultados del ensayo de peso específico de agregado fino respecto a la media


Nota. En la figura 33 se aprecia el gráfico de dispersión de resultados del ensayo de peso específico de agregado fino respecto a la media

Figura 34.

Dispersión de resultados del ensayo de peso absorción del agregado fino respecto a la media



Nota. En la figura 34 se aprecia el gráfico de dispersión de resultados del ensayo de peso absorción del agregado fino respecto a la media.

En las gráficas podemos observar que el agregado fino tiene un peso específico de 2.49 g/cm^3 y una absorción de 4.00 %.

4.2.3. Peso unitario del agregado fino

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 400.017 Método para determinar el peso unitario del agregado. (NTP 400.017, 2011)

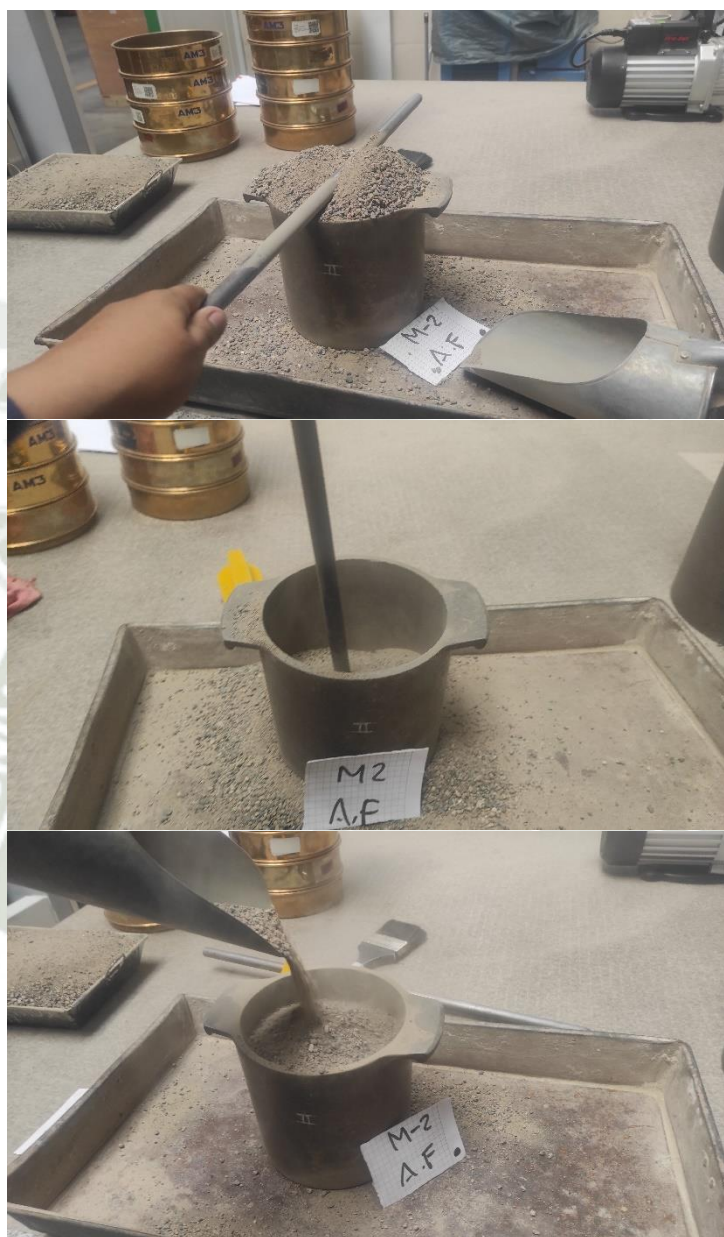
El procedimiento comienza con el cuarteo de tres muestras de agregado, las muestras deben de ser mayor a 125% de la cantidad que se requiere para poder llenar el recipiente de medida que es de $1/10 \text{ pie}^3$ la cual se obtiene de la Norma NTP 400.017; la muestra de agregado se dejara secar al horno a temperatura constante.

- **Determinación del Peso unitario suelto del agregado fino (PUS)**

Se toma el peso del recipiente de capacidad $1/10 \text{ pie}^3$, para llenarlo de la muestra de agregado con la pala de mano desde una altura de 2 pulgadas tomando de referencia el borde del recipiente, el material sobrante se elimina con la barra compactadora. Se toma el peso del recipiente con la muestra de agregado.

Figura 35

Determinación del PUS del agregado fino

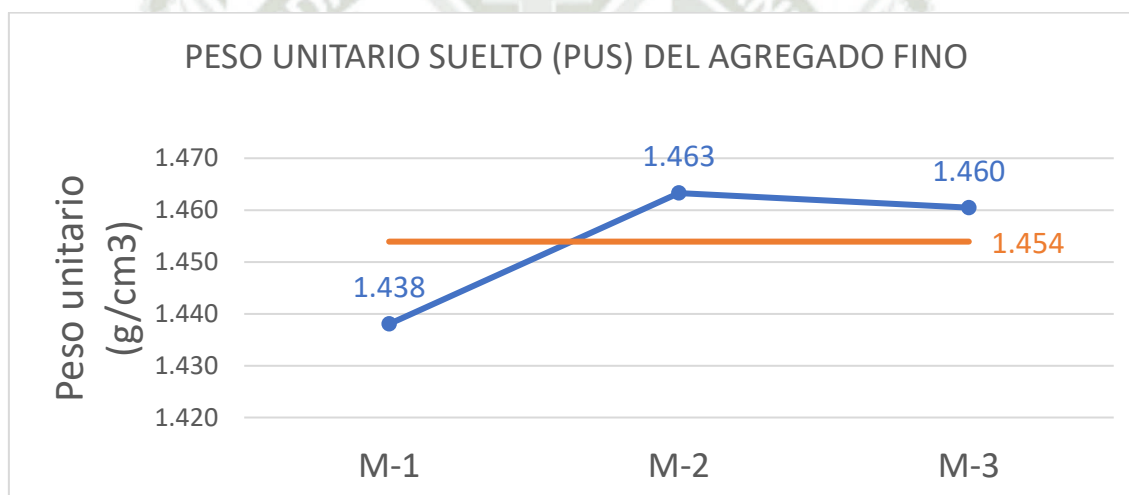


Nota. En la figura 35 se aprecia los materiales en cuanto a la determinación del PUS del agregado fino.

Tabla 26.
Resultados de PUS del agregado fino

Nº DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
Peso del Molde + Peso de la Muestra	g	5722.00	5793.50	5785.50
Peso del Molde	g	1650.50	1650.50	1650.50
Peso de la Muestra	g	4071.50	4143.00	4135.00
Volumen del Molde	cm ³	2831.30	2831.30	2831.30
Densidad	g/cm ³	1.438	1.463	1.460
P.U.S.	g/cm ³		1.454	

Nota. En la tabla 26 se aprecia los resultados obtenidos en cuanto a PUS del agregado fino.

Figura 36
Dispersión de resultados del ensayo de PUS de agregado fino respecto a la media


Nota. En la figura 36 se aprecia el gráfico de Dispersión de resultados del ensayo de PUS de agregado fino respecto a la media

- **Determinación del Peso unitario compactado del agregado grueso (PUC)**

Se toma el peso del recipiente de capacidad 1/10 pie³, para llenarlo de la muestra de agregado con la pala de mano desde una altura de 2 pulgadas tomando de referencia el borde del recipiente, se llenará en 3 capas de mismo volumen las cuales serán apisonadas con 25 golpes con la barra compactadora con una fuerza uniforme, la última capa se llena y compacta; el material sobrante se elimina con la barra compactadora. Se toma el peso del recipiente con la muestra de agregado.

Figura 37
Determinación del PUC del agregado fino


Nota. En la figura 37 se aprecia el procedimiento de Determinación del PUC del agregado fino

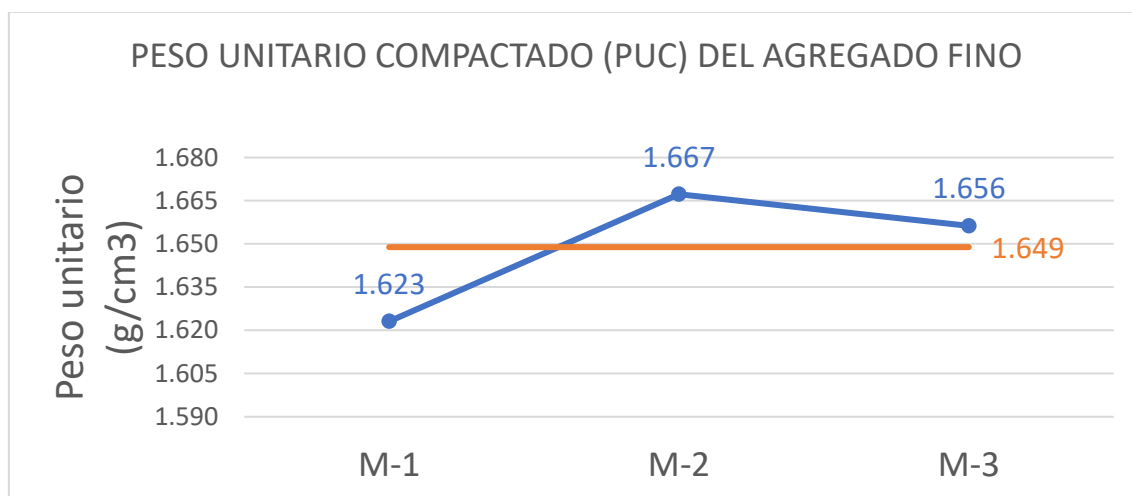
Tabla 27.
Resultados de PUC del agregado fino

Nº DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
Peso del Molde + Peso de la Muestra	g	6246.00	6371.00	6340.00
Peso del Molde	g	1650.50	1650.50	1650.50
Peso de la Muestra	g	4595.50	4720.50	4689.50
Volumen del Molde	cm ³	2831.30	2831.30	2831.30
Densidad	g/cm ³	1.623	1.667	1.656
P.U.C.	g/cm ³		1.649	

Nota. En la tabla 27 se aprecia los resultados del PUC del agregado fino.

Figura 38.

Dispersión de resultados del ensayo de PUC de agregado fino respecto a la media



Nota. En la figura 38 se aprecia el gráfico de Dispersión de resultados del ensayo de PUC de agregado fino respecto a la media

En las gráficas podemos observar que el agregado fino tiene un peso unitario suelto (PUS) de 1.454 g/cm³ y peso unitario compactado (PUC) de 1.6493 g/cm³.

4.2.4. Contenido de humedad del agregado fino

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.185 Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. (NTP 339.185, 2002)

El procedimiento comienza con el cuarteo de la muestra de agregado, se extrae tres muestras de 500 g de agregado húmedo de acuerdo a la norma a la tabla 1 de tamaño de muestra de acuerdo a la norma NTP 339.185; las muestras de agregado se pesarán para obtener el peso húmedo del agregado

Se deja secar al horno a temperatura constante la muestra para obtener el peso de la muestra seca al horno.

Figura 39.
Determinación del contenido de humedad del agregado fino


Nota. En la figura 39 se aprecia los materiales para la determinación del contenido de humedad del agregado fino.

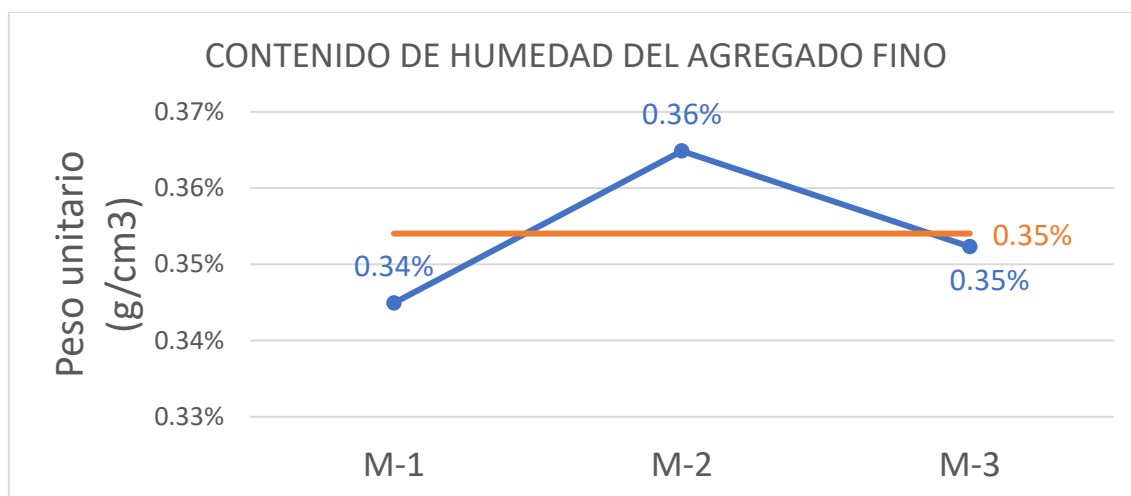
Tabla 28
Resultados de contenido de humedad del agregado fino

Nº DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
Peso de la bandeja	g	118.86	114.16	111.76
Peso de la bandeja + Muestra húmeda	g	639.59	636.79	630.17
Peso de Muestra húmeda	g	520.73	522.63	518.41
Peso de la bandeja + Muestra Seca	g	637.80	634.89	628.35
Peso de la Muestra Seca	g	518.94	520.73	516.59
Peso del Agua	g	1.79	1.90	1.82
Contenido de Humedad Parcial	%	0.34%	0.36%	0.35%
Contenido de Humedad Promedio	%		0.35%	

Nota. En la tabla 28 se aprecia los resultados de contenido de humedad del agregado fino

Figura 40

Dispersión de resultados del ensayo de contenido de humedad de agregado fino respecto a la media



Nota. En la figura 40 se aprecia el gráfico de Dispersión de resultados del ensayo de contenido de humedad de agregado fino respecto a la media

En la gráfica podemos observar que el agregado fino tiene contenido de humedad de 0.35%.

4.2.5. Pasante de la malla 200

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 400.018 Método para el ensayo normalizado del para la densidad, densidad relativa (Peso de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ m (N°200) por lavado en agregados. (NTP 400.018, 2013)

El procedimiento comienza con la extracción de tres muestras de 300 g cada una, la cual se deja secar en el horno hasta que llegue a una temperatura constante, donde la muestra es pesada. Al día siguiente se vierte la muestra en un recipiente donde se llena la muestra con agua en su totalidad para agitarlo y que las partículas más finas queden suspendidas en la superficie del agua, se vierte en la malla N° 200 para que se retenga el material y el material de menor diámetro se descarte con el agua.

Se repite el procedimiento hasta que el agua se vea clara, el material se regresa al recipiente para secarlo al horno a una temperatura constante para tomar el peso una vez salida del horno.

Figura 41
Determinación del material pasante de la malla N° 200


Nota. En la figura 41 se aprecia el proceso del ensayo de pasante de la malla N° 200

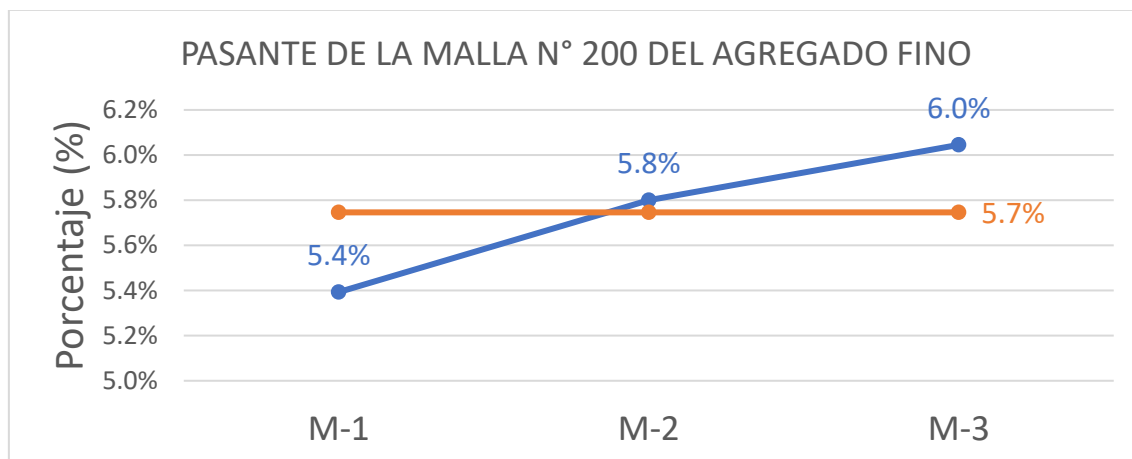
Tabla 29
Resultados de pasante de la malla N° 200

N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
Peso Muestra Seca antes del lavado	g	324.68	325.52	329.35
Peso Muestra Seca después del lavado	g	307.17	306.64	309.44
Peso Suelo Seco pasante de la malla N° 200	g	17.51	18.88	19.91
Porcentaje de Material más fino que pasa la malla N° 200	g	5.4%	5.8%	6.0%
Porcentaje promedio		5.7%		

Nota. En la tabla 29 se aprecia los resultados de contenido de humedad del agregado fino

Figura 42.

Dispersión de resultados del ensayo de pasante de la malla N° 200 de agregado fino respecto a la media



Nota. En la figura 42 se aprecia el gráfico de dispersión de resultados del ensayo de pasante de la malla N° 200 de agregado fino respecto a la media.

4.3. Propiedades del Cemento.

El cemento utilizado será el cemento YURA Tipo IP por ser el más utilizado en la ciudad de Arequipa, el peso específico fue obtenido de la ficha técnica.

Figura 43

Ficha técnica del cemento Yura Tipo IP

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		Requisitos Norma Técnica Peruana 334.090:2020 y Norma Americana ASTM C595/C595M-20 CEMENTO TIPO IP	CEMENTO YURA MULTI-PROPOSITO TIPO IP
REQUISITOS			
REQUISITOS QUÍMICOS	UNIDAD		
Óxido de magnesio (MgO)	%	máximo 6,0	1,5 a 3,0
Trióxido de azufre (SO ₃)	%	máximo 4,0	1,5 a 3,0
Pérdida de ignición	%	máximo 5,0	1,5 a 4,0
REQUISITOS FÍSICOS			
Densidad	g/cm³	-	2,70 a 2,8
Contracción / Expansión en Autoclave	%	-0,20 a 0,80	-0,09 a 0,05
Tiempo de fraguado inicial Vicat	minutos	45 a 420	140 a 260
Contenido de aire	%	máximo 12	3 a 8
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
3 días	kgf/cm²	mínimo 133	150 a 210
7 días	kgf/cm²	mínimo 204	210 a 240
28 días	kgf/cm²	mínimo 255	290 a 360
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
Expansión a 6 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0,05	< 0,05
Expansión a 12 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0,10	< 0,07

Nota. En la figura 43 se aprecia la ficha técnica de del cemento Yura tipo IP. Tomado de <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-cemento-multiproposito-ip.pdf>

4.4. Propiedades del Dióxido de Titanio (TiO₂).

El Dióxido de Titanio utilizado es el producto TRONOX CR-828 obtenido por la empresa VICCO, cuyas propiedades fueron obtenidas de la ficha técnica.

Figura 44

Ficha técnica del Dióxido de Titanio

Typical Properties¹

TiO ₂ content, %	95
Density	
Specific gravity	4.1
Bulk	0.8 kg/L or 50 lbs/cu.ft.
Oil absorption.....	17
pH	7.4
Specific Resistance, Kohms-cm	8
Average particle size ² , μm	0.19
Specification	
ASTM D476.....	Type II, III, VI, VII
ISO 591-1:2000	R2

Nota. En la figura 44 se aprecia la ficha técnica del dióxido de titanio, tomado de <https://www.tronox.com/download.php?path=11306>

4.5. Descripción de método de diseño Modulo de Fineza de la combinación de agregados.

4.5.1. Diseño de mezcla método módulo de Fineza $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$.

- **Características de los materiales**

Obtenemos las características de los materiales de los diseños realizados a los agregados grueso y fino, y de las fichas técnicas.

Tabla 30
Características de los materiales.

f'c	210	kgf/cm²	Cemento	Yura tipo IP
Ds	0	kgf/cm ²	P específico	2.95 g/cm ³
Consistencia	plástica		Agua	Potable
Lugar	Arequipa		Agregados	Angular
Sulfato	Despreciable			
Asentamiento	de 3 a 4 plg			
Agregado Fino			Agregado Grueso	
P específico	2.49	g/cm ³	P específico	2.7 g/cm ³
% absorción	4.00	%	% absorción	1.35 %
% Humedad	0.35	%	% Humedad	0.23 %
M. F.	3.03		TMN	1/2"
			M. F.	6.33

Nota. En la tabla 30 se aprecia las características de los materiales a emplear.

- **1° PASO Calcular la resistencia requerida**

Al no contar datos de desviación estándar escogemos la resistencia requerida de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 31
Resistencia requerida sin desviación estándar en kgf/cm²

f'c	f'cr
f'c < 210	f'c + 70
210 < f'c < 350	f'c + 84
f'c < 350	f'c + 98

Nota. En la tabla 31 se aprecia los resultados en cuanto a la resistencia requerida sin desviación estándar en kgf/cm²

$$f'cr = 210 + 84$$

$$f'cr = 294 \text{ kgf/cm}^2$$

- **2° PASO Determinación del Tamaño Máximo Nominal**

El tamaño máximo nominal se obtiene de los ensayos de los materiales realizado en laboratorio.

$$TMN = 1/2"$$

- **3° PASO Determinación del asentamiento**

El SLUMP o asentamiento que se escogió es para un concreto trabajable y que nos dé un acabado caravista, por lo que se escogió una consistencia plástica según la siguiente tabla:

Tabla 32

Consistencia y asentamiento del concreto

Consistencia	Asentamiento	
Seca	0 a 2 pulg	0 - 50 mm
Plástica	3 a 4 pulg	75 - 100 mm
Fluido	5 pulg a mas	> 125 mm

Nota. En la tabla 32 se aprecia los resultados de consistencia y asentamiento del concreto

Asentamiento = 3" a 4"

- **4° PASO Determinación del volumen de agua**

Para determinar el volumen de agua se toma en cuenta los datos de TMN de 1/2" y el SLUMP de 3" a 4", utilizando la siguiente tabla:

Tabla 33.

Volumen unitario de agua para TMN y consistencia

Agua en L/m ³ para los TMNs de Agregado Grueso y consistencia indicados								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3 "	6"
Concreto Sin Aire Incorporado								
1 a 2 pulg	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4 pulg	228	216	205	193	181	169	145	124
5 pulg a mas	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto Con Aire Incorporado								
1 a 2 pulg	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4 pulg	202	193	184	175	165	157	133	119
5 pulg a mas	216	205	197	184	174	166	154	-

Nota. En la tabla 32 se aprecia los resultados de Volumen unitario de agua para TMN y consistencia. Datos tomados de Comité del ACI.

Volumen unitario de agua = 216 L/m³

- **5° PASO Determinación del contenido de aire**

Para determinar el contenido de aire se toma en cuenta el TMN de 1/2", utilizando la siguiente tabla:

Tabla 34

Contenido de aire atrapado

Contenido de Aire	
T.M.N.	%
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
6"	0.2

Nota. En la tabla 34 se aprecia los resultados en cuanto al contenido aire atrapado. Datos tomados de Comité del ACI.

$$\text{Contenido de aire} = 2.5\%$$

- **6° PASO Determinación de la relación agua/cemento**

Para determinar la relación agua/cemento se calcula el valor de la interpolación de las resistencias y los valores de a/c del diseño, al no tener aire incorporado utilizamos la siguiente tabla:

Tabla 35

Relación a/c

f'cr a los 28 días	Relación a/c de diseño de peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Nota. En la tabla 35 se aprecia los resultados de relación a/c. Datos tomado de Comité del ACI.

Tabla 36
Interpolación de la relación a/c

300	→	0.55
294		0.558
250	→	0.62

Nota. En la tabla 36 se aprecia los resultados de la interpolación de la relación a/c.

$$a/c = 0.558$$

- 7° PASO Determinación del factor cemento**

Para determinar la cantidad de cemento por m³ de la mezcla de concreto, se usa las siguientes formulas:

$$Factor\ Cemento\ (kgf/m^3) = \frac{Vol.\ de\ Agua}{Relacion\ a/c}$$

$$Factor\ Cemento\ (kgf/m^3) = \frac{216\ L/m^3}{0.558}$$

$$Factor\ Cemento\ (kgf/m^3) = 386.82\ kgf/m^3$$

$$Factor\ Cemento\ (bolsa/m^3) = \frac{Factor\ Cemento\ (kgf/m^3)}{42.5\ kg/bolsa}$$

$$Factor\ Cemento\ (bolsa/m^3) = \frac{386.82\ kgf/m^3}{42.5\ kg/bolsa}$$

$$Factor\ Cemento\ (bolsa/m^3) = 9.1\ bolsa/m^3$$

- 8° PASO Calculo del volumen absoluto de pasta**

Para calcular el volumen absoluto de la pasta calculamos el volumen de aire, agua y cemento por metro cubico de mezcla, se usa las siguientes ecuaciones:

$$Vol.\ Cemento = \frac{Factor\ Cemento}{P\ especifico\ Cemento}$$

$$Vol.\ Cemento = \frac{386.82\ kgf/m^3}{2950} = 0.13\ m^3$$

$$Vol.\ Agua = \frac{Vol.\ Agua}{P\ especifico\ Agua}$$

$$Vol.\ Agua = \frac{216\ L/m^3}{1000} = 0.22\ m^3$$

$$Vol. de Aire = \frac{Contenido de Aire}{100}$$

$$Vol. de Aire = \frac{2.5 \%}{100} = 0.025 m^3$$

$$Vol. absoluto de la pasta = Vol. Cemento + Vol. Agua + Vol. de Aire$$

$$Vol. absoluto de la pasta = 0.13 m^3 + 0.22 m^3 + 0.025 m^3$$

$$Vol. pasta = 0.37 m^3$$

- 9° PASO Calculo del volumen absoluto del agregado

$$Vol. absoluto global = 1 m^3 - Vol. absoluto de la pasta$$

$$Vol. absoluto global = 1 m^3 - 0.37 m^3$$

$$Vol. absoluto global = 0.63 m^3$$

- 10° PASO Calculo del valor de “M” y el grado de incidencia del agregado fino y grueso

Para calcular el módulo de finura de la combinación de agregado fino y grueso se toma en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso, para lo cual se usa la siguiente tabla:

Tabla 37

Módulo de fineza de la combinación de agregados

TMN del Agregado Grueso	Módulo de Finura de la Combinación de Agregados, el cual da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en saco por metro cubico indicados.				
	6.00	7.00	8.00		9.00
3/8"	3.96	4.04	4.11		4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61		4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11		5.19
1"	5.26	5.34	5.41		5.49
1 1/2"	5.56	5.36	5.71		5.79
2"	5.86	5.94	6.01		6.09
3"	6.16	6.24	6.31		6.39

Nota. En la tabla 37 se aprecia el módulo de fineza de la combinación de agregados. Datos tomados de Comité del ACI.

Tabla 38.
Interpolación de la combinación de agregados

9.1	→	4.70
9		4.69
8	→	4.61

Nota. En la tabla 38 se aprecia los resultados de la interpolación de la combinación de agregados

$$M = 4.70$$

$$\text{Incidencia del } A_f (rf) = \frac{MF_G - M}{MF_G - MF_F} \times 100$$

$$\text{Incidencia del } A_f (rf) = \frac{6.33 - 4.70}{6.33 - 3.03} \times 100$$

$$\text{Incidencia del } A_f (rf) = 49.45 \%$$

$$\text{Incidencia del } A_g (rg) = 100 \% - A_f \%$$

$$\text{Incidencia del } A_g (rg) = 100 \% - 49.45 \%$$

$$\text{Incidencia del } A_g (rg) = 50.55 \%$$

- **11° PASO** Calculo del volumen absoluto de los agregados

Para determinar los volúmenes absolutos se hace uso de las incidencias de los agregados fino y grueso se usa las siguientes formulas:

$$\text{Vol. Absoluto A. F.} = rf \times \text{Vol. Absoluto Global}$$

$$\text{Vol. Absoluto A. F.} = 0.4945 \times 0.63 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Absoluto A. F.} = 0.31 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Absoluto A. G.} = rg \times \text{Vol. Absoluto Global}$$

$$\text{Vol. Absoluto A. G.} = 0.5055 \times 0.63 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Absoluto A. G.} = 0.32 \text{ m}^3$$

- **12° PASO** Calculo del peso seco de los agregados

Para determinar los pesos secos de los agregados por metro cubico de mezcla de concreto, se usa las siguientes formulas:

$$\text{Peso Seco A. F.} = \text{Vol. Absoluto A. F.} \times P \text{ especifico A. F.}$$

$$\text{Peso Seco A. F.} = 0.31 \times 2490 \text{ kgf/m}^3 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{Peso Seco A. F.} = 773.11 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{Peso Seco A. G.} = \text{Vol. Absoluto A. G.} \times P \text{ especifico A. G.}$$

$$\text{Peso Seco A. G.} = 0.32 \times 2700 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{Peso Seco A. G.} = 856.94 \text{ kgf/m}^3$$

- 13° PASO Valores de diseño de mezcla secos

Tabla 39

Pesos de diseño en seco

Agregado Fino seco=	773.11	kg/m ³
Agregado Grueso seco=	856.94	kg/m ³
Cemento =	386.82	kg/m ³
Agua de diseño =	216.00	L/m ³

Nota. En la tabla 39 se aprecia los resultados en cuanto a los pesos de diseño en seco.

- 14° PASO Corrección por humedad de los agregados

Se realiza la corrección por humedad para obtener el valor real del agua por metro cubico de mezcla de concreto, se añade el contenido de humedad a cada agregado, se saca la humedad superficial y calcular el aporte de agua a la mezcla, se usa las siguientes formulas:

- Cálculo del peso húmedo de los agregados

$$\text{Peso Humedo A. F.} = \text{Peso Seco A. F.} \times (1 + W_F \%)$$

$$\text{Peso Humedo A. F.} = 773.11 \text{ kgf/m}^3 \times (1 + 0.35 \%)$$

$$\text{Peso Humedo A. F.} = 775.32 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{Peso Humedo A. G.} = \text{Peso Seco A. G.} \times (1 + W_G \%)$$

$$\text{Peso Humedo A. G.} = 856.94 \text{ kgf/m}^3 \times (1 + 0.23 \%)$$

$$\text{Peso Humedo A. G.} = 858.92 \text{ kgf/m}^3$$

- Cálculo de la humedad superficial de los agregados

$$\text{Humedad Superficial del A. F.} = W_F \% - \text{Absorcion}_F \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. F.} = 0.35 \% - 4.0 \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. F.} = -3.65 \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. G.} = W_G \% - \text{Absorcion}_G \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. G.} = 0.23 \% - 1.35 \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. G.} = -1.12 \%$$

○ **Cálculo de aporte de humedad de los agregados**

Aporte de Humedad del A. F. = Peso Seco A.F. seco $\times$ Humedad superficial A.F.

$$Aporte\ de\ Humedad\ del\ A.\ F. = 773.11\ kgf/m^3 \times (-3.65\ \%)$$

$$Aporte\ de\ Humedad\ del\ A.\ F. = -28.22\ L/m^3$$

Aporte de Humedad del A. G. = Peso Seco A.G. seco $\times$ Humedad superficial A.G.

$$Aporte\ de\ Humedad\ del\ A.\ G. = 856.94\ kgf/m^3 \times (-1.12\ \%)$$

$$Aporte\ de\ Humedad\ del\ A.\ G. = -9.60\ L/m^3$$

$$Aporte\ de\ Humedad\ Total. = -37.82\ L/m^3$$

○ **Cálculo del agua efectiva**

Agua Efectiva = Vol. Unitario de Agua – Aporte de Humedad Total

$$Agua\ Efectiva = 216\ L/m^3 - (-37.82\ L/m^3)$$

$$Agua\ Efectiva = 253.82\ L/m^3$$

• **15° PASO Proporción de pesos**

Se presenta los pesos húmedos finales del diseño de mezcla:

Tabla 40

Interpolación de la combinación de agregados

Agregado Fino =	775.82	kg/m3
Agregado Grueso =	858.92	kg/m3
Cemento =	386.82	kg/m3
Agua de diseño =	253.82	L/m3
Aire	2.50	%

Nota. En la tabla 40 se aprecia los resultados para interpolación de la combinación de agregados

Tabla 41

Proporción de pesos del diseño de mezcla

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA
1.0	2.0	2.2	0.7

Nota. En la tabla 41 se aprecia los resultados en cuanto a la proporción del diseño de mezcla

- **Adición de Dióxido de Titanio al Diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm² con respecto a la cantidad de cemento**

- **Adición del 0% de Dióxido de Titanio (TiO₂)**

Tabla 42

Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 0% de Dióxido de Titanio

Agregado Fino =	775.82	kg/m ³
Agregado Grueso =	858.92	kg/m ³
Cemento =	386.82	kg/m ³
Agua de diseño =	253.82	L/m ³
TiO ₂ (0%) =	0.00	kg/m ³

Nota. En la tabla se aprecia los resultados obtenidos en cuanto a los pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 0% de Dióxido de Titanio

Tabla 43

Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 0% de Dióxido de Titanio

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA	TiO ₂ (0%)
1.0	2.0	2.2	0.7	0.0

Nota. En la tabla 43 se aprecia los resultados en cuanto a la proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 0% de Dióxido de Titanio

- **Adición del 3% de Dióxido de Titanio (TiO₂)**

Tabla 44

Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 3% de Dióxido de Titanio

Agregado Fino =	775.82	kg/m ³
Agregado Grueso =	858.92	kg/m ³
Cemento =	386.82	kg/m ³
Agua de diseño =	253.82	L/m ³
TiO ₂ (3%) =	11.60	kg/m ³

Nota. En la tabla 44 se aprecia los resultados en cuanto a los pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 3% de Dióxido de Titanio

Tabla 45

Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 3% de Dióxido de Titanio

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA	TiO ₂ (3%)
1.0	2.0	2.2	0.7	0.03

Nota. En la tabla 45 se aprecia los resultados en cuanto a la proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 3% de Dióxido de Titanio.

○ **Adición del 6% de Dióxido de Titanio (TiO₂)**

Tabla 46

Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 6% de Dióxido de Titanio

Agregado Fino =	775.82	kg/m ³
Agregado Grueso =	858.92	kg/m ³
Cemento =	386.82	kg/m ³
Agua de diseño =	253.82	L/m ³
TiO ₂ (6%) =	23.21	kg/m ³

Nota. En la tabla 46 se aprecia los resultados en cuanto a pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 6% de Dióxido de Titanio.

Tabla 47

Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 6% de Dióxido de Titanio

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA	TiO ₂ (6%)
1.0	2.0	2.2	0.7	0.06

Nota. En la tabla 47 se aprecia la proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 6% de Dióxido de Titanio.

○ **Adición del 9% de Dióxido de Titanio (TiO₂)**

Tabla 48.

Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 9% de Dióxido de Titanio

Agregado Fino =	775.82	kg/m ³
Agregado Grueso =	858.92	kg/m ³
Cemento =	386.82	kg/m ³
Agua de diseño =	253.82	L/m ³
TiO ₂ (9%) =	34.81	kg/m ³

Nota. En la tabla 48 se aprecia los resultados en cuanto a pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=210$ kgf/cm² con adición de 9% de Dióxido de Titanio.

Tabla 49

Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ con adición de 9% de Dióxido de Titanio

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA	TiO ₂ (9%)
1.0	2.0	2.2	0.7	0.09

Nota. En la tabla 49 se aprecia los resultados en cuanto a la proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ con adición de 9% de Dióxido de Titanio.

4.5.2. Diseño de mezcla método módulo de Fineza $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$

- Características de los materiales**

Obtenemos las características de los materiales de los diseños realizados a los agregados grueso y fino, y de las fichas técnicas.

Tabla 50

Características de los materiales.

$f'c$	280	kgf/cm ²	Cemento	Yura tipo IP	
Ds	0	kgf/cm ²	P específico	2.95	g/cm ³
Consistencia	plástica		Agua	Potable	
Lugar	Arequipa		Agregados	Angular	
Sulfato	Despreciable				
Asentamiento	de 3 a 4 pulg				
	Agregado Fino			Agregado Grueso	
P específico	2.49	g/cm ³	P específico	2.7	g/cm ³
% absorción	4.00	%	% absorción	1.35	%
% Humedad	0.35	%	% Humedad	0.23	%
M. F.	3.03		TMN	1/2"	
			M. F.	6.33	

Nota. En la tabla 50 se aprecia los resultados en cuanto a las características de los materiales.

- 1° PASO Calcular la resistencia requerida**

Al no contar datos de desviación estándar escogemos la resistencia requerida de acuerdo a la siguiente

$$f'cr = 280 + 84$$

$$f'cr = 364 \text{ kgf/cm}^2$$

- **2° PASO Determinación del Tamaño Máximo Nominal**

El tamaño máximo nominal se obtiene de los ensayos de los materiales realizado en laboratorio.

$$TMN = 1/2''$$

- **3° PASO Determinación del asentamiento**

El SLUMP o asentamiento que se escogió es para un concreto trabajable y que nos dé un acabado caravista, por lo que se escogió una consistencia plástica según la *Tabla 30*.

$$Asentamiento = 3'' \text{ a } 4''$$

- **4° PASO Determinación del volumen de agua**

Para determinar el volumen de agua se toma en cuenta los datos de TMN de 1/2'' y el SLUMP de 3'' a 4'', utilizando la *Tabla 31*.

$$Volumen \text{ unitario de agua} = 216 \text{ L/m}^3$$

- **5° PASO Determinación del contenido de aire**

Para determinar el contenido de aire se toma en cuenta el TMN de 1/2'', utilizando la *Tabla 32*.

$$Contenido \text{ de aire} = 2.5\%$$

- **6° PASO Determinación de la relación agua/cemento**

Para determinar la relación agua/cemento se calcula el valor de la interpolación de las resistencias y los valores de a/c del diseño, al no tener aire incorporado utilizamos la *Tabla 33*.

Tabla 51
Relación agua/cemento

<i>f'cr</i> a los 28 días	Relación a/c de diseño de peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Nota. En la tabla 51 se aprecia los resultados en cuanto a la relación agua / cemento.

Tabla 52
Interpolación de la relación a/c

400	→	0.43
364		0.466
350	→	0.48

Nota. En la tabla 52 se aprecia los resultados para la interpolación de la relación a/c.

$$a/c = 0.466$$

- 7° PASO Determinación del factor cemento**

Para determinar la cantidad de cemento por m³ de la mezcla de concreto, se usa las siguientes formulas:

$$\text{Factor Cemento (kgf/m}^3\text{)} = \frac{\text{Vol. de Agua}}{\text{Relacion a/c}}$$

$$\text{Factor Cemento (kgf/m}^3\text{)} = \frac{216 \text{ L/m}^3}{0.466}$$

$$\text{Factor Cemento (kgf/m}^3\text{)} = 463.52 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{Factor Cemento (bolsa/m}^3\text{)} = \frac{\text{Factor Cemento (kgf/m}^3\text{)}}{42.5 \text{ kg/bolsa}}$$

$$\text{Factor Cemento (bolsa/m}^3\text{)} = \frac{463.52 \text{ kgf/m}^3}{42.5 \text{ kg/bolsa}}$$

$$\text{Factor Cemento (bolsa/m}^3\text{)} = 10.9 \text{ bolsa/m}^3$$

- **8° PASO Calculo del volumen absoluto de pasta**

Para calcular el volumen absoluto de la pasta calculamos el volumen de aire, agua y cemento por metro cubico de mezcla, se usa las siguientes ecuaciones:

$$Vol. Cemento = \frac{Factor\ Cemento}{P\ especifico\ Cemento}$$

$$Vol. Cemento = \frac{463.52\ kgf/m^3}{2950} = 0.16\ m^3$$

$$Vol. Agua = \frac{Vol. Agua}{P\ especifico\ Agua}$$

$$Vol. Agua = \frac{216\ L/m^3}{1000} = 0.22\ m^3$$

$$Vol. de Aire = \frac{Contenido\ de\ Aire}{100}$$

$$Vol. de Aire = \frac{2.5\ \%}{100} = 0.025\ m^3$$

$$Vol. absoluto\ de\ la\ pasta = Vol. Cemento + Vol. Agua + Vol. de Aire$$

$$Vol. absoluto\ de\ la\ pasta = 0.16\ m^3 + 0.22\ m^3 + 0.025\ m^3$$

$$Vol. pasta = 0.40\ m^3$$

- **9° PASO Calculo del volumen absoluto del agregado**

$$Vol. absoluto\ global = 1\ m^3 - Vol. absoluto\ de\ la\ pasta$$

$$Vol. absoluto\ global = 1\ m^3 - 0.40\ m^3$$

$$Vol. absoluto\ global = 0.60\ m^3$$

- **10° PASO Calculo del valor de “M” y el grado de incidencia del agregado fino y grueso**

Para calcular el módulo de finura de la combinación de agregado fino y grueso se toma en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 53

Interpolación de la combinación de agregados

10.9	→	4.84
9		4.69
8	→	4.61

Nota. En la tabla 53 se aprecia los resultados en cuanto a la interpolación de la combinación de agregados.

$$M = 4.84$$

$$\text{Incidencia del } A_f (rf) = \frac{MF_G - M}{MF_G - MF_F} \times 100$$

$$\text{Incidencia del } A_f (rf) = \frac{6.33 - 4.84}{6.33 - 3.03} \times 100$$

$$\text{Incidencia del } A_f (rf) = 45.08 \%$$

$$\text{Incidencia del } A_g (rg) = 100 \% - A_f \%$$

$$\text{Incidencia del } A_g (rg) = 100 \% - 45.08 \%$$

$$\text{Incidencia del } A_g (rg) = 54.92 \%$$

- **11° PASO Calculo del volumen absoluto de los agregados**

Para determinar los volúmenes absolutos se hace uso de las incidencias de los agregados fino y grueso se usa las siguientes formulas:

$$\text{Vol. Absoluto A. F.} = rf \times \text{Vol. Absoluto Global}$$

$$\text{Vol. Absoluto A. F.} = 0.4508 \times 0.60 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Absoluto A. F.} = 0.27 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Absoluto A. G.} = rg \times \text{Vol. Absoluto Global}$$

$$\text{Vol. Absoluto A. G.} = 0.5492 \times 0.60 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Absoluto A. G.} = 0.33 \text{ m}^3$$

- **12° PASO Calculo del peso seco de los agregados**

Para determinar los pesos secos de los agregados por metro cubico de mezcla de concreto, se usa las siguientes formulas:

$$\text{Peso Seco A. F.} = \text{Vol. Absoluto A. F.} \times P \text{ especifico A. F.}$$

$$\text{Peso Seco A. F.} = 0.27 \times 2490 \text{ kgf/m}^3 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{Peso Seco A. F.} = 675.53 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{Peso Seco A. G.} = \text{Vol. Absoluto A. G.} \times P \text{ especifico A. G.}$$

$$\text{Peso Seco A. G.} = 0.33 \times 2700 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{Peso Seco A. G.} = 892.56 \text{ kgf/m}^3$$

- **13° PASO Valores de diseño de mezcla secos**

Tabla 54.
Pesos de diseño en seco

Agregado Fino seco=	675.53	kg/m³
Agregado Grueso seco=	892.56	kg/m³
Cemento =	463.52	kg/m³
Agua de diseño =	216.00	L/m³

Nota. En la tabla 54 se aprecia los resultados en cuanto a los peso de diseño en seco.

- **14° PASO Corrección por humedad de los agregados**

Se realiza la corrección por humedad para obtener el valor real del agua por metro cubico de mezcla de concreto, se añade el contenido de humedad a cada agregado, se saca la humedad superficial y calcular el aporte de agua a la mezcla, se usa las siguientes formulas:

- **Cálculo del peso húmedo de los agregados**

$$\text{Peso Humedo A. F.} = \text{Peso Seco A. F.} \times (1 + W_F \%)$$

$$\text{Peso Humedo A. F.} = 657.53 \text{ kgf/m}^3 \times (1 + 0.35 \%)$$

$$\text{Peso Humedo A. F.} = 677.90 \text{ kgf/m}^3$$

$$\text{Peso Humedo A. G.} = \text{Peso Seco A. G.} \times (1 + W_G \%)$$

$$\text{Peso Humedo A. G.} = 892.56 \text{ kgf/m}^3 \times (1 + 0.23 \%)$$

$$\text{Peso Humedo A. G.} = 894.61 \text{ kgf/m}^3$$

- **Cálculo de la humedad superficial de los agregados**

$$\text{Humedad Superficial del A. F.} = W_F \% - \text{Absorcion}_F \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. F.} = 0.35 \% - 4.0 \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. F.} = -3.65 \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. G.} = W_G \% - \text{Absorcion}_G \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. G.} = 0.23 \% - 1.35 \%$$

$$\text{Humedad Superficial del A. G.} = -1.12 \%$$

○ **Cálculo de aporte de humedad de los agregados**

Aporte de Humedad del A. F. = Peso Seco A.F. seco $\times$ Humedad superficial A.F.

$$\text{Aporte de Humedad del A. F.} = 677.53 \text{ kgf/m}^3 \times (-3.65 \%)$$

$$\text{Aporte de Humedad del A. F.} = -24.65 \text{ L/m}^3$$

Aporte de Humedad del A. G. = Peso Seco A.G. seco $\times$ Humedad superficial A.G.

$$\text{Aporte de Humedad del A. G.} = 892.56 \text{ kgf/m}^3 \times (-1.12 \%)$$

$$\text{Aporte de Humedad del A. G.} = -10.00 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Aporte de Humedad Total.} = -34.65 \text{ L/m}^3$$

○ **Cálculo del agua efectiva**

Agua Efectiva = Vol. Unitario de Agua – Aporte de Humedad Total

$$\text{Agua Efectiva} = 216 \text{ L/m}^3 - (-34.65 \text{ L/m}^3)$$

$$\text{Agua Efectiva} = 250.65 \text{ L/m}^3$$

• **15° PASO Proporción de pesos**

Se presenta los pesos húmedos finales del diseño de mezcla:

Tabla 55

Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico

Agregado Fino =	677.90	kg/m ³
Agregado Grueso =	894.61	kg/m ³
Cemento =	463.52	kg/m ³
Agua de diseño =	250.65	L/m ³
Aire	2.50	%

Nota. En la tabla 55 se aprecia los resultados en cuanto a los pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico.

Tabla 56

Proporción de pesos del diseño de mezcla

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA
1.0	1.5	1.9	0.5

Nota. En la tabla 56 se aprecia los resultados en cuanto a la Proporción de pesos del diseño de mezcla.

- **Adición de Dióxido de Titanio al Diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm² con respecto a la cantidad de cemento**

- **Adición del 0% de Dióxido de Titanio (TiO₂)**

Tabla 57

Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 0% de Dióxido de Titanio

Agregado Fino =	677.90	kg/m ³
Agregado Grueso =	894.61	kg/m ³
Cemento =	463.52	kg/m ³
Agua de diseño =	250.65	L/m ³
TiO ₂ (0%) =	0.00	kg/m ³

Nota. En la tabla 57 se aprecia los resultados en cuanto a pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 0% de Dióxido de Titanio.

Tabla 58

Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 0% de Dióxido de Titanio

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA	TiO ₂ (0%)
1.0	1.5	1.9	0.5	0.0

Nota. En la tabla 58 se aprecia los resultados en cuanto a los Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 0% de Dióxido de Titanio.

- **Adición del 3% de Dióxido de Titanio (TiO₂)**

Tabla 59

Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 3% de Dióxido de Titanio

Agregado Fino =	677.90	kg/m ³
Agregado Grueso =	894.61	kg/m ³
Cemento =	463.52	kg/m ³
Agua de diseño =	250.65	L/m ³
TiO ₂ (3%) =	13.91	kg/m ³

Nota. En la tabla 59 se aprecia los resultados en cuanto a los pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 3% de Dióxido de Titanio.

Tabla 60

Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 3% de Dióxido de Titanio

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA	TiO ₂ (3%)
1.0	1.5	1.9	0.5	0.03

Nota. En la tabla 60 se evidencia los resultados en cuanto a la proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 3% de Dióxido de Titanio.

○ **Adición del 6% de Dióxido de Titanio (TiO₂)**

Tabla 61.

Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 6% de Dióxido de Titanio

Agregado Fino =	677.90	kg/m ³
Agregado Grueso =	894.61	kg/m ³
Cemento =	463.52	kg/m ³
Agua de diseño =	250.65	L/m ³
TiO ₂ (6%) =	27.81	kg/m ³

Nota. En la tabla 61 se evidencia los resultados en cuanto a los pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 6% de Dióxido de Titanio.

Tabla 62.

Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 6% de Dióxido de Titanio

CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA	TiO ₂ (6%)
1.0	1.5	1.9	0.5	0.06

Nota. En la tabla 62 se aprecia los resultados en cuanto a la Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 6% de Dióxido de Titanio.

○ **Adición del 9% de Dióxido de Titanio (TiO₂)**

Tabla 63

Pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 9% de Dióxido de Titanio

Agregado Fino =	677.90	kg/m ³
Agregado Grueso =	894.61	kg/m ³
Cemento =	463.52	kg/m ³
Agua de diseño =	250.65	L/m ³
TiO ₂ (9%) =	41.72	kg/m ³

Nota. En la tabla 63 se aprecia los resultados en cuanto a los pesos húmedos de diseño de mezcla por metro cubico $f'c=280$ kgf/cm² con adición de 9% de Dióxido de Titanio.

Tabla 64

Proporción de pesos del diseño de mezcla $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ con adición de 9% de Dióxido de Titanio

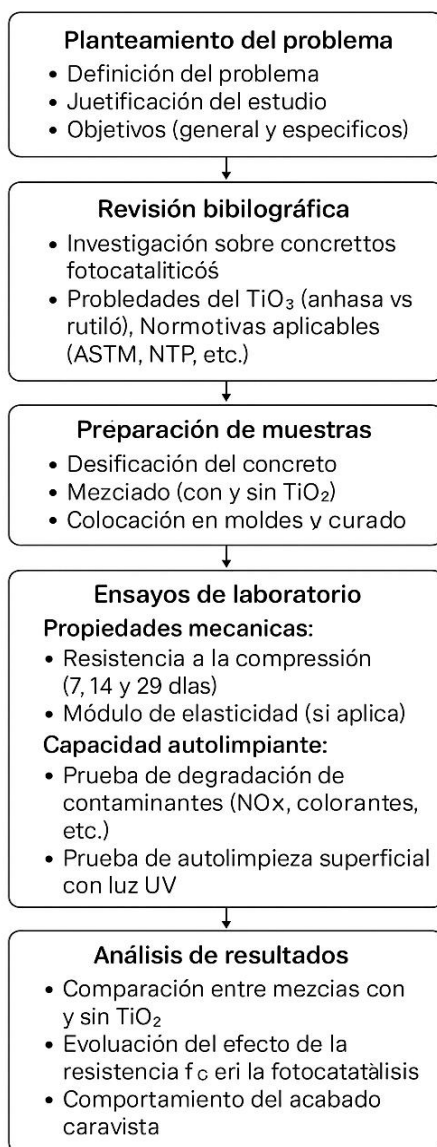
CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	AGUA	TiO ₂ (9%)
1.0	1.5	1.9	0.5	0.09

Nota. En la tabla 64 se aprecia la proporción de pesos de diseños de mezcla $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ con adición de 9% de Dióxido de Titanio.

Figura 45

Diagrama de flujo del proceso metodológico

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y
CAPACIDAD AUTOLIMPIANTE DEL CONCRETO FOTOCATALITICO
CON ADICION DE TiO₂ CON RESISTENCIA $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
PARA ACABADOS CARAVISTA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**



Nota. En la figura 45 se aprecia el diagrama de flujo del proceso metodológico.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Ensayo del Concreto fotocatalítico en estado fresco.

5.1.1. Grado de asentamiento (SLUMP) y temperatura en el concreto fresco

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.035 Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland. (NTP 339.035, 2009) y de la norma NTP 339.184 Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura la temperatura de mezcla de hormigón (concreto) (NTP 339.184, 2021).

Figura 46

Medición del asentamiento del concreto fresco diseño $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2$



Nota. En la figura 46 se aprecia el proceso en cuanto a medición del asentamiento del concreto fresco diseño $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2$

Figura 47

Medición de la temperatura del concreto fresco diseño $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2$



Nota. En la figura 47 se aprecia el proceso de medición la temperatura del concreto fresco diseño $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2$

Se realizó el ensayo de determinación de asentamiento (SLUMP) y la temperatura de concreto para 16 vaciados, por cada vaciado que genera 27 probetas de concreto para cada diseño. Se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 65

Temperatura y asentamiento (SLUMP) del concreto en estado fresco

N°	DISEÑO f'c (kgf/cm ²)	TEMPERATURA (°C)	SLUMP (")
VACIADO 1	210 + 0% TiO ₂ Compresión	24.6	3.2
VACIADO 2	210 + 0% TiO ₂ Tracción	25.5	3.3
VACIADO 3	280 + 0% TiO ₂ Compresión	23.5	3.9
VACIADO 4	280 + 0% TiO ₂ Tracción	23.5	3.7
VACIADO 5	210 + 3% TiO ₂ Compresión	26.1	3.5
VACIADO 6	210 + 3% TiO ₂ Tracción	25.3	3.0
VACIADO 7	280 + 3% TiO ₂ Compresión	24.5	3.2
VACIADO 8	280 + 3% TiO ₂ Tracción	25.1	3.4
VACIADO 9	210 + 6% TiO ₂ Compresión	23.9	4.0
VACIADO 10	210 + 6% TiO ₂ Tracción	24.2	3.9
VACIADO 11	280 + 6% TiO ₂ Compresión	23.6	3.6
VACIADO 12	280 + 6% TiO ₂ Tracción	24.1	3.8
VACIADO 13	210 + 9% TiO ₂ Compresión	22.8	4.1
VACIADO 14	210 + 9% TiO ₂ Tracción	22.5	3.8
VACIADO 15	280 + 9% TiO ₂ Compresión	23.3	3.6
VACIADO 16	280 + 9% TiO ₂ Tracción	24.8	3.5
PROMEDIO		24.2	3.6

Nota. En la tabla 65 se aprecia los resultados obtenidos en cuanto a Temperatura y asentamiento (SLUMP) del concreto en estado fresco.

En la **Tabla 65** podemos observar que el SLUMP promedio es de 3.6" y la temperatura promedio es de 24.2 °C

5.1.2. Peso unitario del concreto en estado fresco

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.046 Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). (NTP 339.046, 2008)

Los cálculos se realizaron con la siguiente formula:

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{Peso}_{R+M} - \text{Peso}_R}{\text{Volumen}_R}$$

Peso Unitario: Peso específico (kg/m³)

Peso_{R+M}: Peso del recipiente + muestra (kg)

Peso_R: Peso del recipiente (kg)

Volumen_R: Volumen del recipiente (m³)

Figura 48.

Peso del recipiente vacío.



Nota. En la figura 48 se aprecia el proceso del recipiente vacío.

Figura 49.

Peso del recipiente con el concreto fresco enrasado



Nota. En la figura 49 se aprecia el proceso de peso del recipiente con el concreto fresco enrasado.

Se realizó el ensayo de determinación del peso unitario para 16 vaciados, por cada vaciado que genera 27 probetas de concreto para cada diseño. Se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 66
Peso Unitario del concreto en estado fresco

Nº	DISEÑO f'c (kgf/cm ²)	Peso Recipiente (g)	Peso Rec. + Muestra (g)	Peso de la Muestra (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Peso Unitario (kg/m ³)
VACIADO 1	210 + 0% TiO ₂ C	1646	8202	6556	2831.3	2315.54
VACIADO 2	210 + 0% TiO ₂ T	1646	8721	7075	2831.3	2498.85
VACIADO 3	280 + 0% TiO ₂ C	1646	8509	6863	2831.3	2423.97
VACIADO 4	280 + 0% TiO ₂ T	1647	8438	6791	2831.3	2398.54
VACIADO 5	210 + 3% TiO ₂ C	1647	8371	6724	2831.3	2374.88
VACIADO 6	210 + 3% TiO ₂ T	1647	8535	6888	2831.3	2432.80
VACIADO 7	280 + 3% TiO ₂ C	1646	8648	7002	2831.3	2473.07
VACIADO 8	280 + 3% TiO ₂ T	1646	8584	6938	2831.3	2450.46
VACIADO 9	210 + 6% TiO ₂ C	1647	8663	7016	2831.3	2478.01
VACIADO 10	210 + 6% TiO ₂ T	1647	8594	6947	2831.3	2453.64
VACIADO 11	280 + 6% TiO ₂ C	1650	8690	7040	2831.3	2486.49
VACIADO 12	280 + 6% TiO ₂ T	1650	8650	7000	2831.3	2472.36
VACIADO 13	210 + 9% TiO ₂ C	1650	8610	6960	2831.3	2458.23
VACIADO 14	210 + 9% TiO ₂ T	1650	8705	7055	2831.3	2491.79
VACIADO 15	280 + 9% TiO ₂ C	1650	8320	6670	2831.3	2355.81
VACIADO 16	280 + 9% TiO ₂ T	1650	8458	6808	2831.3	2404.55
Promedio						2435.56

Nota. En la tabla 66 se aprecia los resultados en cuanto al peso unitario del concreto en estado fresco.

En la **Tabla 66** se observa que el peso unitario es de 2435.56 kg/m³

5.2. Diseño inicial concreto patrón f'c 210 kgf/cm² y f'c 280 kgf/cm²

5.2.1. Resistencia a la compresión axial del Concreto Patrón f'c 280 kgf/cm²

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.034 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. (NTP 339.034, 2015)

Tabla 67
Resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

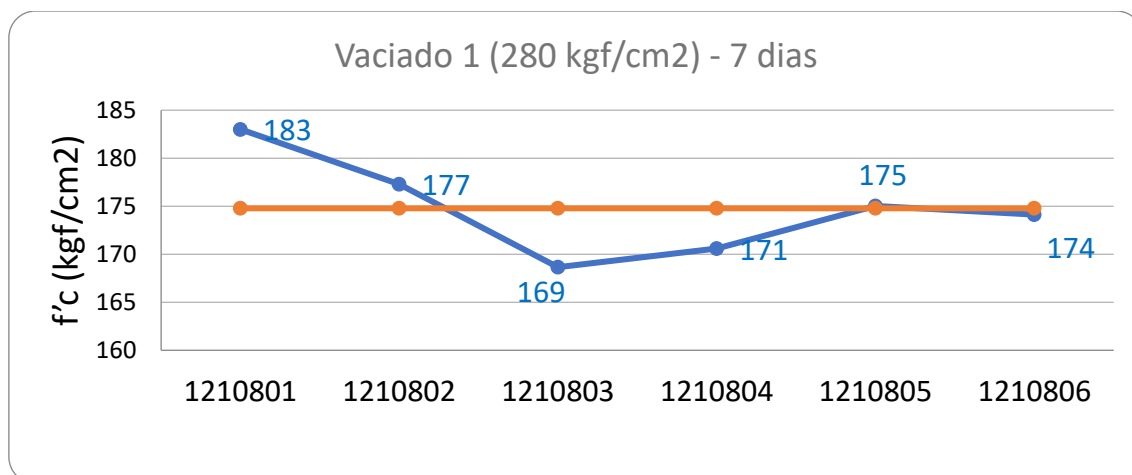
Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Nº	D (cm)	H (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	E (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
280 kgf/cm ²	21/8/2024	28/8/2024	7 días	1210801	10,02	20,08	4317	78,85	14431	183
	21/8/2024	28/8/2024	7 días	1210802	10,04	20,11	4412	79,17	14036	177
	21/8/2024	28/8/2024	7 días	1210803	10,02	20,02	4218	78,85	13299	169
	21/8/2024	28/8/2024	7 días	1210804	10,08	20,08	4287	79,80	13613	171
	21/8/2024	28/8/2024	7 días	1210805	10,02	20,07	4295	78,85	13803	175
	21/8/2024	28/8/2024	7 días	1210806	10,07	20,04	4215	79,64	13868	174
280 kgf/cm ²	21/8/2024	4/9/2024	14 días	1210807	10,07	20,07	4325	79,64	16480	207
	21/8/2024	4/9/2024	14 días	1210808	10,08	20,08	4321	79,80	16665	209
	21/8/2024	4/9/2024	14 días	1210809	10,07	20,05	4308	79,64	16245	204
	21/8/2024	4/9/2024	14 días	1210810	10,08	20,06	4319	79,80	15572	195
	21/8/2024	4/9/2024	14 días	1210811	10,05	20,04	4300	79,33	15636	197
	21/8/2024	4/9/2024	14 días	1210812	10,04	20,05	4251	79,17	16488	208
280 kgf/cm ²	21/8/2024	18/9/2024	28 días	1210813	10,02	20,08	4294	78,85	22145	281
	21/8/2024	18/9/2024	28 días	1210814	10,04	20,07	4327	79,17	22231	281
	21/8/2024	18/9/2024	28 días	1210815	10,01	20,04	4359	78,70	22192	282
	21/8/2024	18/9/2024	28 días	1210816	10,07	20,07	4341	79,64	22750	286
	21/8/2024	18/9/2024	28 días	1210817	10,02	20,08	4362	78,85	21980	279
	21/8/2024	18/9/2024	28 días	1210818	10,03	20,05	4392	79,01	22350	283

Nota. En la tabla se aprecian los resultados en cuanto a la Resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

A los 7 días, los valores de resistencia (Fc) oscilan entre 169 y 183 kgf/cm², lo que representa aproximadamente 60-65% de la resistencia de diseño. Del mismo modo, a los 14 días, la resistencia aumenta, con valores entre 195 y 209 kgf/cm², alcanzando cerca del 70-75% de la resistencia final esperada. A los 28 días, los valores de resistencia están en un rango de 279 a 286 kgf/cm², lo que confirma que el concreto alcanzó y superó la resistencia de diseño de 280 kgf/cm². Asimismo, se observa una variación en los valores de resistencia en cada período, lo que es normal debido a pequeñas diferencias en el proceso de fabricación, curado y ensayo. A los 28 días, los valores son bastante consistentes y cercanos a la resistencia de diseño, lo que indica un buen control en la producción del concreto.

Figura 50

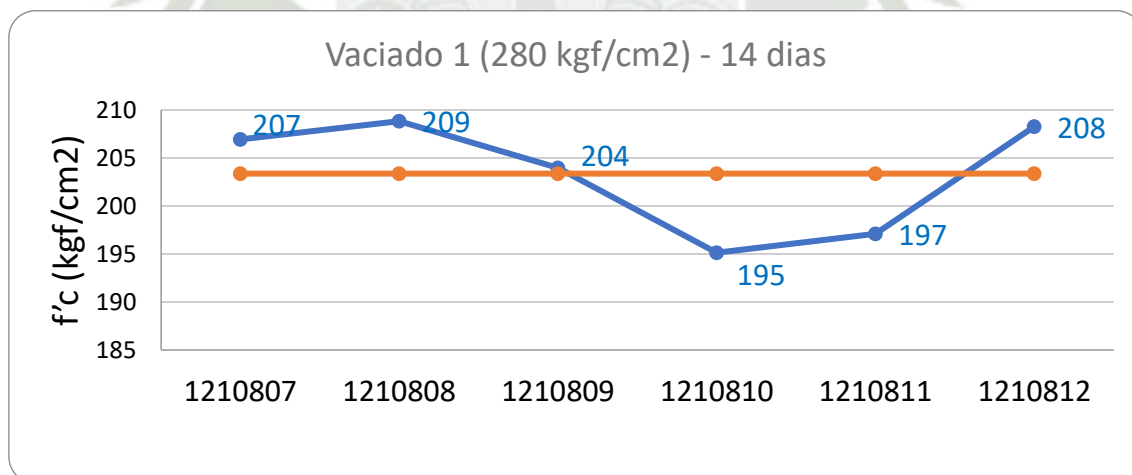
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días



Nota. En la figura 50 se aprecia el Gráfico de resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días

Figura 51

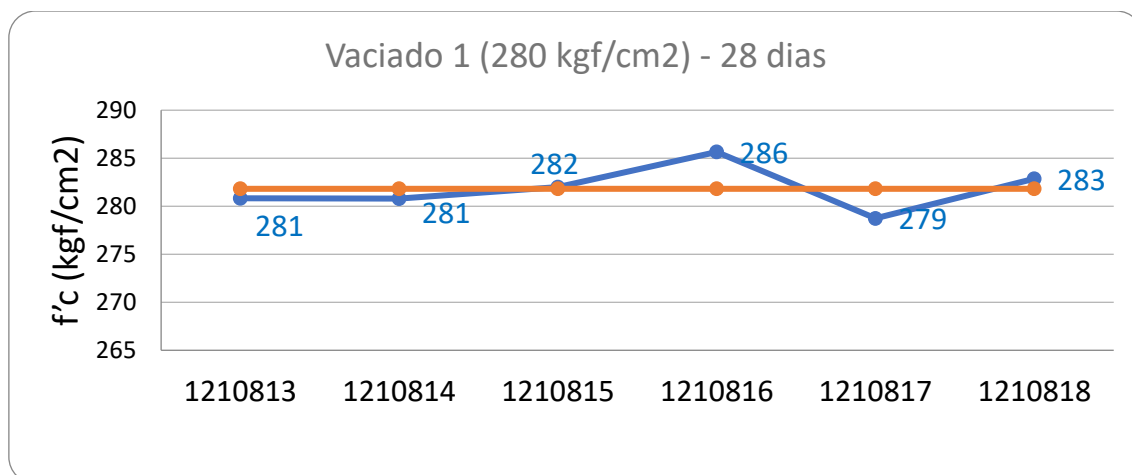
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días



Nota. En la figura 51 se aprecia el Gráfico de resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días.

Figura 52.

Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días



Nota. En la figura 52 se aprecia el Gráfico de resistencia a la compresión del Vaciado 1 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días.

Tabla 68.

Resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

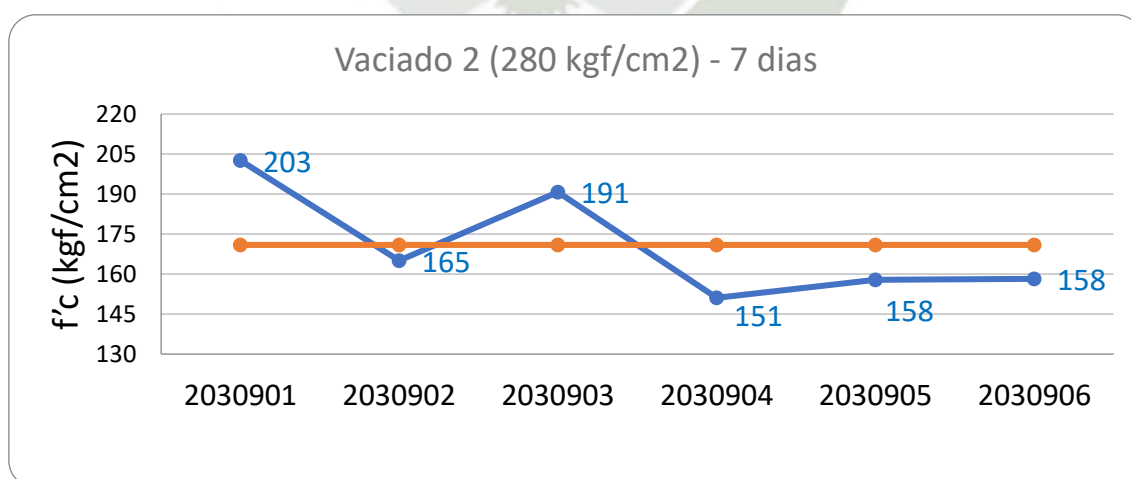
Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	N°	D (cm)	H (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	E (kgf)	Fc (kgf /cm ²)
280 kgf/cm ²	3/9/2024	10/9/2024	7 días	2030901	10.07	20.17	4346	79.64	16133	203
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	2030902	10.09	20.12	4236	79.96	13201	165
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	2030903	10.08	20.09	4307	79.80	15222	191
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	2030904	10.06	20.1	4268	79.49	12010	151
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	2030905	10.07	20.1	4212	79.64	12574	158
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	2030906	10.09	20.09	4243	79.96	12648	158
280 kgf/cm ²	3/9/2024	17/9/2024	14 días	2030907	10.05	20.07	4325	79.33	19851	250
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	2030908	10.04	20.08	4298	79.17	18559	234
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	2030909	10.02	20.05	4278	78.85	20777	263
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	2030910	10.04	20.17	4308	79.17	19147	242
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	2030911	10.06	20.12	4286	79.49	19508	245
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	2030912	10.07	20.09	4274	79.64	21181	266
280 kgf/cm ²	3/9/2024	1/10/2024	28 días	2030913	10.07	20.05	4395	79.64	22337	280
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	2030914	10.08	20.06	4290	79.80	23432	294
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	2030915	10.05	20.04	4314	79.33	23475	296
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	2030916	10.04	20.05	4357	79.17	22230	281
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	2030917	10.02	20.08	4351	78.85	22120	281
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	2030918	10.04	20.07	4365	79.17	22406	283

Nota. En la tabla 68 se aprecia los resultados para la resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

A los 7 días, la resistencia varía entre 151 y 203 kgf/cm², lo que representa aproximadamente 54% - 72% de la resistencia de diseño. Se observa una dispersión en los valores, con algunos resultados significativamente bajos (151 y 158 kgf/cm²), lo que puede indicar problemas en el curado o la compactación. De igual manera que, a los 14 días, la resistencia aumenta a un rango de 234 - 266 kgf/cm², lo que equivale a 83% - 95% de la resistencia esperada. La variabilidad se reduce, lo que indica que el concreto está ganando resistencia de manera uniforme. A los 28 días la resistencia está entre 280 y 296 kgf/cm², cumpliendo y superando la resistencia de diseño. La variabilidad es mínima, lo que confirma una correcta maduración del concreto. A los 7 días, algunos cilindros presentan resistencias significativamente bajas, a los 14 días, la mayoría de los valores están cercanos a la resistencia de diseño, indicando un correcto proceso de endurecimiento. A los 28 días, todos los cilindros cumplen o superan los 280 kgf/cm², validando la calidad del concreto.

Figura 53

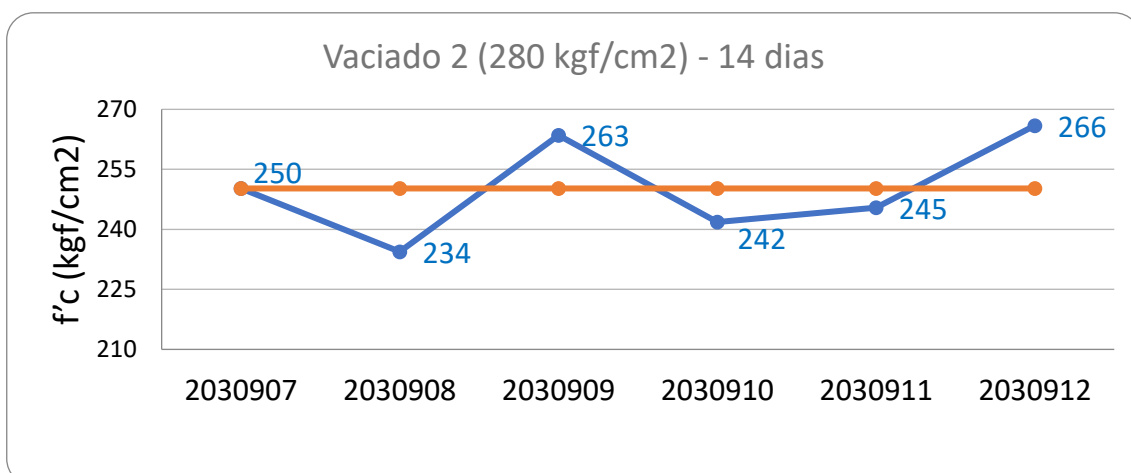
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días



Nota. En la figura 53 se aprecia el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días.

Figura 54

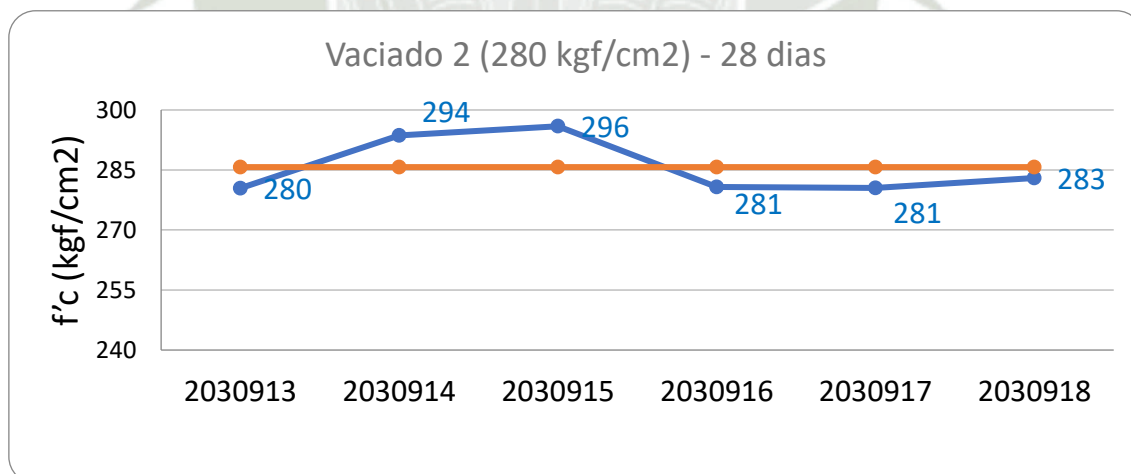
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días



Nota. En la figura 54 se aprecia el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días.

Figura 55

Gráfico de módulo de fineza del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días



Nota. En la figura 55 se aprecia el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 2 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días.

Tabla 69
Resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

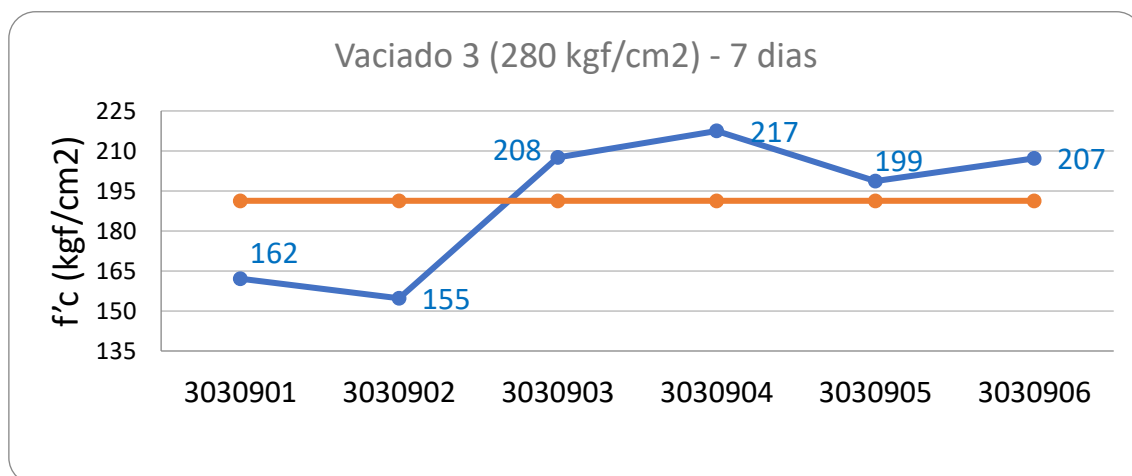
Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	N°	D (cm)	H (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	E (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
280 kgf/cm ²	3/9/2024	10/9/2024	7 días	3030901	10.07	20.13	4240	79.64	12909	162
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	3030902	10.09	20.17	3797	79.96	12374	155
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	3030903	10.03	20.05	4187	79.01	16405	208
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	3030904	10.05	20.13	4195	79.33	17253	217
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	3030905	10.05	20.11	4264	79.33	15766	199
	3/9/2024	10/9/2024	7 días	3030906	10.06	20.06	4241	79.49	16467	207
280 kgf/cm ²	3/9/2024	17/9/2024	14 días	3030907	10.07	20.1	4210	79.64	20896	262
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	3030908	10.09	20.09	4257	79.96	20195	253
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	3030909	10.05	20.07	4238	79.33	20542	259
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	3030910	10.04	20.08	4195	79.17	20306	256
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	3030911	10.02	20.05	4249	78.85	21424	272
	3/9/2024	17/9/2024	14 días	3030912	10.04	20.17	4175	79.17	20912	264
280 kgf/cm ²	3/9/2024	1/10/2024	28 días	3030913	10.08	20.06	4269	79.80	24875	312
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	3030914	10.05	20.04	4259	79.33	25155	317
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	3030915	10.04	20.05	4312	79.17	25216	319
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	3030916	10.02	20.08	4342	78.85	26805	340
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	3030917	10.04	20.07	4378	79.17	25293	319
	3/9/2024	1/10/2024	28 días	3030918	10.06	20.04	4299	79.49	24769	312

Nota. En la tabla 69 se aprecia los resultados en cuanto a la resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

A los 7 días, la resistencia varía entre 155 y 217 kgf/cm², lo que representa aproximadamente 55% - 77% de la resistencia de diseño. Existe una variabilidad considerable en los valores, con un valor bajo de 155 kgf/cm², lo que puede indicar problemas en el curado o compactación inicial. A los 14 días la resistencia aumenta a un rango de 253 - 272 kgf/cm², representando entre 90% - 97% de la resistencia esperada. La variabilidad se reduce, lo que indica una maduración más uniforme del concreto. A los 28 días la resistencia está entre 312 y 340 kgf/cm², superando la resistencia de diseño de 280 kgf/cm². A los 7 días, algunos cilindros muestran resistencias bajas (155 y 162 kgf/cm²), lo que puede estar relacionado con problemas de curado o variabilidad en la mezcla. A los 14 días, la resistencia está cerca de la esperada, lo que indica que el concreto está desarrollando resistencia de manera adecuada. A los 28 días, todos los cilindros superan los 280 kgf/cm², garantizando que el concreto cumple con los requisitos estructurales.

Figura 56

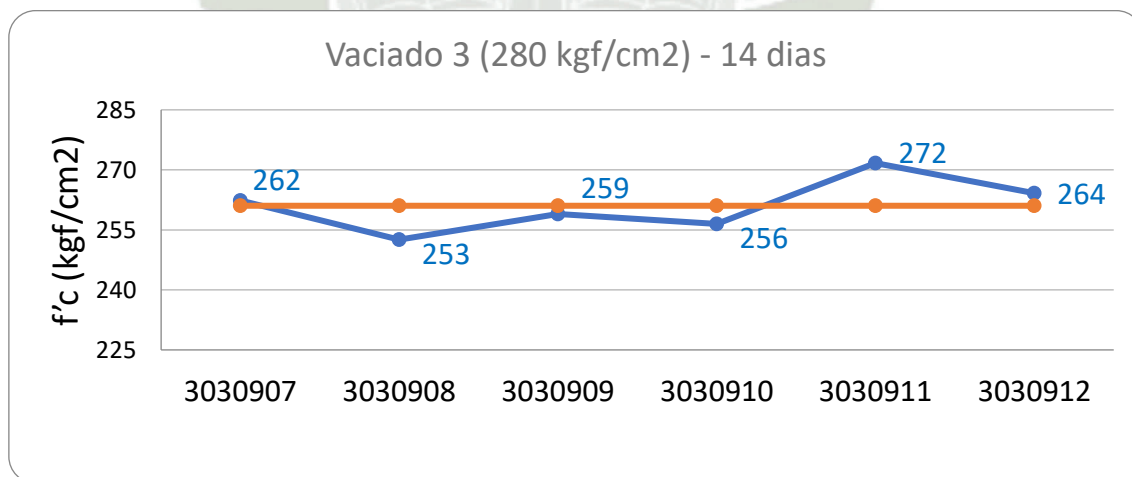
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días



Nota. En la figura 56 se aprecia el gráfico de resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días.

Figura 57.

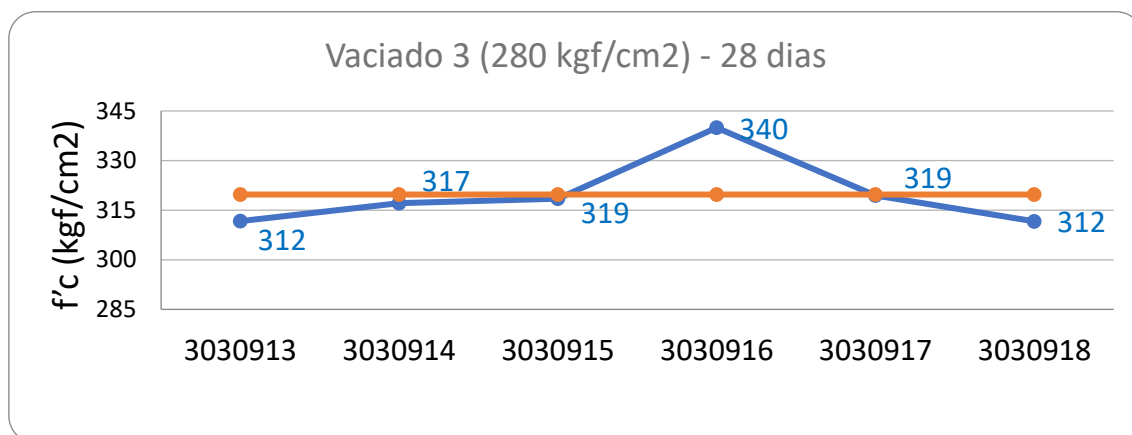
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días



Nota. En la figura 57 se aprecia el gráfico de resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días.

Figura 58.

Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días



Nota. En la figura 58 se aprecia el gráfico de resistencia a la compresión del Vaciado 3 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días.

Tabla 70.

Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

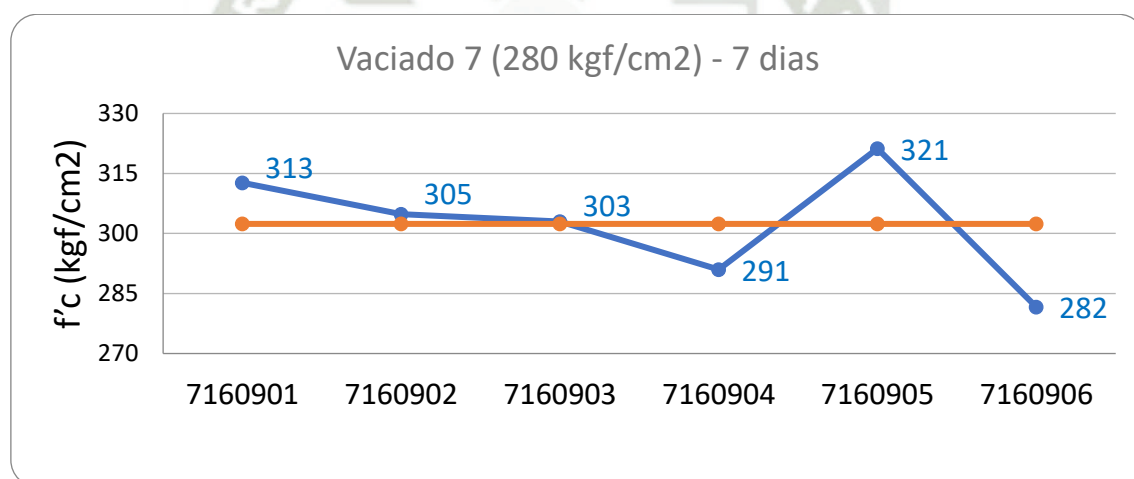
Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	N°	D (cm)	H (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	E (kgf)	Fc (kgf /cm ²)
280 kgf/cm ²	18/9/2024	25/9/2024	7 días	7160901	10.04	20.07	4223	79.17	24756	313
	18/9/2024	25/9/2024	7 días	7160902	10.06	20.04	4301	79.49	24229	305
	18/9/2024	25/9/2024	7 días	7160903	10.07	20.07	4267	79.64	24132	303
	18/9/2024	25/9/2024	7 días	7160904	10.06	20.08	4229	79.49	23130	291
	18/9/2024	25/9/2024	7 días	7160905	10.03	20.05	4364	79.01	25380	321
	18/9/2024	25/9/2024	7 días	7160906	10.07	20.17	4386	79.64	22429	282
280 kgf/cm ²	18/9/2024	2/10/2024	14 días	7160907	10.07	20.07	4295	79.64	24349	306
	18/9/2024	2/10/2024	14 días	7160908	10.06	20.08	4268	79.49	26657	335
	18/9/2024	2/10/2024	14 días	7160909	10.03	20.05	4298	79.01	26671	338
	18/9/2024	2/10/2024	14 días	7160910	10.07	20.17	4324	79.64	29205	367
	18/9/2024	2/10/2024	14 días	7160911	10.09	20.12	4279	79.96	24948	312
	18/9/2024	2/10/2024	14 días	7160912	10.08	20.09	4378	79.80	27031	339
280 kgf/cm ²	18/9/2024	16/10/2024	28 días	7160913	10.04	20.05	4215	79.17	31503	398
	18/9/2024	16/10/2024	28 días	7160914	10.02	20.08	4285	78.85	31130	395
	18/9/2024	16/10/2024	28 días	7160915	10.04	20.07	4175	79.17	29955	378
	18/9/2024	16/10/2024	28 días	7160916	10.07	20.13	4310	79.64	30926	388
	18/9/2024	16/10/2024	28 días	7160917	10.09	20.17	4267	79.96	29524	369
	18/9/2024	16/10/2024	28 días	7160918	10.03	20.05	4196	79.01	30889	391

Nota. En la tabla 70, se aprecia los resultados en cuanto a la resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

En la tabla se manifiesta que, la calidad del concreto en los que ambos vaciados presentan buen desempeño, con resistencias que superan el valor de diseño. Crecimiento de la resistencia: El concreto de menor resistencia (210 kgf/cm^2) desarrolló más rápidamente su resistencia inicial. El concreto de mayor resistencia (280 kgf/cm^2) tuvo un crecimiento más progresivo, pero alcanzó valores finales muy superiores. Curado adecuado: No hay muestras con valores muy bajos, lo que sugiere un adecuado proceso de curado y compactación. Ambos concretos son aptos para su uso. Si se busca mayor resistencia temprana, el concreto de 210 kgf/cm^2 es más eficiente. Sin embargo, si el proyecto requiere una resistencia final superior, el concreto de 280 kgf/cm^2 es la mejor opción.

Figura 59

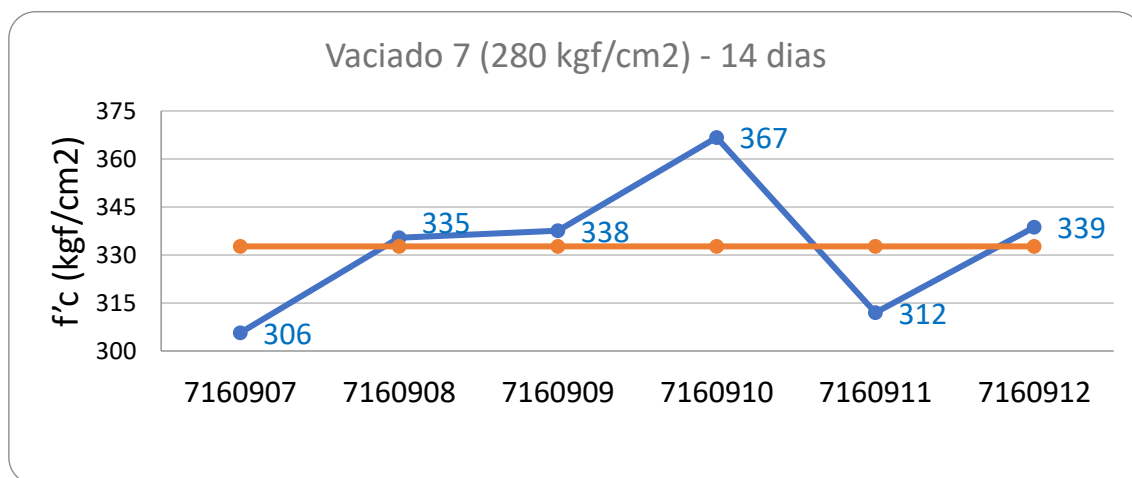
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm^2 para los 7 días



Nota. En la figura 59 se aprecia los resultados en cuanto al gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm^2 para los 7 días.

Figura 60

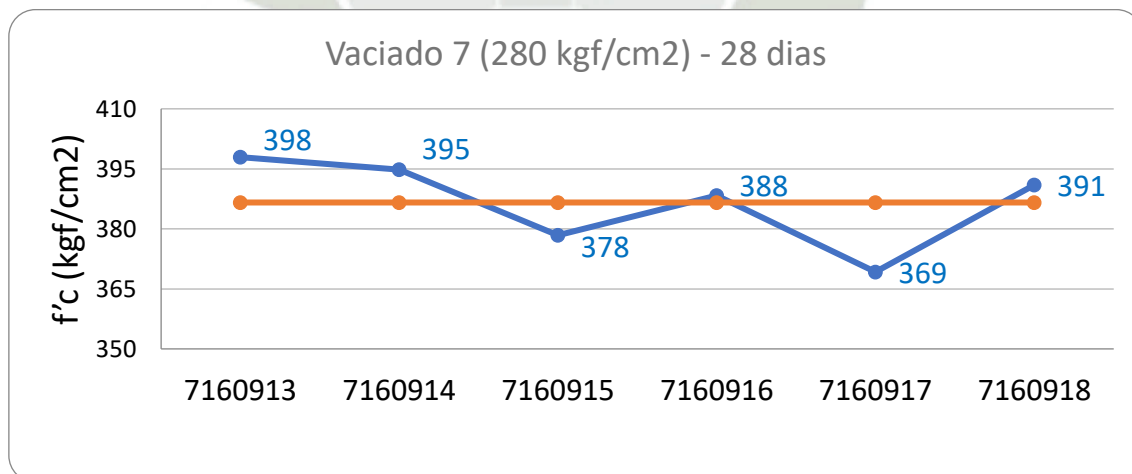
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días



Nota. En la figura 60 se aprecia el gráfico en cuanto a la resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días.

Figura 61

Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días



Nota. En la figura 61 se aprecia el gráfico en cuanto a la resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días.

Tabla 71
Resistencia a la compresión del Vaciado 8 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

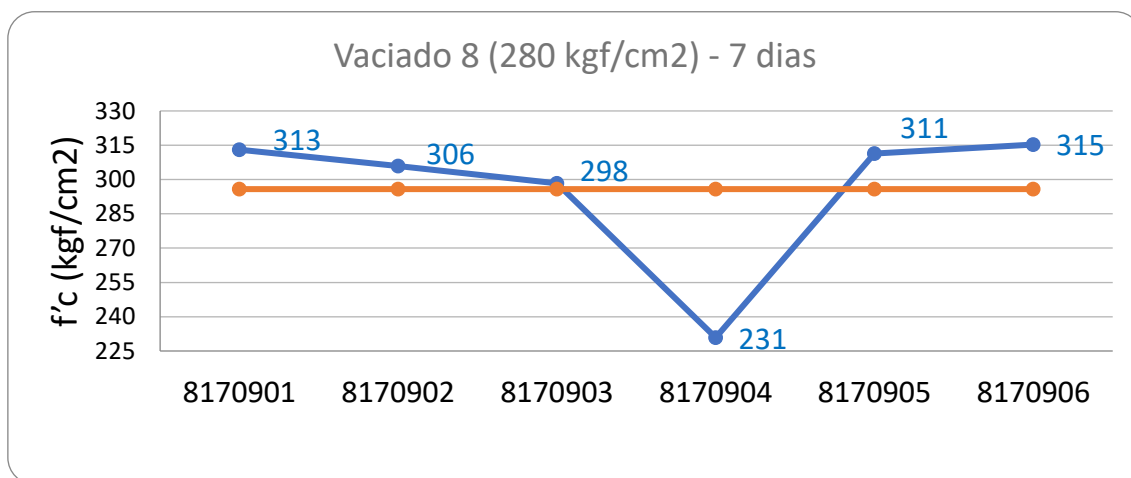
Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	N°	D (cm)	H (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	E (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
280	18/9/2024	25/9/2024	7 días	8170901	10.07	20.1	4220	79.64	24928	313
kgf/cm ²	18/9/2024	25/9/2024	7 días	8170902	10.09	20.09	4275	79.96	24461	306
	18/9/2024	25/9/2024	7 días	8170903	10.05	20.07	4237	79.33	23670	298
	18/9/2024	25/9/2024	7 días	8170904	10.04	20.08	4328	79.17	18277	231
	18/9/2024	25/9/2024	7 días	8170905	10.02	20.05	4252	78.85	24556	311
	18/9/2024	25/9/2024	7 días	8170906	10.04	20.17	4312	79.17	24962	315
280	18/9/2024	2/10/2024	14 días	8170907	10.08	20.08	4262	79.80	25593	321
kgf/cm ²	18/9/2024	2/10/2024	14 días	8170908	10.02	20.07	4294	78.85	28321	359
	18/9/2024	2/10/2024	14 días	8170909	10.07	20.04	4278	79.64	27411	344
	18/9/2024	2/10/2024	14 días	8170910	10.07	20.07	4320	79.64	26131	328
	18/9/2024	2/10/2024	14 días	8170911	10.08	20.08	4246	79.80	25876	324
	18/9/2024	2/10/2024	14 días	8170912	10.07	20.05	4299	79.64	27113	340
280	18/9/2024	16/10/2024	28 días	8170913	10.08	20.06	4278	79.80	32093	402
kgf/cm ²	18/9/2024	16/10/2024	28 días	8170914	10.05	20.04	4326	79.33	31555	398
	18/9/2024	16/10/2024	28 días	8170915	10.04	20.05	4192	79.17	30405	384
	18/9/2024	16/10/2024	28 días	8170916	10.02	20.08	4225	78.85	30371	385
	18/9/2024	16/10/2024	28 días	8170917	10.04	20.07	4372	79.17	30728	388
	18/9/2024	16/10/2024	28 días	8170918	10.06	20.04	4293	79.49	30689	386

Nota. En la tabla 71 se aprecia los resultados en cuanto a la resistencia a la compresión del Vaciado 8 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm².

A los 7 días, se observa una resistencia promedio de aproximadamente 295 kgf/cm², con valores que van desde 231 kgf/cm² (mínimo) hasta 315 kgf/cm² (máximo). Un espécimen (8170904) presenta un valor bajo (231 kgf/cm²), lo que puede indicar una posible falla en la compactación o en la dosificación. De igual manera a los 14 días la resistencia promedio aumenta a 336 kgf/cm², con un rango entre 321 kgf/cm² y 359 kgf/cm². Se observa una mejora significativa respecto a los 7 días, lo que es coherente con la ganancia de resistencia del concreto en este periodo. Asimismo, a los 28 días, la resistencia promedio alcanza 390 kgf/cm², con valores que van desde 384 kgf/cm² hasta 402 kgf/cm². La resistencia final supera ampliamente el diseño de 280 kgf/cm², lo que indica que el concreto ha desarrollado su resistencia de manera efectiva.

Figura 62

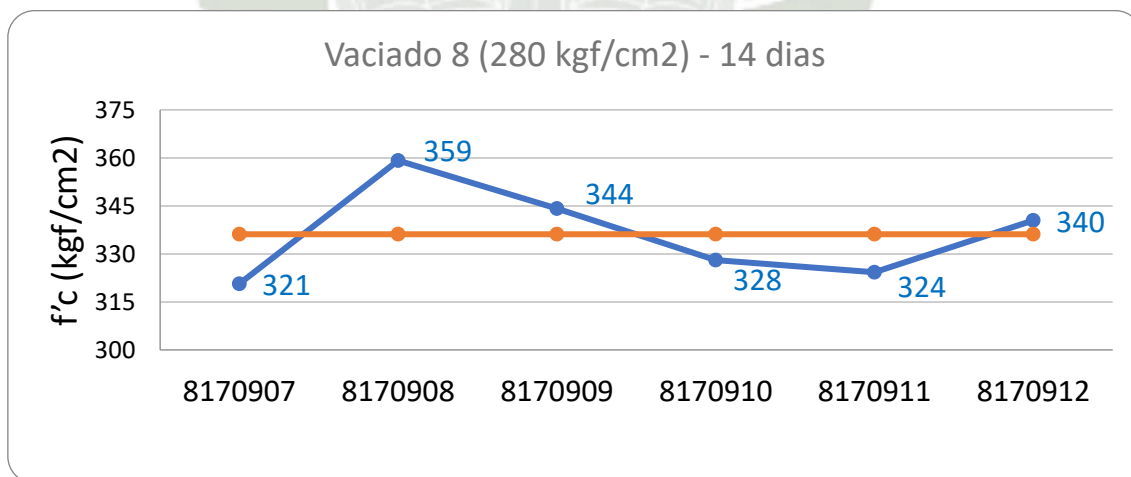
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días



Nota. En la figura 62 se aprecia el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días.

Figura 63.

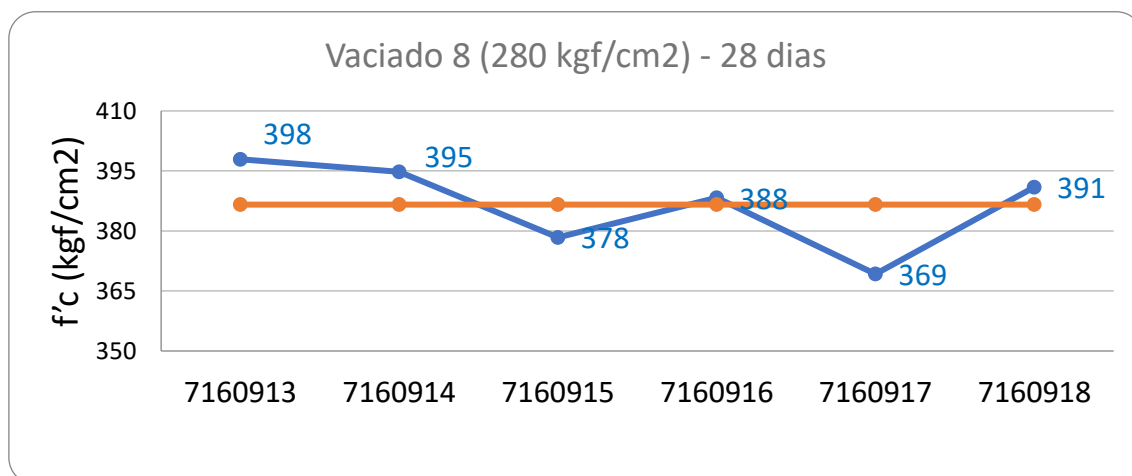
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días



Nota. En la figura 62 se aprecia el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días.

Figura 64

Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días



Nota. En la figura 64 se aprecia el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 7 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días.

Tabla 72.

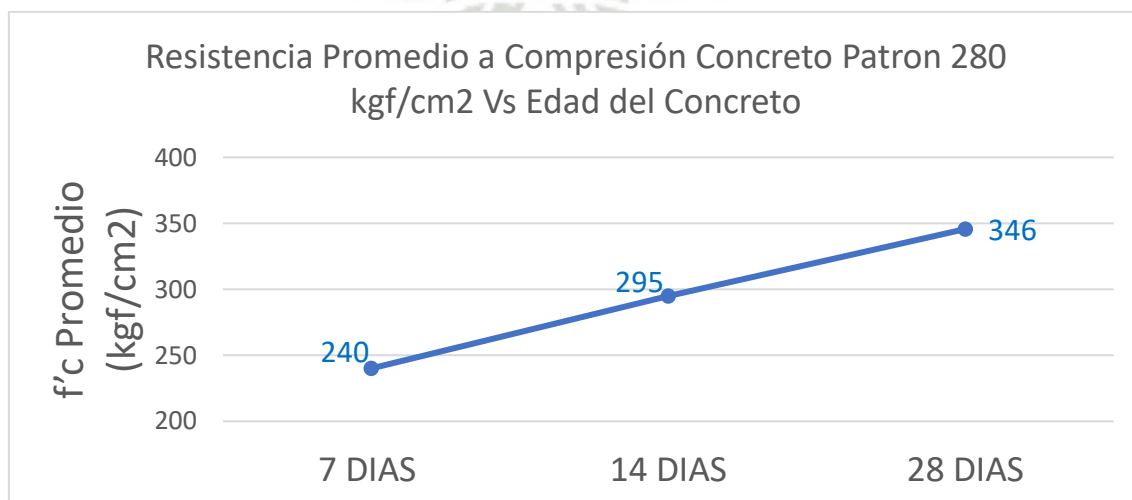
Promedios por edad de probetas de concreto

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
Concreto Patrón 280	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm ²)	240	295	346

Nota. En la tabla 72 se aprecia los resultados en cuanto a los promedios por edad de probetas de concreto.

Figura 65

Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto



Nota. En la figura 65 se aprecia el Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto

La resistencia final supera ampliamente el diseño de 280 kgf/cm², lo que indica que el concreto ha desarrollado su resistencia de manera efectiva.

5.2.2. Resistencia a la compresión axial del Concreto Patrón f'c 210 kgf/cm²

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.034 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. (NTP 339.034, 2015)

Tabla 73

Resistencia a la compresión del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

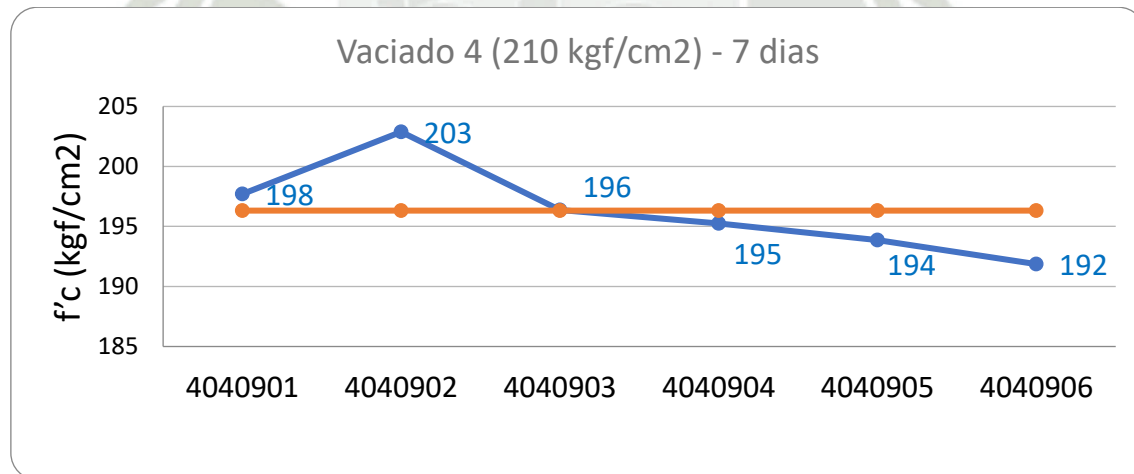
Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	N°	D (cm)	H (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	E (kgf)	Fc (kgf /cm ²)
210 kgf/cm ²	4/9/2024	11/9/2024	7 días	4040901	10.07	20.13	4208	79.64	15746	198
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	4040902	10.04	20.08	4213	79.17	16062	203
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	4040903	10.05	20.07	4284	79.33	15577	196
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	4040904	10.08	20.11	4215	79.80	15582	195
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	4040905	10.03	20.14	4228	79.01	15317	194
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	4040906	10.05	20.04	4259	79.33	15220	192
210 kgf/cm ²	4/9/2024	18/9/2024	14 días	4040907	10.04	20.11	4258	79.17	19202	243
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	4040908	10.02	20.02	4275	78.85	18400	233
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	4040909	10.08	20.08	4228	79.80	19376	243
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	4040910	10.02	20.07	4237	78.85	18651	237
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	4040911	10.07	20.04	4244	79.64	18859	237
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	4040912	10.07	20.07	4232	79.64	18314	230
210 kgf/cm ²	4/9/2024	2/10/2024	28 días	4040913	10.06	20.12	4248	79.49	20512	258
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	4040914	10.07	20.09	4264	79.64	22491	282
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	4040915	10.07	20.05	4240	79.64	23261	292
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	4040916	10.08	20.06	4303	79.80	21943	275
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	4040917	10.05	20.04	4335	79.33	22431	283
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	4040918	10.04	20.05	4245	79.17	22274	281

Nota. En la tabla 73 se aprecia los resultados en cuanto a la Resistencia a la compresión del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

A los 7 días, la resistencia varía entre 192 y 203 kgf/cm², lo que representa aproximadamente 91% - 97% de la resistencia de diseño. Los valores son bastante homogéneos, lo que indica un buen proceso de curado y compactación inicial. A los 14 días, la resistencia se encuentra entre 230 y 243 kgf/cm², alcanzando 110% - 116% de la resistencia de diseño. El aumento de resistencia es progresivo y constante, indicando que el concreto está desarrollándose correctamente. A los 28 días la resistencia oscila entre 258 y 292 kgf/cm², superando ampliamente la resistencia de diseño. Se observa un incremento significativo respecto a los 14 días, consolidando un buen desarrollo de la resistencia final. A los 7 días, la resistencia ya está cerca del 90% - 97%, lo que indica una rápida ganancia de resistencia inicial. A los 14 días, el concreto supera la resistencia de diseño, garantizando un adecuado desempeño estructural. A los 28 días, todos los cilindros superan los 210 kgf/cm², confirmando que el concreto no solo cumple con los requisitos estructurales, sino que presenta una resistencia superior a la esperada.

Figura 66

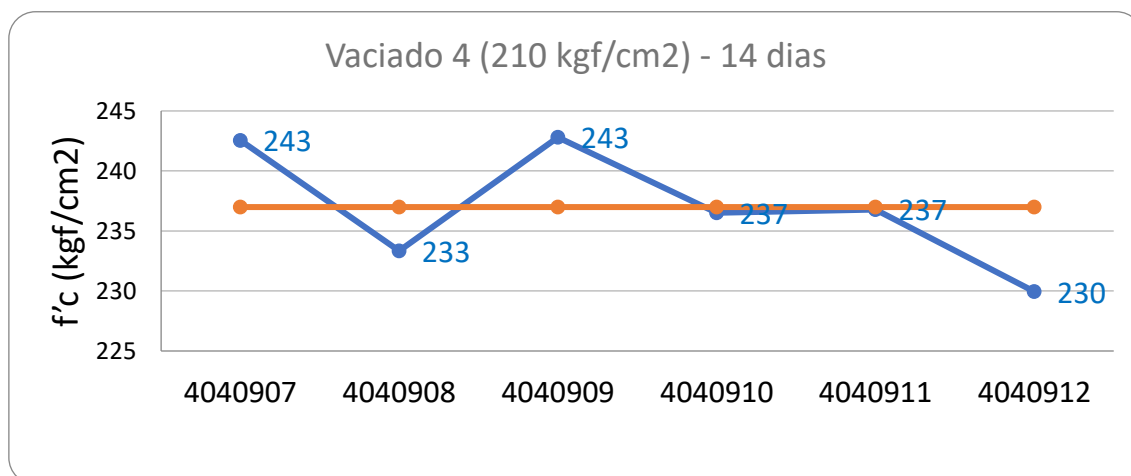
Gráfico de módulo de fineza del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días



Nota. En la figura 66 se aprecia el Gráfico de módulo de fineza del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días.

Figura 67

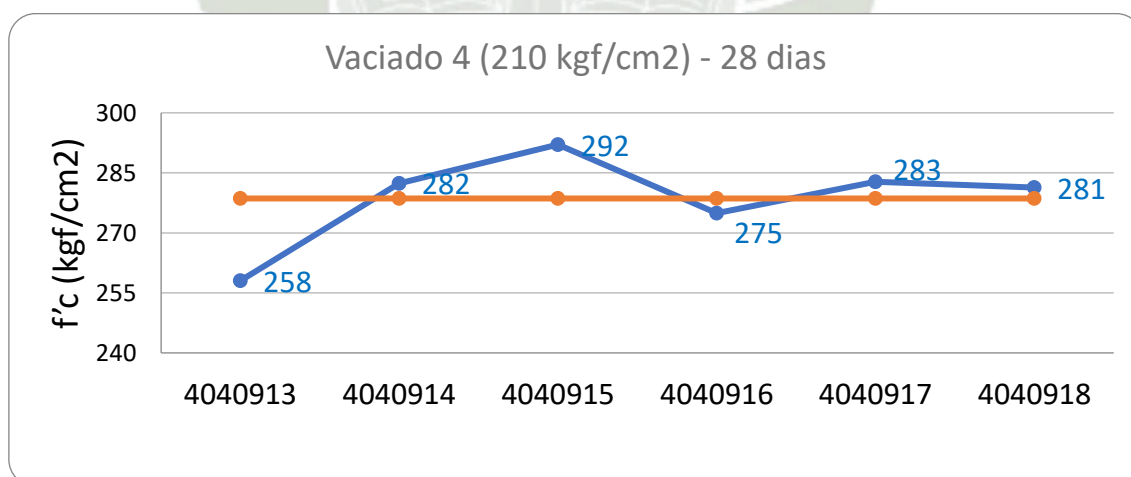
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días



Nota. En la figura 66 se aprecia el Gráfico de módulo de fineza del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días.

Figura 68

Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días



Nota. En la figura 66 se aprecia el Gráfico de módulo de fineza del Vaciado 4 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días.

Tabla 74
Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

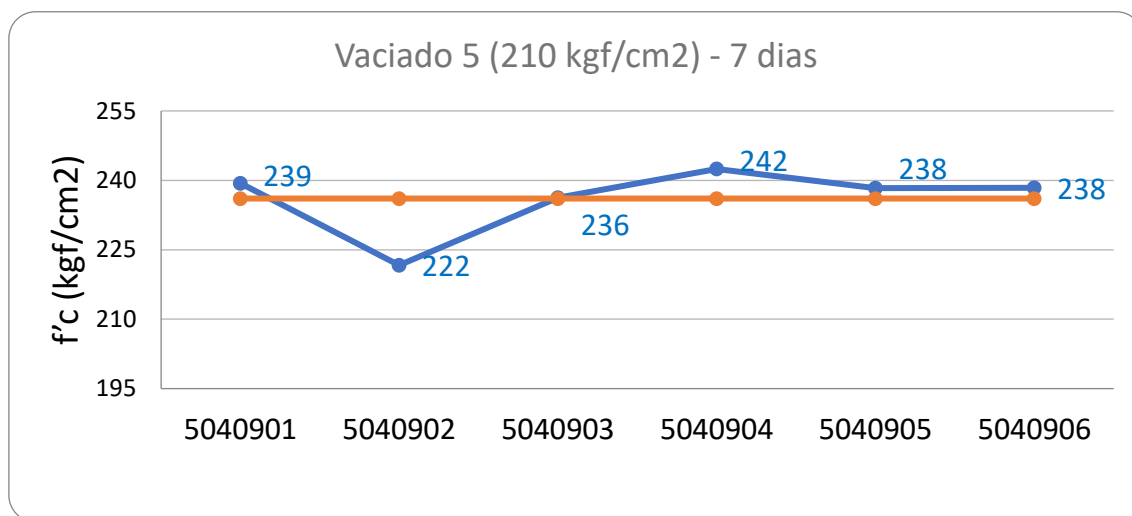
Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	N°	D (cm)	H (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	E (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
210 kgf/cm ²	4/9/2024	11/9/2024	7 días	5040901	10.04	20.07	4231	79.17	18950	239
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	5040902	10.06	20.04	4214	79.49	17619	222
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	5040903	10.07	20.07	4279	79.64	18816	236
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	5040904	10.06	20.08	4199	79.49	19271	242
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	5040905	10.03	20.05	4244	79.01	18830	238
	4/9/2024	11/9/2024	7 días	5040906	10.07	20.17	4312	79.64	18986	238
210 kgf/cm ²	4/9/2024	18/9/2024	14 días	5040907	10.07	20.07	4241	79.64	22137	278
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	5040908	10.06	20.08	4260	79.49	21965	276
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	5040909	10.03	20.05	4252	79.01	20468	259
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	5040910	10.07	20.17	4265	79.64	23420	294
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	5040911	10.09	20.12	4278	79.96	22594	283
	4/9/2024	18/9/2024	14 días	5040912	10.08	20.09	4140	79.80	21552	270
210 kgf/cm ²	4/9/2024	2/10/2024	28 días	5040913	10.04	20.05	4222	79.17	24894	314
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	5040914	10.02	20.08	4269	78.85	26331	334
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	5040915	10.04	20.07	4252	79.17	27389	346
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	5040916	10.07	20.13	4213	79.64	23213	291
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	5040917	10.09	20.17	4356	79.96	25731	322
	4/9/2024	2/10/2024	28 días	5040918	10.03	20.05	4291	79.01	24685	312

Nota. En la tabla 74 se aprecia los resultados en cuanto a la Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm².

A los 7 días, la resistencia promedio: 236 kgf/cm² con un rango de resistencia: 222 - 242 kgf/cm² Porcentaje respecto a la resistencia de diseño: 106% - 115%. El concreto ya supera la resistencia de diseño a los 7 días, lo que indica un fraguado rápido y buena calidad de la mezcla. Resistencia promedio: ≈ 276 kgf/cm². Rango de resistencia: 259 - 294 kgf/cm², porcentaje respecto a la resistencia de diseño: 123% - 140%, se observa un incremento significativo en la resistencia en comparación con los 7 días, asegurando que el proceso de curado es adecuado. Resistencia promedio: 320 kgf/cm² con un rango de resistencia: 291 - 346 kgf/cm² con un porcentaje respecto a la resistencia de diseño: 139% - 165%. El concreto ha alcanzado y superado ampliamente su resistencia de diseño, lo que sugiere una mezcla de alta calidad con una ganancia de resistencia progresiva y estable.

Figura 69

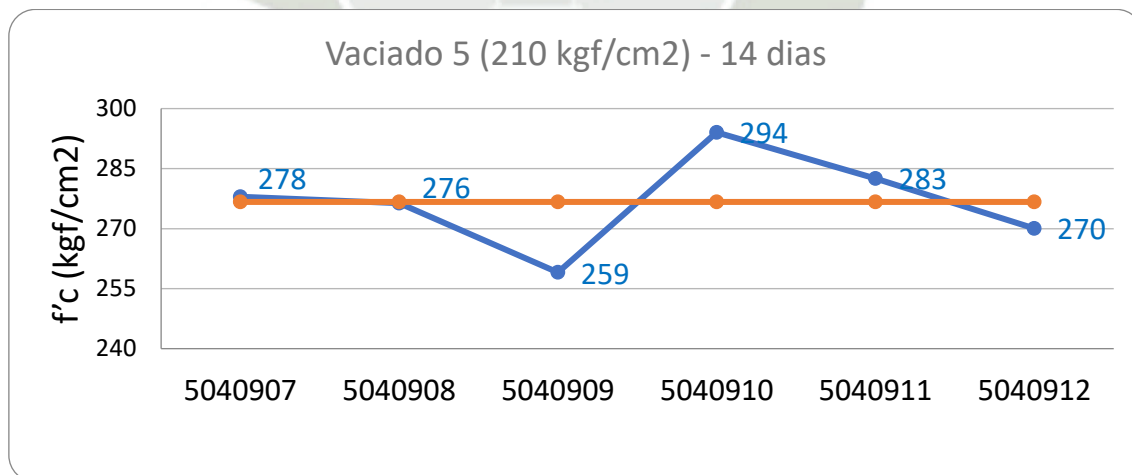
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días



Nota. En la figura 69 se presenta el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días.

Figura 70

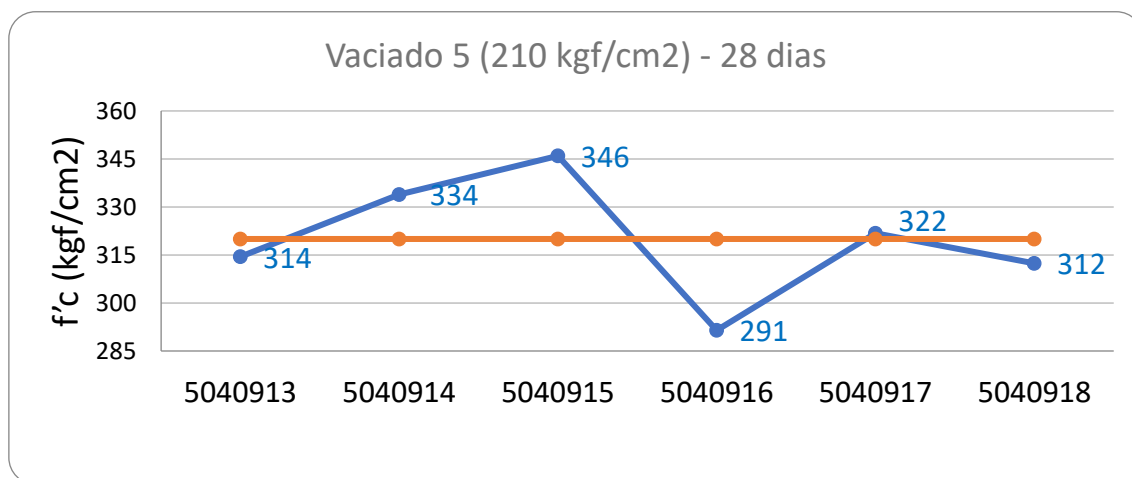
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días



Nota. En la figura 70 se presenta el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días.

Figura 71

Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 5 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días



Nota. En la figura 71 se presenta el gráfico de Resistencia del Vaciado 5² a los 7 días.

Tabla 75

Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm²

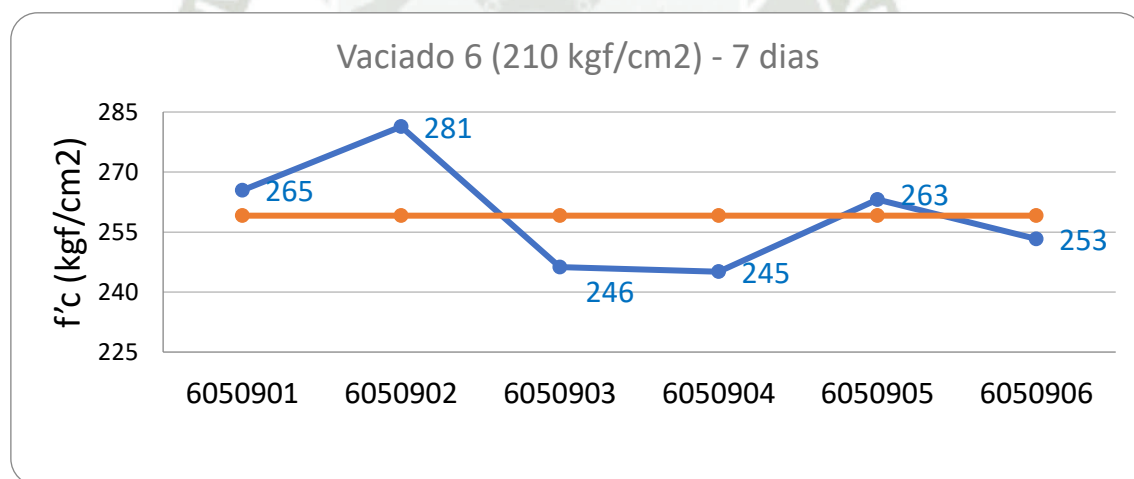
Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	N°	D (cm)	H (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	E (kgf)	Fc (kgf /cm ²)
210 kgf/cm ²	5/9/2024	12/9/2024	7 días	6050901	10.07	20.1	4259	79.64	21143	265
	5/9/2024	12/9/2024	7 días	6050902	10.09	20.09	4342	79.96	22497	281
	5/9/2024	12/9/2024	7 días	6050903	10.05	20.07	4188	79.33	19534	246
	5/9/2024	12/9/2024	7 días	6050904	10.04	20.08	4299	79.17	19403	245
	5/9/2024	12/9/2024	7 días	6050905	10.02	20.05	4275	78.85	20750	263
	5/9/2024	12/9/2024	7 días	6050906	10.04	20.17	4413	79.17	20050	253
210 kgf/cm ²	5/9/2024	19/9/2024	14 días	6050907	10.08	20.08	4338	79.80	23459	294
	5/9/2024	19/9/2024	14 días	6050908	10.02	20.07	4431	78.85	22847	290
	5/9/2024	19/9/2024	14 días	6050909	10.07	20.04	4303	79.64	22428	282
	5/9/2024	19/9/2024	14 días	6050910	10.07	20.07	4314	79.64	22065	277
	5/9/2024	19/9/2024	14 días	6050911	10.08	20.08	4374	79.80	19670	246
	5/9/2024	19/9/2024	14 días	6050912	10.07	20.05	4358	79.64	22551	283
210 kgf/cm ²	5/9/2024	3/10/2024	28 días	6050913	10.08	20.06	4328	79.80	23185	291
	5/9/2024	3/10/2024	28 días	6050914	10.05	20.04	4363	79.33	23098	291
	5/9/2024	3/10/2024	28 días	6050915	10.04	20.05	4423	79.17	22845	289
	5/9/2024	3/10/2024	28 días	6050916	10.02	20.08	4426	78.85	22650	287
	5/9/2024	3/10/2024	28 días	6050917	10.04	20.07	4356	79.17	22920	290
	5/9/2024	3/10/2024	28 días	6050918	10.06	20.04	4376	79.49	22350	281

Nota. En la tabla 75 se aprecia los resultados de la resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto.

A los 7 días, el Vaciado 6 presenta mayor resistencia inicial que el Vaciado 5, lo que puede indicar una mejor compactación o mayor temperatura durante el fraguado inicial. A los 14 días, ambas muestras son similares. A los 28 días, el Vaciado 6 tiene menor resistencia final que el Vaciado 5, lo que puede deberse a diferencias en el curado o la calidad del cemento/lotos de agregados. El Vaciado 6 tiene un excelente desempeño, alcanzando la resistencia de diseño a los 7 días. La ganancia de resistencia es constante, aunque en 28 días se observa un valor ligeramente inferior al Vaciado 5. Los valores son uniformes, lo que indica que la mezcla y el curado fueron adecuados. Se recomienda revisar las condiciones de curado después de los 14 días para evitar menor ganancia de resistencia a largo plazo.

Figura 72

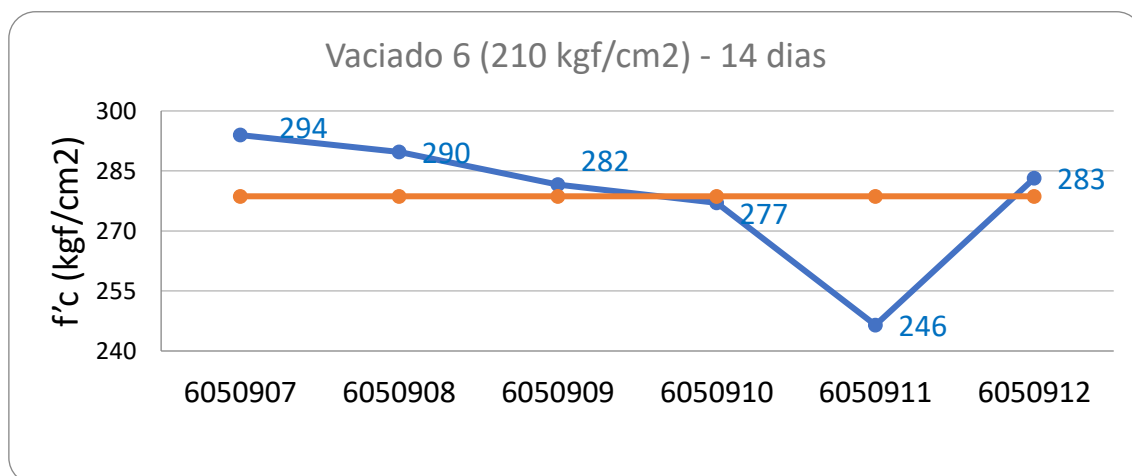
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días



Nota. En la figura 72 se aprecia el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 7 días.

Figura 73

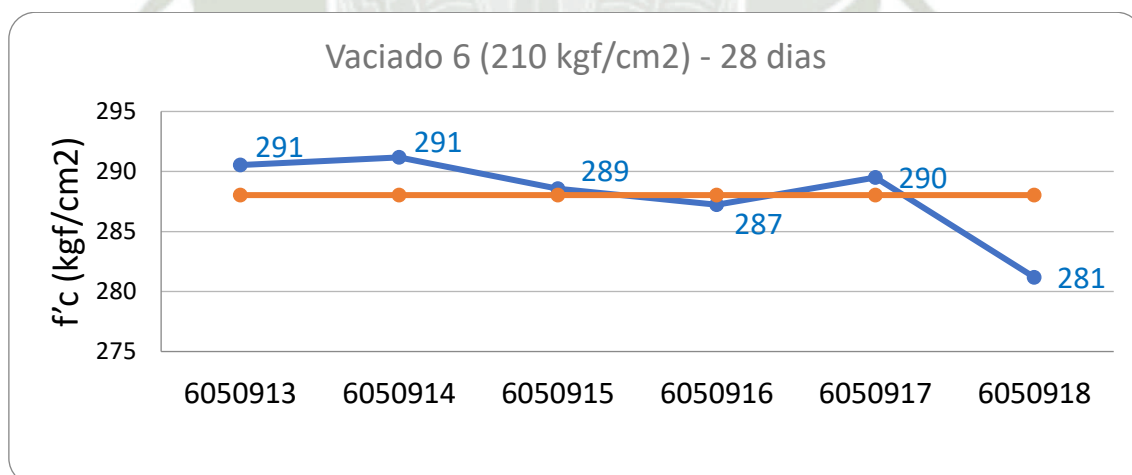
Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días



Nota. En la figura 73 se aprecia el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 14 días.

Figura 74

Gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días

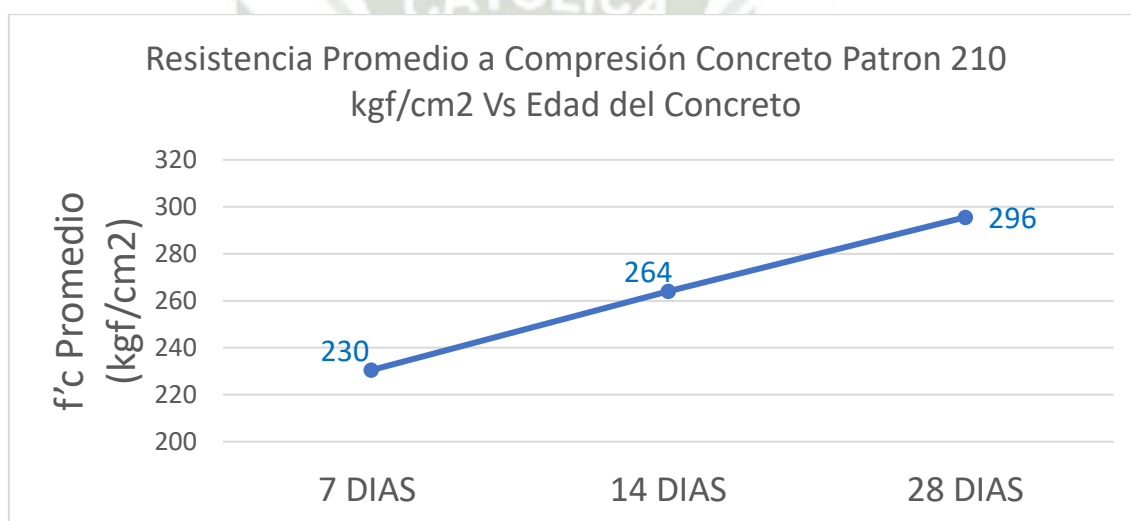


Nota. En la figura 74 se aprecia el gráfico de Resistencia a la compresión del Vaciado 6 del concreto patrón con resistencia 280 kgf/cm² para los 28 días.

Tabla 76
Promedios por edad de probetas de concreto

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
Concreto Patrón 210	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'_c (kgf/cm ²)	230	264	269

Nota. En la tabla 76 se aprecia los promedios por edad de probetas de concreto.

Figura 75
Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto


Nota. En la figura 75 se aprecia el gráfico de promedios por edad de probetas de concreto.

La resistencia final supera ampliamente el diseño de 210 kgf/cm², lo que indica que el concreto ha desarrollado su resistencia de manera efectiva.

5.3. Propiedades mecánicas del concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm² y f'c 280 kgf/cm²

5.3.1. Resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia f'c 210 kgf/cm²

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.034 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. (NTP 339.034, 2015)

Tabla 77

Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm² - vaciado 1

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 1	210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.08	4291	78.85	15971	203
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.04	20.11	4389	79.17	15916	201
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.02	4303	78.85	15318	194
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.08	20.08	4404	79.80	16802	211
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.07	4346	78.85	14288	181
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.05	20.04	4303	79.33	16069	203
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.06	20.08	4407	79.49	15595	196
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.03	20.02	4368	79.01	14978	190
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.07	20.04	4391	79.64	16283	204
	210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.07	20.07	4259	79.64	17559	220
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.08	4283	79.80	18119	227
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.07	20.05	4183	79.64	18406	231

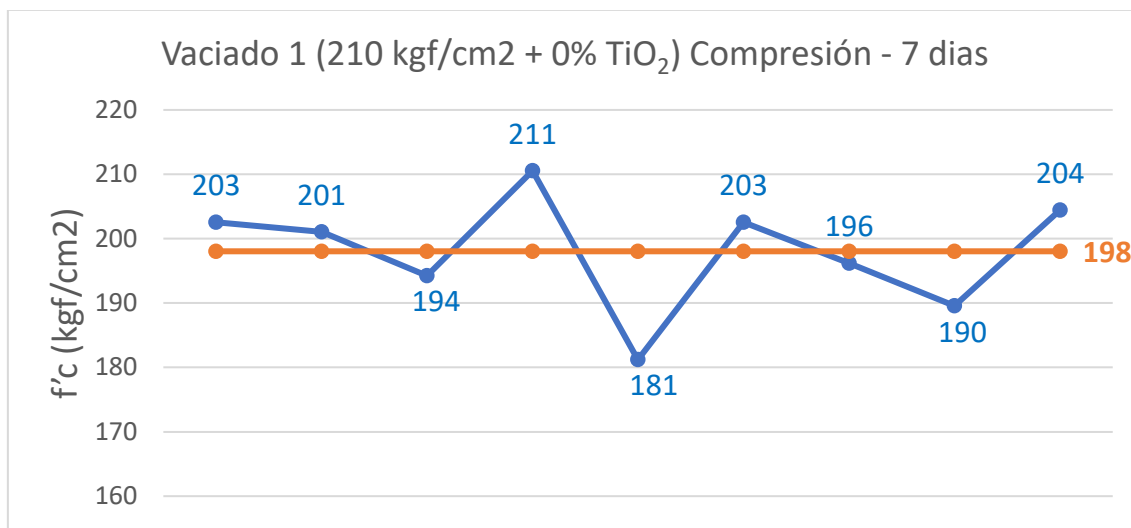
210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.03	20.06	4305	79.01	18862	239
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.02	20.06	4333	78.85	16810	213
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.05	20.06	4342	79.33	18054	228
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4244	79.80	16510	207
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.05	20.04	4298	79.33	17038	215
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.04	20.05	4312	79.17	18132	229
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4294	78.85	20659	262
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.04	20.07	4327	79.17	21095	266
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.01	20.04	4359	78.70	21151	269
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	21696	275
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	20289	257
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	20972	266
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	20216	256
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	21023	267
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.03	20.05	4392	79.01	20603	261

Nota. En la tabla 77 se aprecia los resultados en cuanto al concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm² - vaciado 1.

En la tabla se aprecia la Resistencia a los 7 días, la resistencia promedio de los cilindros a los 7 días es de aproximadamente 198 kgf/cm². Este valor representa alrededor del 94% de la resistencia de diseño (210 kgf/cm²), lo cual indica que el concreto ha adquirido una resistencia significativa en la primera semana. De igual manera la resistencia a los 14 días con promedio de los cilindros a los 14 días es de aproximadamente 222 kgf/cm². Se observa un incremento respecto a los 7 días, alcanzando un 106% de la resistencia de diseño, lo cual es un comportamiento esperable en la ganancia de resistencia del concreto.

Figura 76.

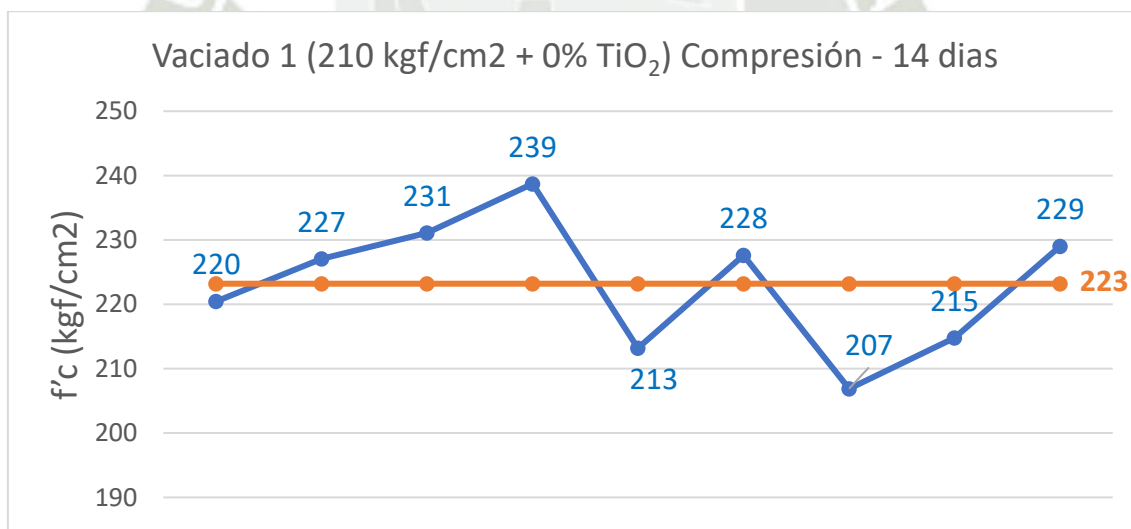
Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 76 se parecía el gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 77

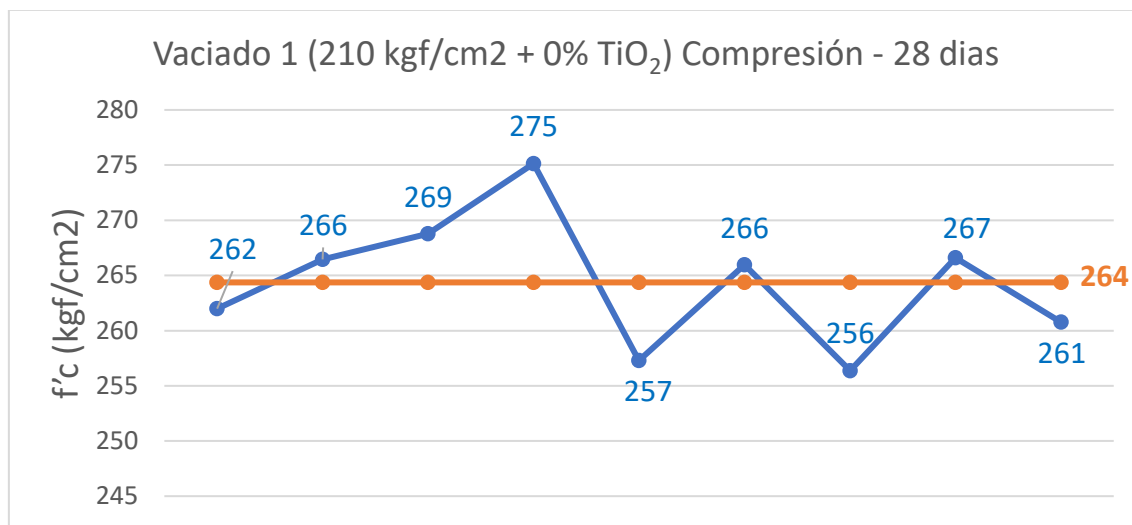
Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 77 se parecía el gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 78

Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm² + 0% TiO₂ – 28 días



Nota. En la figura 78 se parecía el gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm² + 0% TiO₂ – 28 días

Tabla 78

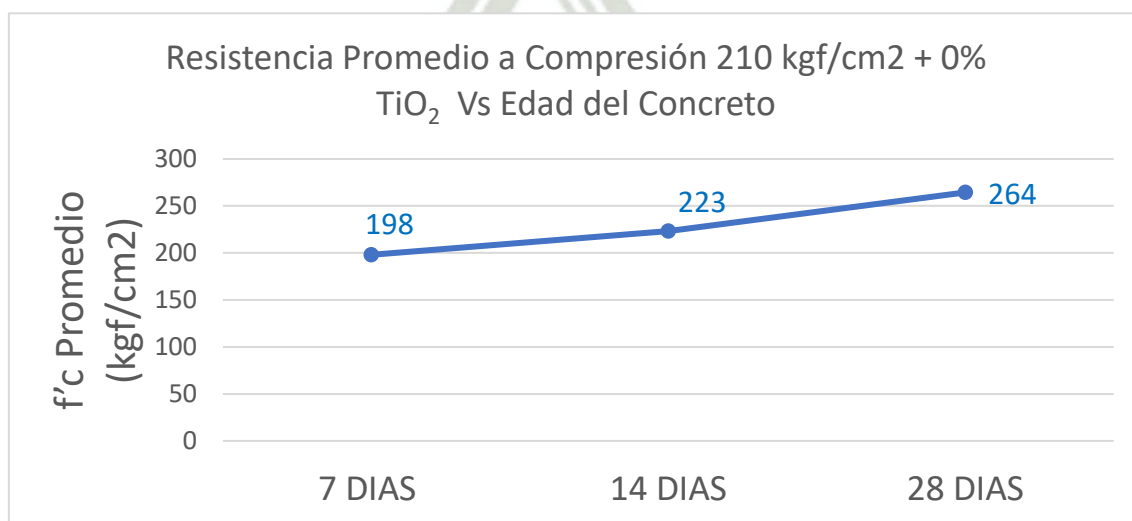
Promedios por edad de probetas de concreto

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm ²)	198	223	264

Nota. En la tabla 78 se aprecia los resultados en cuanto a los promedios por edad de probetas de concreto.

Figura 79

Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto



Nota. En la figura 79 se aprecia el gráfico de promedios por edad de probetas de concreto.

Tabla 79

Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'_c 210 kgf/cm² - vaciado 2

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 2	210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.07	20.17	4291	79.64	18476	232
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.09	20.12	4389	79.96	19069	238
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.03	20.06	4303	79.01	17903	227
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.01	20.07	4404	78.70	18009	229
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.03	20.08	4346	79.01	18543	235
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.08	20.09	4303	79.80	18734	235
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.06	20.1	4407	79.49	18132	228
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.07	20.1	4368	79.64	20408	256
	210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.09	20.09	4391	79.96	18653	233
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.05	20.07	4325	79.33	24361	307
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.04	20.08	4298	79.17	22726	287
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.06	20.04	4188	79.49	23245	292
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.01	20.08	4218	78.70	23971	305
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.03	20.05	4248	79.01	22434	284
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.02	20.05	4278	78.85	22612	287
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.03	20.17	4308	79.01	21273	269
	210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.02	20.12	4286	78.85	21055	267
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.04	20.09	4274	79.17	22981	290
		26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.07	20.05	4395	79.64	23420	294
		26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.03	20.06	4290	79.01	25776	326

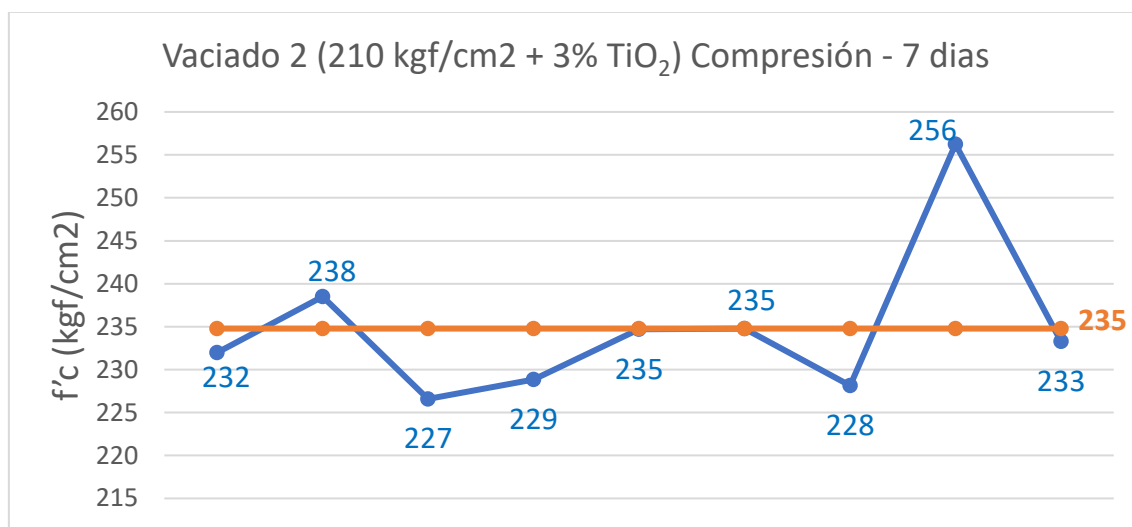
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.05	20.06	4290	79.33	25031	316
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.03	20.06	4290	79.01	23981	304
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	25194	316
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.05	20.04	4314	79.33	24655	311
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.04	20.05	4357	79.17	22822	288
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.02	20.08	4351	78.85	24188	307
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.04	20.07	4365	79.17	24209	306

Nota. En la tabla 79 se aprecia los resultados en cuanto al concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm² - vaciado 2.

A los 7 días, el concreto con 3% de TiO₂ muestra una resistencia un 18.3% mayor que el concreto patrón. A los 14 días, la resistencia del concreto con 3% de TiO₂ es un 29.4% mayor que la del concreto sin TiO₂. A los 28 días, la resistencia del concreto con 3% de TiO₂ es un 16.6% mayor en comparación con el concreto patrón. El uso de TiO₂ mejora significativamente la resistencia a la compresión del concreto en todas las edades de prueba. La mayor diferencia de resistencia se observa a los 14 días con un incremento del 29.4% en el concreto con TiO₂. A los 28 días, el concreto con 3% de TiO₂ supera los 300 kgf/cm², lo que indica un concreto de mayor desempeño estructural. El TiO₂ podría actuar como un filler (relleno) y mejorar la compactación de la matriz de cemento, contribuyendo al aumento de resistencia, el beneficio de TiO₂ es más notable en edades tempranas, lo que sugiere que también puede influir en la hidratación del cemento.

Figura 80

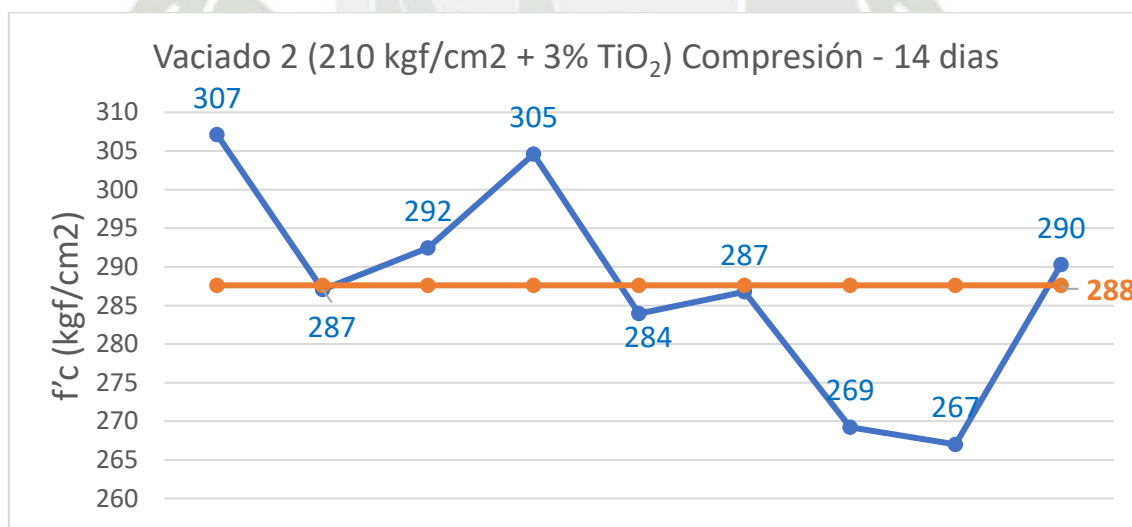
Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 80 se aprecia el Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 81

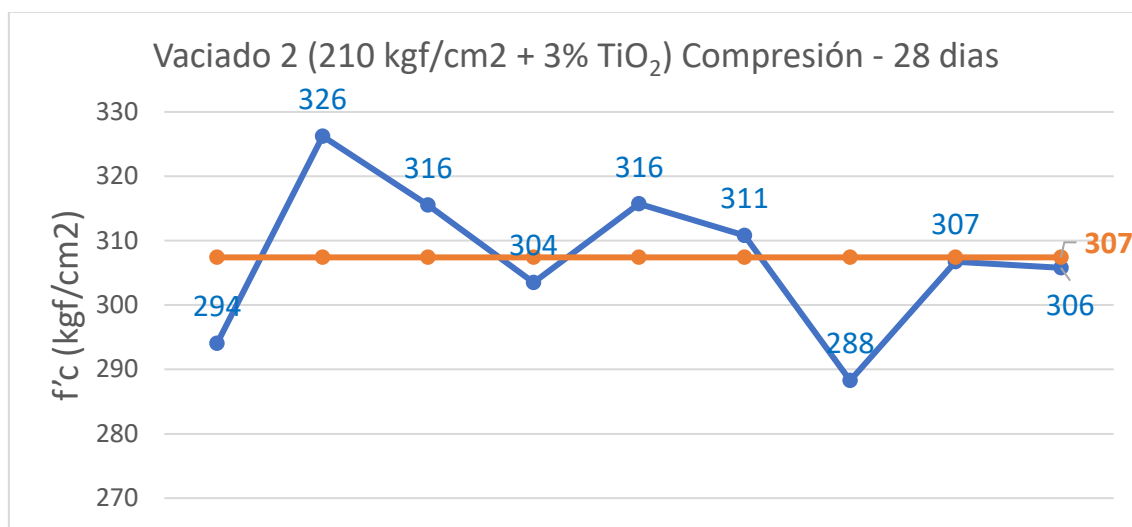
Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 80 se aprecia el Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$.

Figura 82

Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm² + 3% TiO₂–28 días



Nota. En la figura 80 se aprecia el Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión 210 kgf/cm² + 3% TiO₂ – 28 días.

Tabla 80

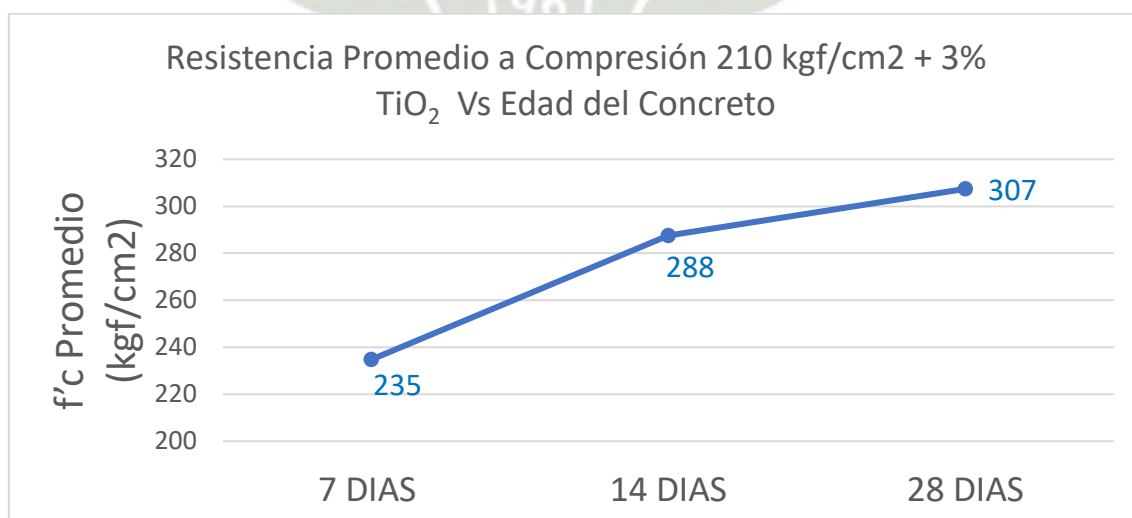
Promedios por edad de probetas de concreto con 3% adición

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm ²)	235	288	307

Nota. En la tabla 80 se aprecia los promedios por edad de probetas de concreto con 3% adición

Figura 83.

Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 3% de adición



Nota. En la figura 83 se aprecia el gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 3% de adición

Tabla 81

Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm² - vaciado 3

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 3	210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.07	20.13	4320	79.64	18273	229
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.09	20.17	4246	79.96	19145	239
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.1	4395	79.33	18551	234
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.03	20.04	4425	79.01	20730	262
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.01	20.08	4297	78.70	18740	238
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.03	20.05	4312	79.01	19075	241
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.13	4377	79.33	19446	245
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.11	4331	79.33	18974	239
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.06	20.06	4384	79.49	19216	242
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.07	20.1	4210	79.64	20917	263
	210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.09	20.09	4257	79.96	22806	285
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.08	20.04	4367	79.80	21982	275
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.07	20.05	4324	79.64	21962	276
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.06	20.06	4281	79.49	21266	268
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.05	20.07	4238	79.33	21299	268
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.04	20.08	4195	79.17	21417	271
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.02	20.05	4249	78.85	20445	259
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.04	20.17	4175	79.17	23511	297
		28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.08	20.06	4269	79.80	23827	299
		28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.05	20.04	4259	79.33	25030	316

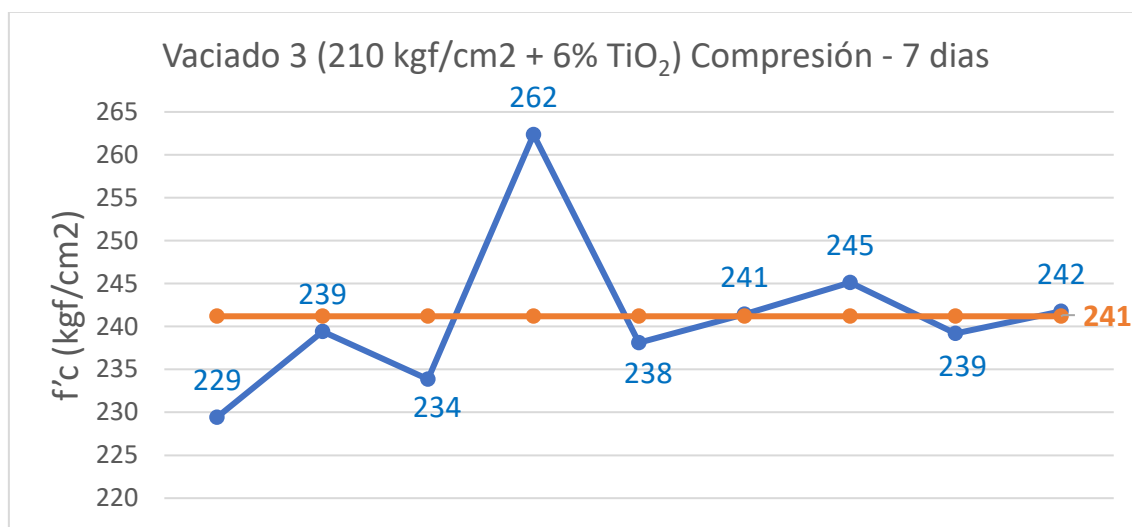
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.06	4222	79.17	23992	303
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.01	20.06	4252	78.70	24308	309
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.06	20.02	4282	79.49	23400	294
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.05	4312	79.17	23281	294
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.02	20.08	4342	78.85	27058	343
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.07	4378	79.17	23344	295
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.06	20.04	4299	79.49	24670	310

Nota. En la tabla 81 se aprecia los resultados en cuanto al concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm² - vaciado 3.

A los 7 días, el concreto ya supera la resistencia de diseño (238 kgf/cm² vs. 210 kgf/cm²). A los 14 días, la resistencia crece un 15.1% más respecto a los 7 días. A los 28 días, la resistencia es 46.2% mayor que la especificación original (307 kgf/cm² vs. 210 kgf/cm²), indicando un buen desempeño del concreto con TiO₂. La mezcla con 6% TiO₂ supera ampliamente la resistencia de diseño (210 kgf/cm²). El aumento del porcentaje de TiO₂ no genera una mejora sustancial en resistencia con respecto al 3%.

Figura 84

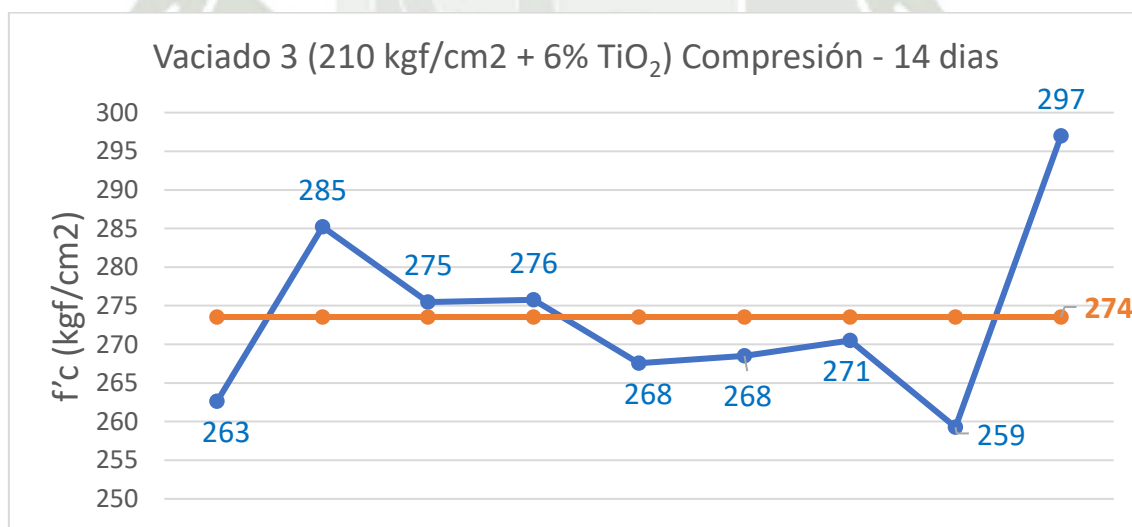
Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 84 se aprecia el gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 85

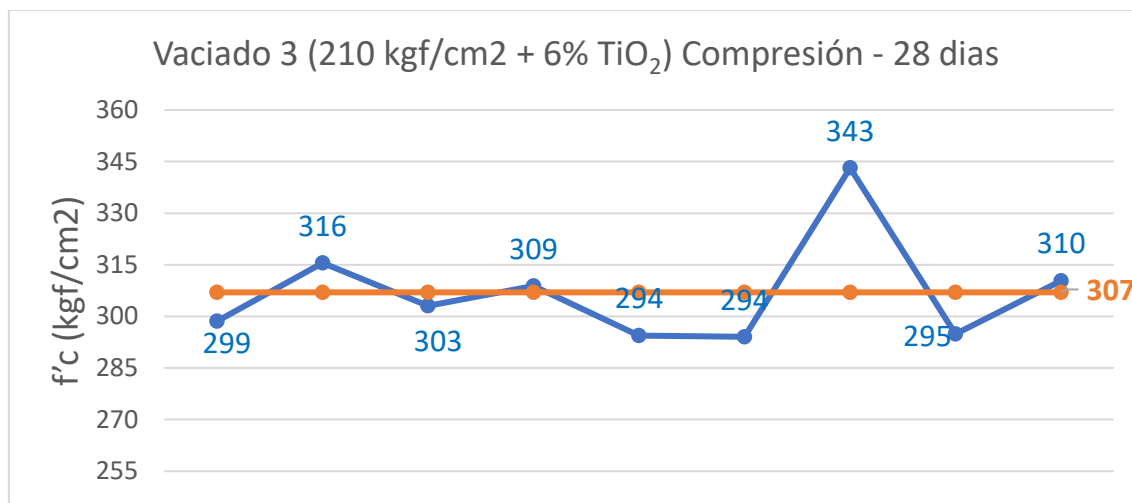
Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 84 se aprecia el gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 86

Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 84 se aprecia el gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$

Tabla 82

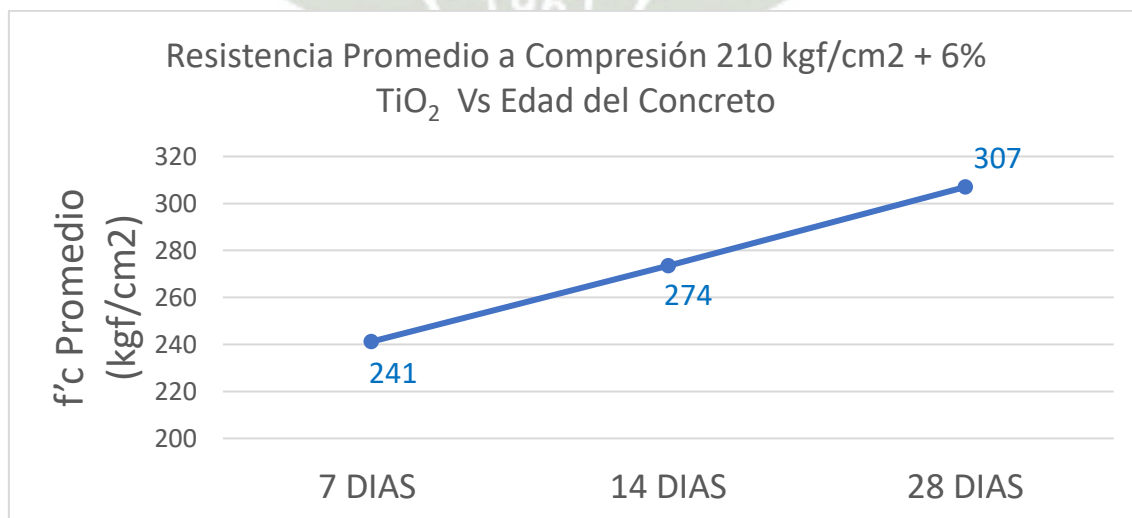
Promedios por edad de probetas de concreto con 6% adición

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
$210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2$	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm²)	241	274	307

Nota En la tabla 82 se aprecia los resultados de promedios por edad de probetas de concreto con 6% adición.

Figura 87

Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 6% de adición



Nota. En la figura 87 se aprecia el Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 6% de adición.

Tabla 83

Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'_c 210 kgf/cm² - vaciado 4

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 4	210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.07	20.13	4208	79.64	21449	269
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.04	20.08	4213	79.17	20212	255
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.02	20.03	4491	78.85	20270	257
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.03	20.01	4422	79.01	20631	261
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.02	20.03	4353	78.85	21026	267
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.05	20.07	4284	79.33	19759	249
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.08	20.11	4215	79.80	19800	248
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.03	20.14	4228	79.01	20194	256
	210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.05	20.04	4259	79.33	20462	258
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.04	20.11	4258	79.17	21157	267
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.02	20.02	4275	78.85	21292	270
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.03	20.11	4201	79.01	21831	276
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.06	20.1	4210	79.49	20008	252
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.03	20.09	4219	79.01	22541	285
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.08	20.08	4228	79.80	20902	262
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.02	20.07	4237	78.85	21434	272
	210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.03	20.04	4244	79.01	21416	271
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.01	20.07	4232	78.70	22005	280
		3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.06	20.12	4248	79.49	25391	319
		3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.07	20.09	4264	79.64	23689	297

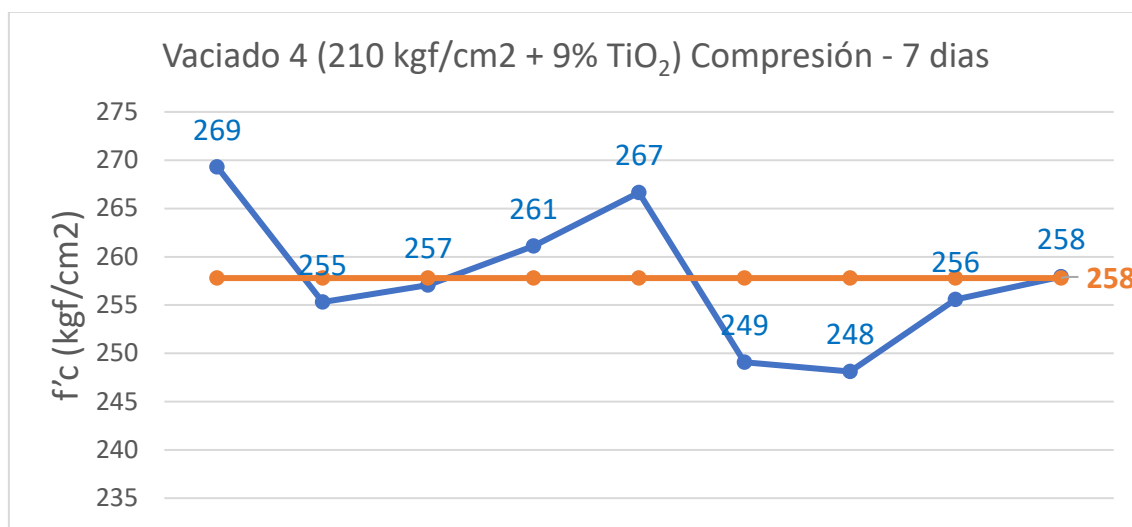
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.04	20.02	4051	79.17	24424	309
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.05	20.03	4114	79.33	25460	321
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.06	20.04	4177	79.49	22192	279
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.07	20.05	4240	79.64	22287	280
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.08	20.06	4303	79.80	22488	282
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.05	20.04	4335	79.33	23310	294
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.04	20.05	4245	79.17	22374	283

Nota. En la tabla 83 se aprecia los resultados en cuanto al concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 210 kgf/cm² - vaciado 4.

Esta tabla presenta los resultados de ensayos a compresión de cilindros de concreto con 210 kgf/cm² de resistencia esperada, a los que se les añadió 9% de TiO₂. Se realizaron pruebas a los 7, 14 y 28 días para evaluar la evolución de la resistencia del concreto con el tiempo. El concreto con 9% de TiO₂ muestra un aumento progresivo de resistencia con el tiempo. A los 28 días, la resistencia es hasta un 50% mayor que la de diseño, lo que indica un buen desempeño del material. La variabilidad entre muestras es baja, lo que demuestra consistencia en el diseño de la mezcla. El TiO₂ podría estar mejorando la compactación y la hidratación del cemento, lo que justifica los valores superiores a lo esperado.

Figura 88

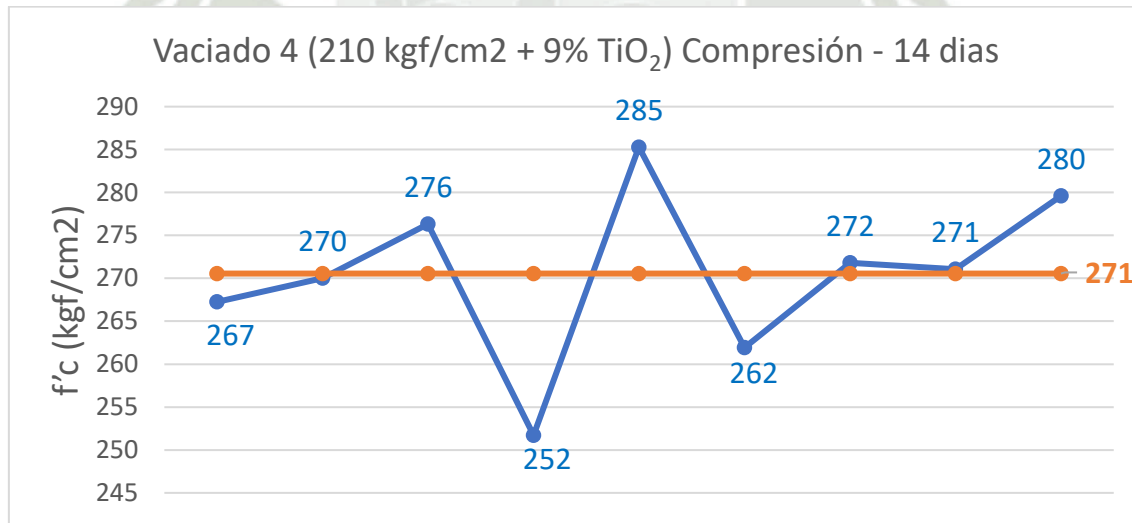
Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 88 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 89

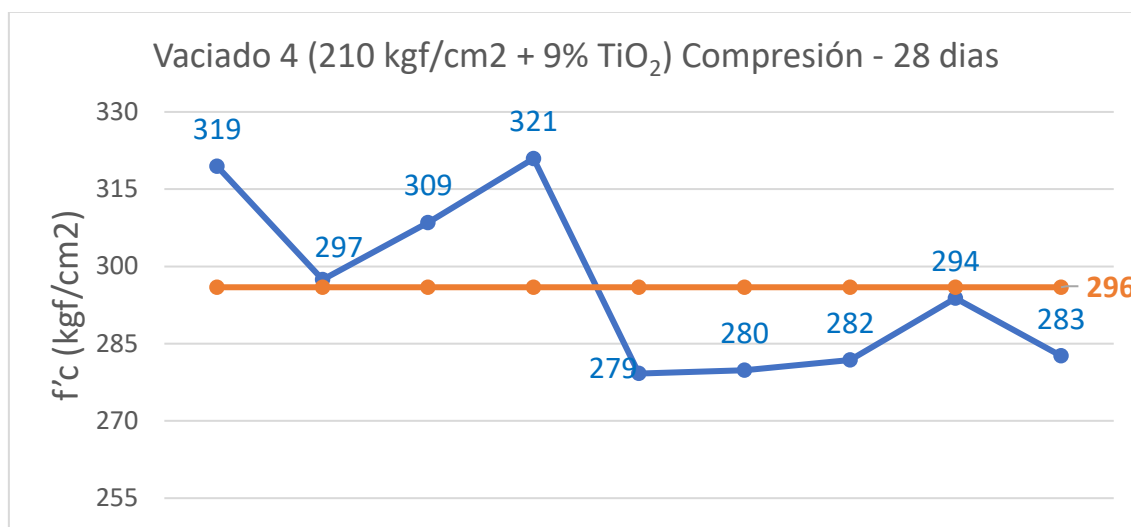
Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 88 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 90.

Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 88 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$.

Tabla 84

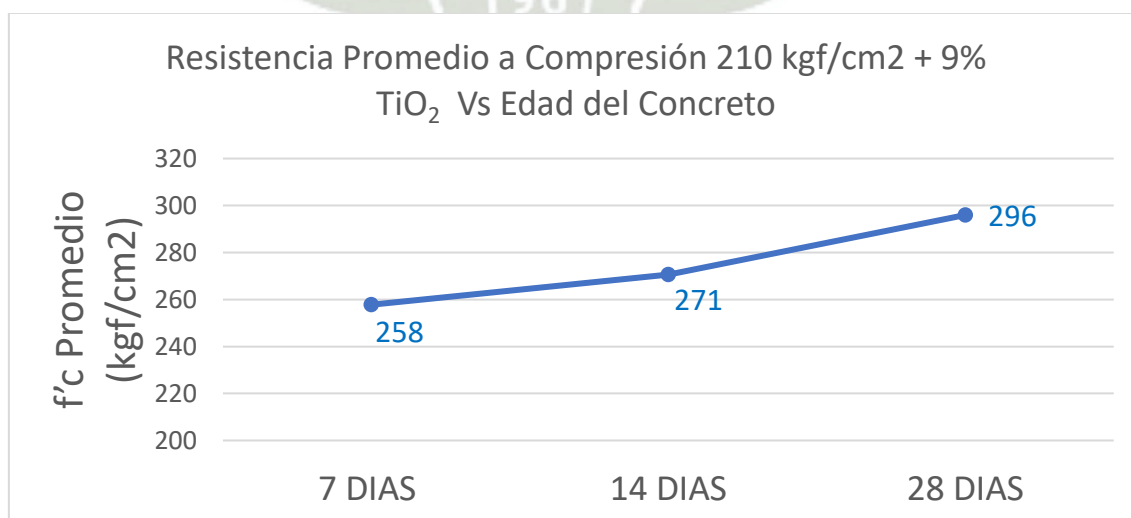
Promedios por edad de probetas de concreto con 9% adición

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
210 kgf/cm² + 9% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm²)	258	271	296

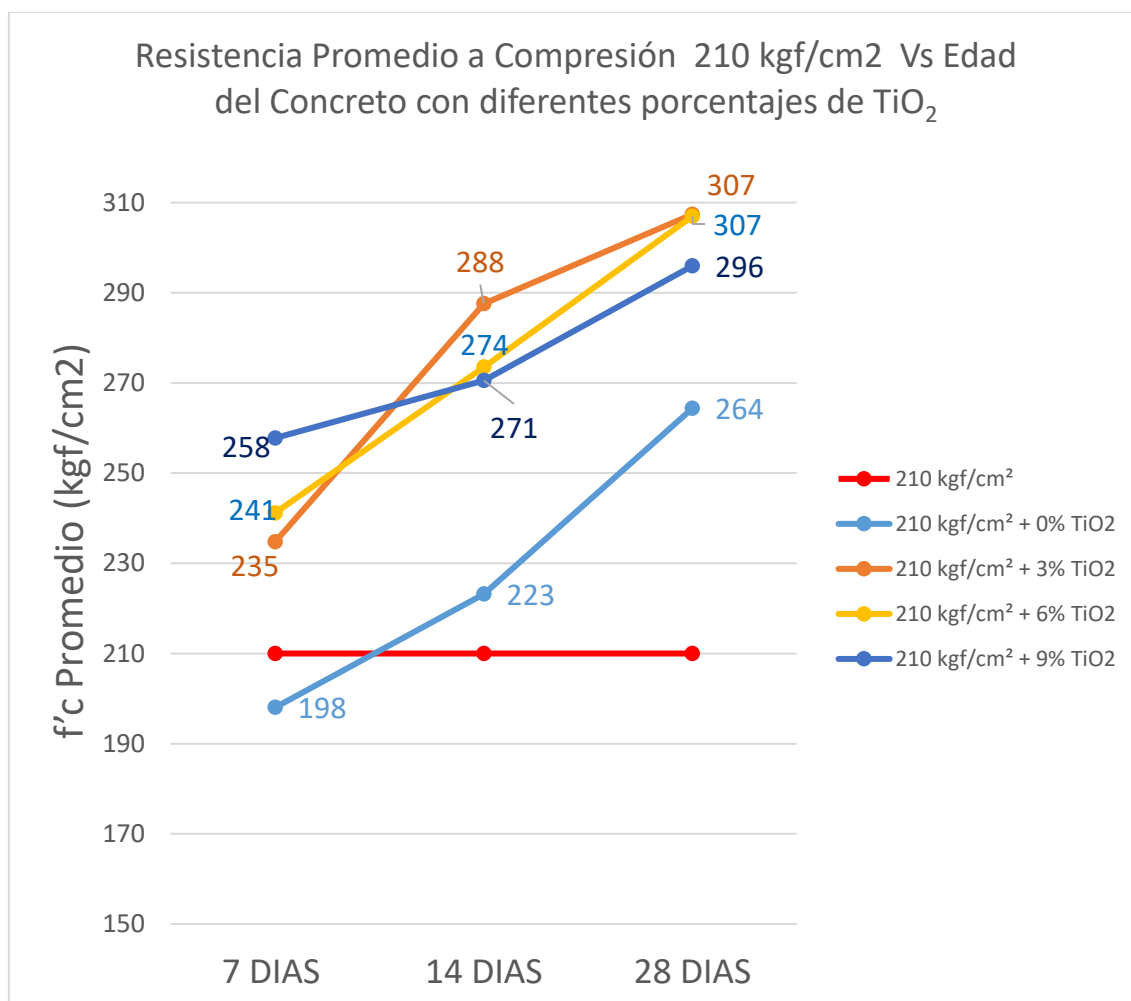
Nota. En la figura 84 se aprecian los resultados promedios por edad de probetas de concreto con 9% adición.

Figura 91

Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 9% de adición



Nota. En la figura 91 se aprecia el gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 9% de adición

Figura 92
Resistencia a la compresión promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO_2


Nota. En la figura 92 se aprecia el gráfico de resistencia a la compresión promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO_2

5.3.1.1. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la compresión de los especímenes a la edad de 7 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO_2 . Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 85

Información del factor resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm² a los 7 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 85 se aprecia los resultados para información del factor resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm² a los 7 días.

Tabla 86

Análisis de Varianza resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm² a los 7 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	17165	5721.68	78.66	0.000
Error	32	2328	72.74		
Total	35	19493			

Nota. En la tabla 86 se aprecia los resultados en cuanto a análisis de Varianza resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm² a los 7 días.

Tabla 87

Resumen del modelo resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm² a los 7 días

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
8.52898	88.06%	86.94%	84.89%

Nota. En la tabla 87 se aprecia los resultados en cuanto al resumen del modelo resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm² a los 7 días.

Tabla 88

Medias resistencia a la compresión f'c 210 kgf/cm² a los 7 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	198.04	8.81	(192.25; 203.83)
3% TiO ₂	9	234.78	8.88	(228.98; 240.57)
6% TiO ₂	9	241.19	9.17	(235.40; 246.98)
9% TiO ₂	9	257.79	7.10	(252.00; 263.59)

Nota. En la tabla se aprecia el valor obtenido el cual es: Desv.Est. agrupada = 8.52898. Datos tomados de Minitab Statistical Software 22.

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

Tabla 89

Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

Factor	N	Media	Agrupación
9% TiO ₂	9	257.79	A
6% TiO ₂	9	241.19	B
3% TiO ₂	9	234.78	B
0% TiO ₂	9	198.04	C

Nota. En la tabla 89 se aprecia las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Datos tomados de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 90

Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-36.734*	4.021	<.001	-47.63	-25.84
	6%	-43.151*	4.021	<.001	-54.04	-32.26
	9%	-59.752*	4.021	<.001	-70.65	-48.86
3%	0%	36.734*	4.021	<.001	25.84	47.63
	6%	-6.417	4.021	.395	-17.31	4.48
	9%	-23.018*	4.021	<.001	-33.91	-12.12
6%	0%	43.151*	4.021	<.001	32.26	54.04
	3%	6.417	4.021	.395	-4.48	17.31
	9%	-16.601*	4.021	.001	-27.49	-5.71
9%	0%	59.752*	4.021	<.001	48.86	70.65
	3%	23.018*	4.021	<.001	12.12	33.91
	6%	16.601*	4.021	.001	5.71	27.49

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

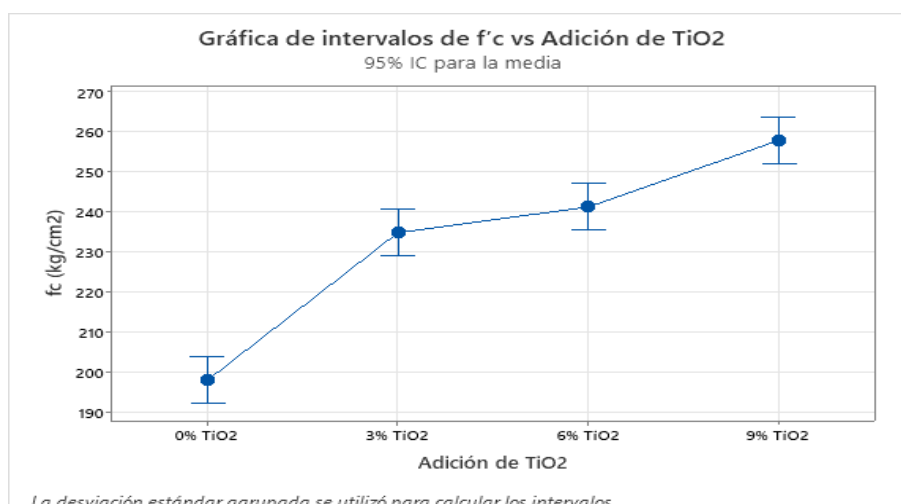
Nota. En la tabla 90 se aprecia el resultado en cuanto a comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días. Datos tomados de IBM SPSS Statistics.

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.00, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Toda la media son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 3% y 6% de TiO_2 fueron similares, mientras que las adiciones de 0% y 9% de TiO_2 fueron diferentes con los demás.

Figura 93

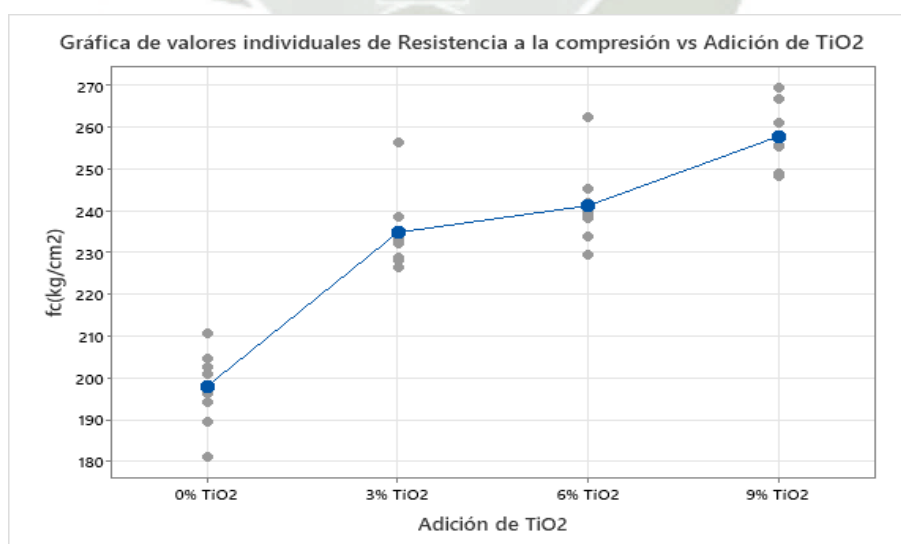
Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 7 días



Nota. En la figura 93 se aprecia el gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 7 días. Datos tomados de IBM SPSS Statistics.

Figura 94

Valores individuales de resistencia a la compresión a los 7 días

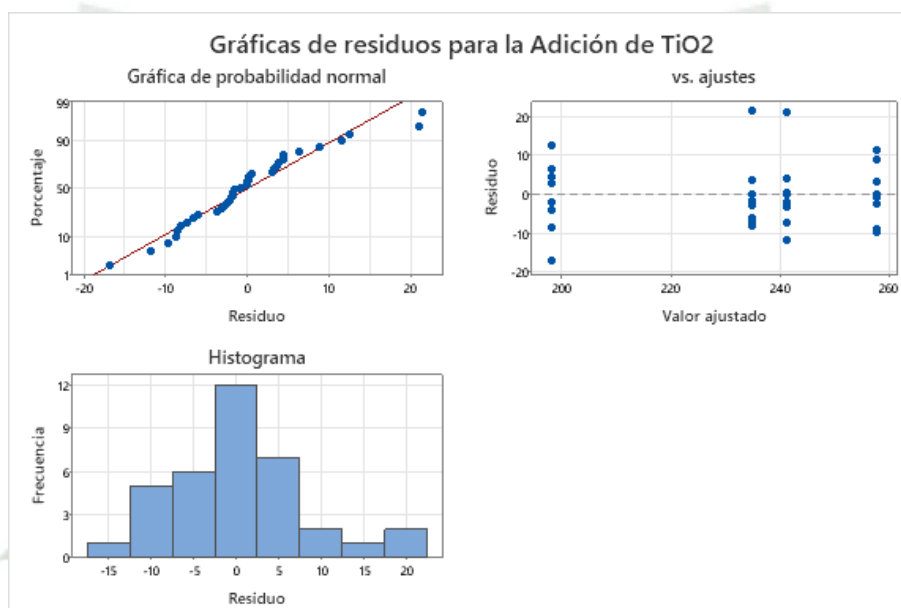


Nota. En la figura 94 se aprecia el gráfico de los valores individuales de resistencia a la compresión a los 7 días. Datos tomados de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la compresión a los 7 días diferente, la adición de 0% de TiO_2 tuvo la menor resistencia a la compresión mientras que la adición de 9% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia a la compresión. Se aprecia que mientras se aumenta la adición de TiO_2 la resistencia a la compresión aumenta.

Figura 95

Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 7 días



Nota. En la figura 95 se aprecia el gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 7 días. Datos tomados de IBM SPSS Statistics.

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.1.2. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia f'_c 210 kgf/cm^2 a los 14 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable de la resistencia a la compresión de los especímenes a la edad de 14 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la diferencia la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO_2 . Para el análisis de ANOVA y Tukey se

utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

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

Tabla 91

Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 91 se aprecia los resultados de Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días. Tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 92

Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	21182	7060.6	54.28	0.000
Error	32	4162	130.1		
Total	35	25344			

Nota. En la tabla 92 se aprecia el análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días. Tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 93

Resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

S	R- cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
11.4046	83.58%	82.04%	79.22%

Nota. En la tabla 93 se aprecia los resultados en cuanto al resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días.

Tabla 94.

Medias resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	223.22	10.16	(215.48; 230.97)
3% TiO ₂	9	287.60	13.58	(279.86; 295.34)
6% TiO ₂	9	273.54	11.66	(265.80; 281.29)
9% TiO ₂	9	270.55	9.84	(262.81; 278.30)

Nota: En la tabla 94 se aprecia los valores para Desv.Est. agrupada = 11.4046.

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

Tabla 95.

Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

Factor	N	Media	Agrupación
3% TiO ₂	9	287.60	A
6% TiO ₂	9	273.54	A B
9% TiO ₂	9	270.55	B
0% TiO ₂	9	223.22	C

Nota: En la tabla 95 se aprecia las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
Tomados de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 96

Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-64.333*	5.371	<.001	-78.89	-49.78
	6%	-50.333*	5.371	<.001	-64.89	-35.78
	9%	-47.333*	5.371	<.001	-61.89	-32.78
3%	0%	64.333*	5.371	<.001	49.78	78.89
	6%	14.000	5.371	.063	-.55	28.55
	9%	17.000*	5.371	.017	2.45	31.55
6%	0%	50.333*	5.371	<.001	35.78	64.89
	3%	-14.000	5.371	.063	-28.55	.55
	9%	3.000	5.371	.944	-11.55	17.55
9%	0%	47.333*	5.371	<.001	32.78	61.89
	3%	-17.000*	5.371	.017	-31.55	-2.45
	6%	-3.000	5.371	.944	-17.55	11.55

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

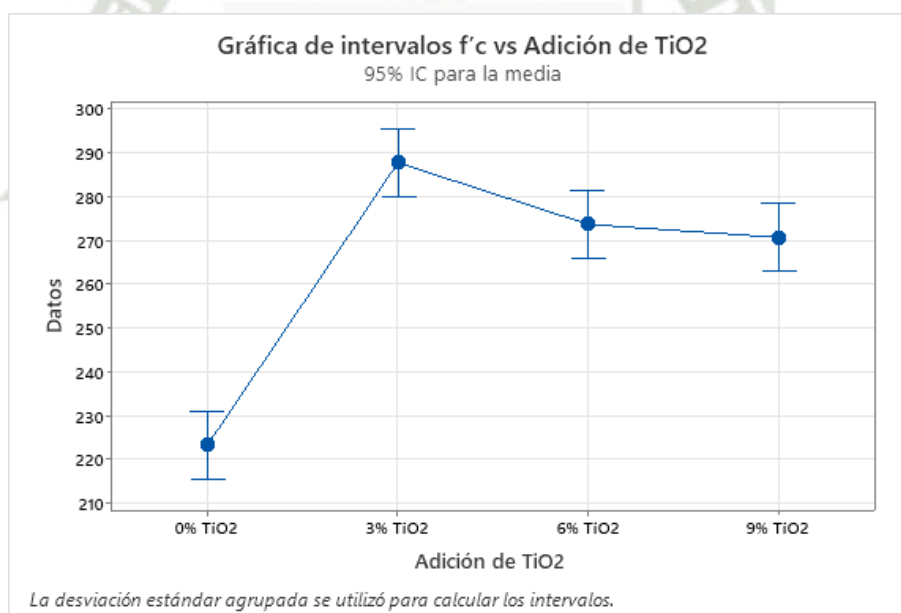
Nota. En la tabla 96 se aprecia los resultados en cuanto a comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.00, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

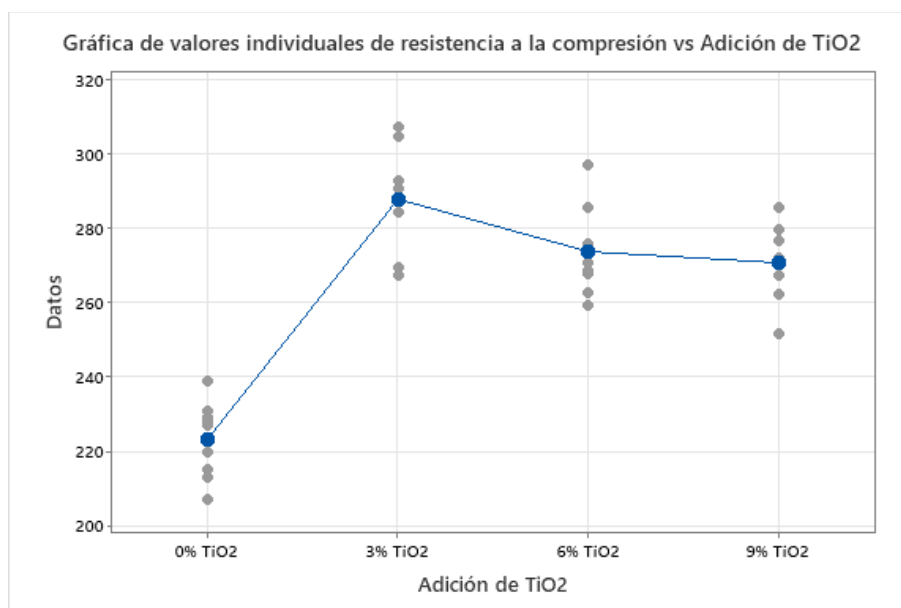
En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 3% y 6% de TiO_2 fueron similares, la adición de 6% y 9% de TiO_2 fueron similares mientras que la adición de 0% fue diferente con los demás.

Figura 96

Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 14 días

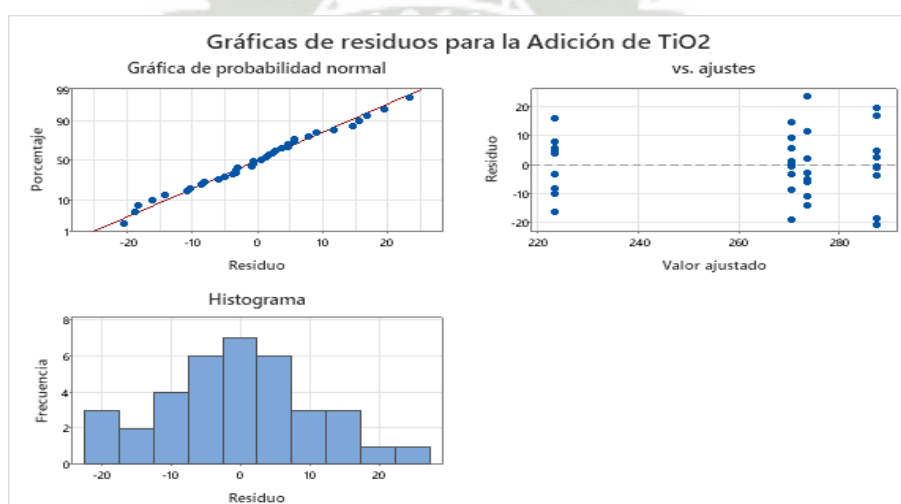


Nota. En la figura 96 se aprecia el gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 14 días. Tomado de IBM SPSS Statistics

Figura 97
Valores individuales de resistencia a la compresión a los 14 días


Nota. En la figura 97 se aprecia el gráfico de Valores individuales de resistencia a la compresión a los 14 días. Tomado de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la compresión a los 14 días diferente, la adición de 0% de TiO₂ tuvo la menor resistencia a la compresión mientras que la adición de 3% de TiO₂ tuvo la mayor resistencia a la compresión.

Figura 98
Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 14 días


Nota. En la figura 98 se aprecia el gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 14 días, Tomado de IBM SPSS Statistics.

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.1.3. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la compresión de los especímenes a la edad de 28 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO₂. Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 97

Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 97 se aprecia la información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días. Tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 98
Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	11087	3695.5	21.25	0.000
Error	32	5565	173.9		
Total	35	16652			

Nota. En la tabla 98 se aprecia el análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días. Tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 99
Resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

S	R- cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
13.1874	66.58%	63.45%	57.70%

Nota. En la tabla 99 se aprecia el resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días. Tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 100.
Medias resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	264.33	6.00	(255.38; 273.29)
3% TiO ₂	9	307.41	11.53	(298.45; 316.36)
6% TiO ₂	9	306.99	15.63	(298.03; 315.94)
9% TiO ₂	9	295.96	16.81	(287.00; 304.91)

Nota: En la tabla 100 se aprecia el valor de Desv.Est. agrupada = 13.1874. tomado de Minitab Statistical Software 22.

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

Tabla 101
Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

Factor	N	Media	Agrupación
3% TiO ₂	9	307.41	A
6% TiO ₂	9	306.99	A
9% TiO ₂	9	295.96	A
0% TiO ₂	9	264.33	B

Nota: En la tabla 101 se aprecia el valor de las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 102
Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-43.222*	6.211	<.001	-60.05	-26.40
	6%	-42.667*	6.211	<.001	-59.49	-25.84
	9%	-31.667*	6.211	<.001	-48.49	-14.84
3%	0%	43.222*	6.211	<.001	26.40	60.05
	6%	.556	6.211	1.000	-16.27	17.38
	9%	11.556	6.211	.265	-5.27	28.38
6%	0%	42.667*	6.211	<.001	25.84	59.49
	3%	-.556	6.211	1.000	-17.38	16.27
	9%	11.000	6.211	.305	-5.83	27.83
9%	0%	31.667*	6.211	<.001	14.84	48.49
	3%	-11.556	6.211	.265	-28.38	5.27
	6%	-11.000	6.211	.305	-27.83	5.83

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

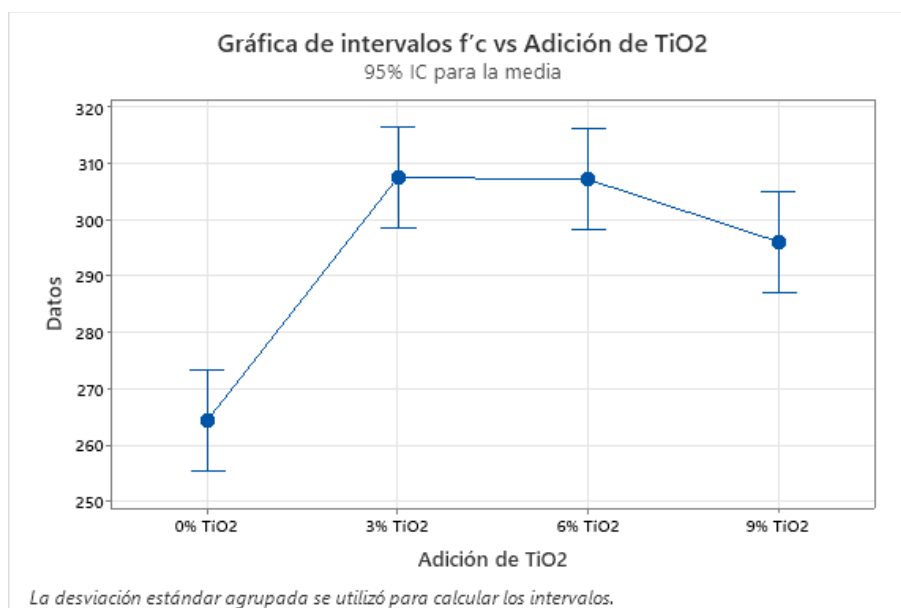
Nota. En la tabla 102 se aprecia los resultados en cuanto a comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días. Tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.00, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 3%, 6% y 9% de TiO₂ fueron similares mientras que la adición de 0% fue diferente con los demás.

Figura 99

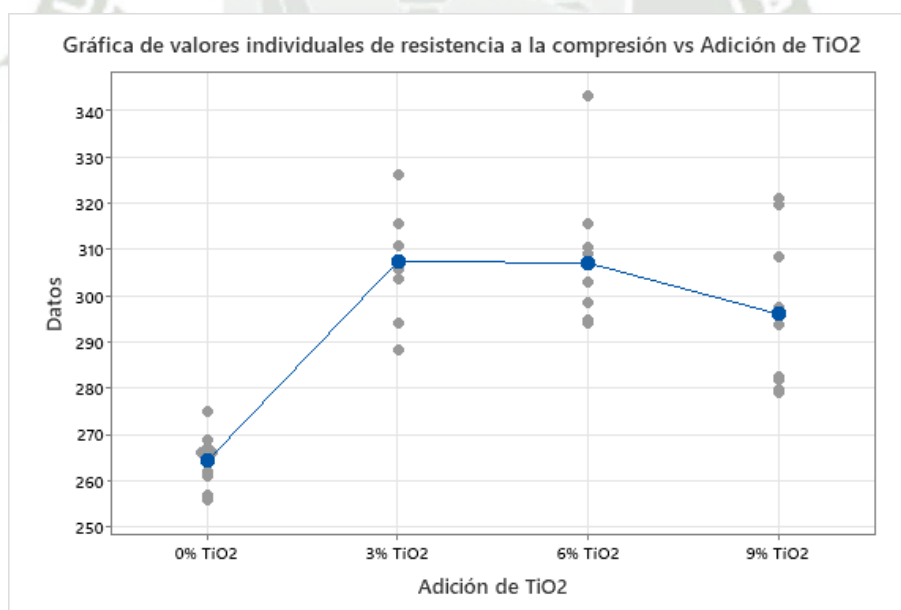
Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 28 días



Nota. En la figura 99 se aprecia el gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 28 días.

Figura 100

Valores individuales de resistencia a la compresión a los 28 días

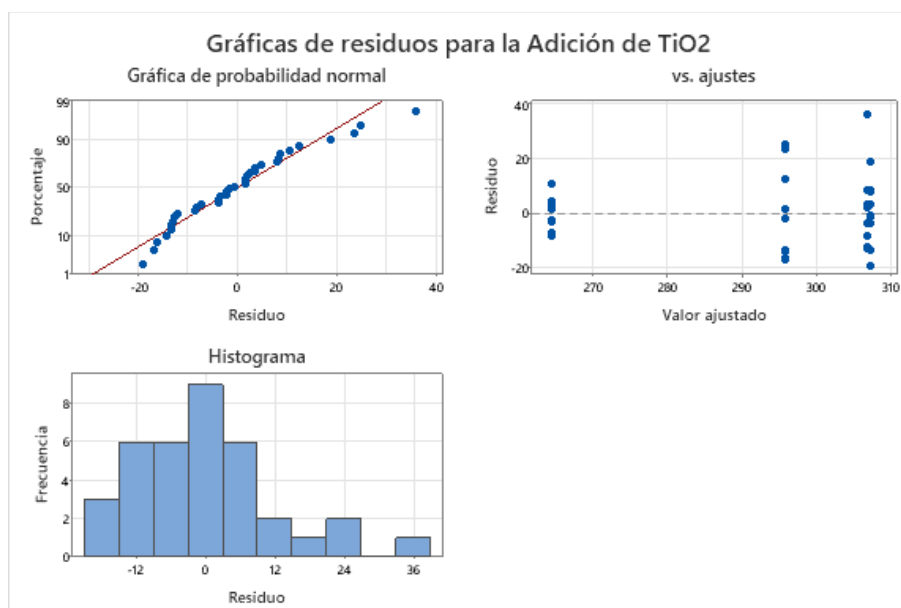


Nota. En figura 100 se aprecia el gráfico de valores individuales de resistencia a la compresión a los 28 días.

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la compresión a los 28 días diferente, la adición de 0% de TiO_2 tuvo la menor resistencia a la compresión mientras que la adición de 3% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia a la compresión.

Figura 101

Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 28 días



Nota. En la figura 101 se aprecia el gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 28 días.

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 4 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.2. Resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia f'_c 280 kgf/cm²

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.034 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. (NTP 339.034, 2015)

Tabla 103

Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'_c 280 kgf/cm² - vaciado 1

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 1	280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.08	4317	78.85	23924	303
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.04	20.11	4412	79.17	19389	245
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.02	4218	78.85	19601	249
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.08	20.08	4287	79.80	21651	271
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.07	4295	78.85	25140	319
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.05	20.04	4312	79.33	20208	255
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.06	20.08	4108	79.49	24566	309
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.03	20.02	4245	79.01	26830	340
	280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.07	20.04	4215	79.64	24496	308
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.07	20.07	4280	79.64	25523	320
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.08	4325	79.80	27044	339
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.07	20.05	4438	79.64	21666	272
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4262	79.80	27321	342
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4254	79.80	22301	279

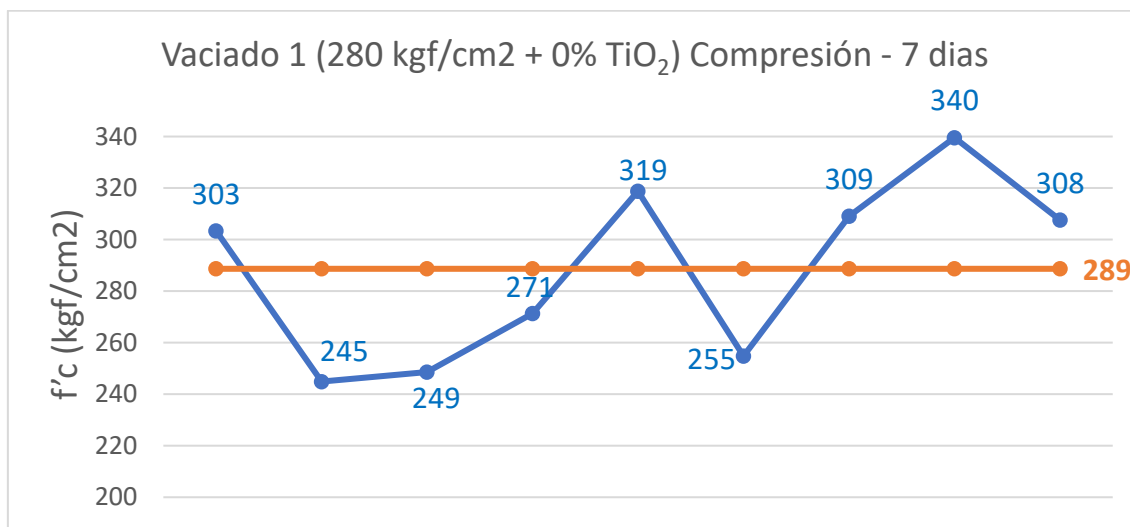
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4309	79.80	28341	355
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4370	79.80	23369	293
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.05	20.04	4365	79.33	21953	277
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.04	20.05	4228	79.17	22943	290
280 kgf/cm ²	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4294	78.85	32037	406
+ 0% TiO ₂	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.04	20.07	4327	79.17	30775	389
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.01	20.04	4359	78.70	32404	412
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	29633	376
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	28283	359
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	29085	369
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	29396	373
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	27392	347
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.03	20.05	4392	79.01	29736	376

Nota. En la tabla 103 se aprecia los resultados en cuanto a concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 280 kgf/cm² - vaciado 1.

A los 7 días, la resistencia promedio oscila entre 245 kgf/cm² y 340 kgf/cm². Algunos valores ya superan la resistencia de diseño (280 kgf/cm²), lo que indica una buena ganancia temprana de resistencia. A 14 días, los valores se encuentran en un rango de 272 kgf/cm² a 355 kgf/cm², lo que evidencia un incremento progresivo de la resistencia en comparación con los 7 días. A 28 días, la resistencia promedio varía entre 347 kgf/cm² y 412 kgf/cm², superando ampliamente la resistencia de diseño. El concreto sin TiO₂ presenta un buen desarrollo de resistencia y cumple con la resistencia de diseño a los 28 días. La resistencia a 28 días supera ampliamente el valor especificado (280 kgf/cm²), alcanzando hasta 412 kgf/cm², lo que indica una mezcla con una excelente proporción de materiales. La variabilidad de resultados sugiere que se debe verificar la uniformidad en la fabricación y curado de los especímenes para garantizar una mayor consistencia en los valores de resistencia.

Figura 102

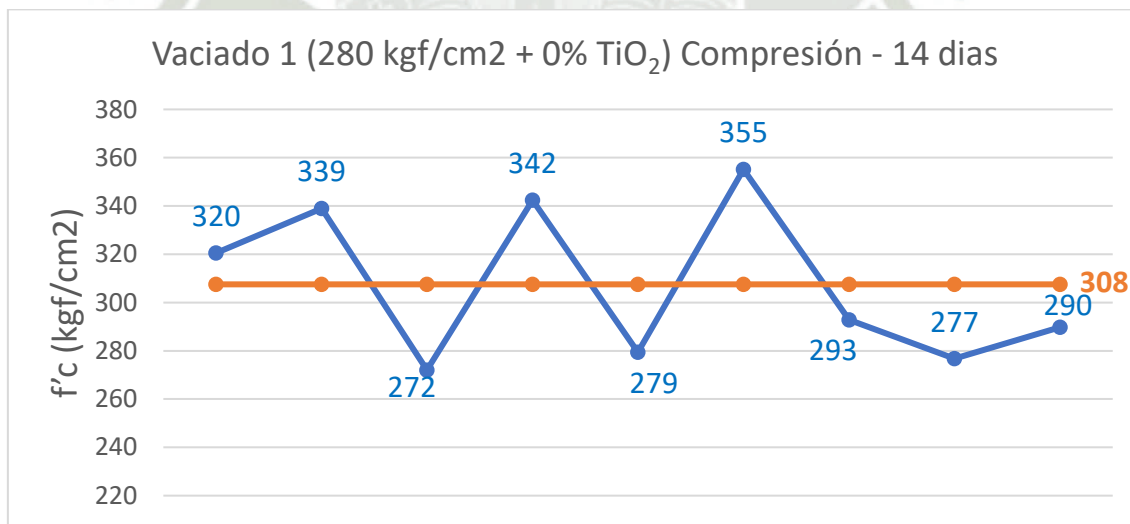
Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 102 se aprecia el Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 103.

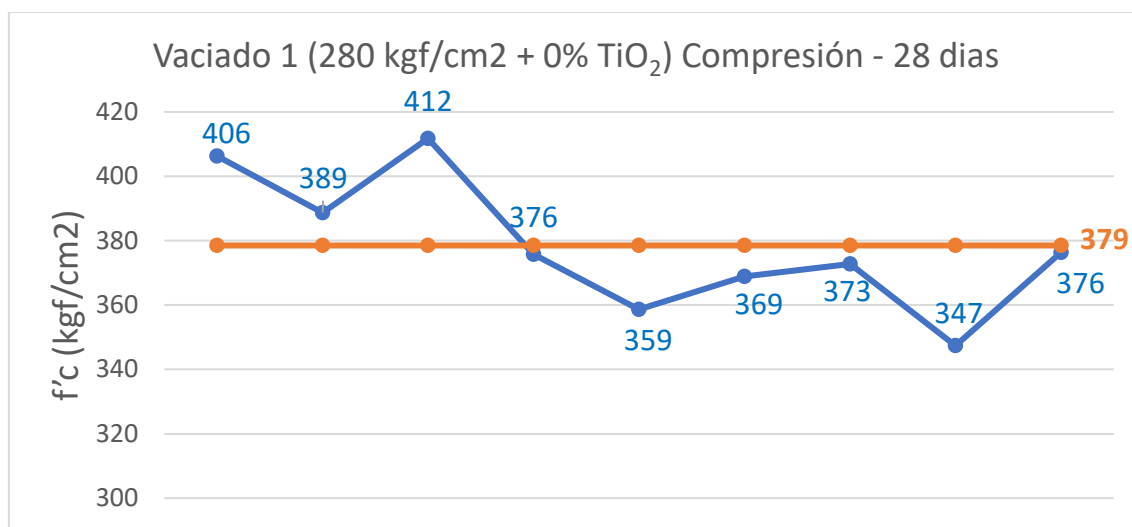
Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 102 se aprecia el Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 104

Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 102 se aprecia el Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$.

Tabla 104

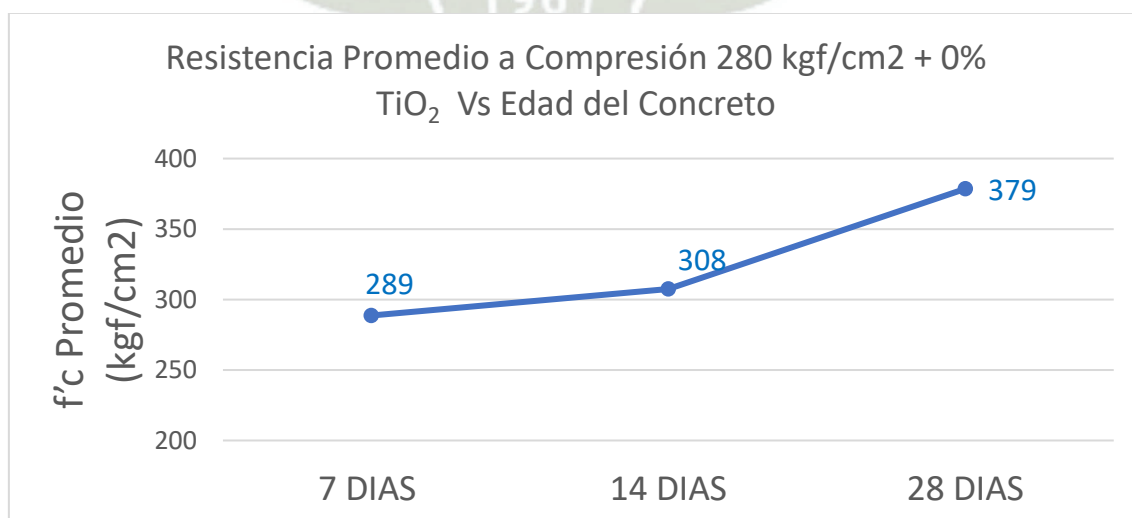
Promedios por edad de probetas de concreto con 0% adición

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
280 kgf/cm² + 0% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm²)	289	308	379

Nota. En la tabla 104 se aprecia los promedios por edad de probetas de concreto con 0% adición.

Figura 105

Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 0% de adición a los 280 kgf/cm^2



Nota. En la figura 105 se aprecia el gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 0% de adición a los 280 kgf/cm^2

Tabla 105

Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia f'_c 280 kgf/cm^2 - vaciado 2

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm^2)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm^2)
Vaciado 2	280 kgf/cm^2 + 3% TiO_2	26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.07	20.17	4319	79.64	24402	306
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.09	20.12	4380	79.96	23685	296
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.04	20.06	4393	79.17	24640	311
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.02	20.07	4335	78.85	24343	309
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.03	20.08	4352	79.01	26111	330
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.08	20.09	4337	79.80	27315	342
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.06	20.1	4362	79.49	24385	307
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.07	20.1	4363	79.64	26554	333
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.09	20.09	4310	79.96	23763	297
	280 kgf/cm^2 + 3% TiO_2	26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.05	20.07	4325	79.33	28855	364
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.04	20.08	4298	79.17	27853	352
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.02	20.03	4188	78.85	26417	335
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.01	19.81	4218	78.70	26775	340
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.03	20.05	4248	79.01	29926	379
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.02	20.05	4278	78.85	29116	369
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.04	20.17	4308	79.17	28539	360
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.06	20.12	4286	79.49	28425	358
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.07	20.09	4274	79.64	27606	347
	280 kgf/cm^2 + 3% TiO_2	26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.07	20.05	4395	79.64	29366	369
		26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	30585	383

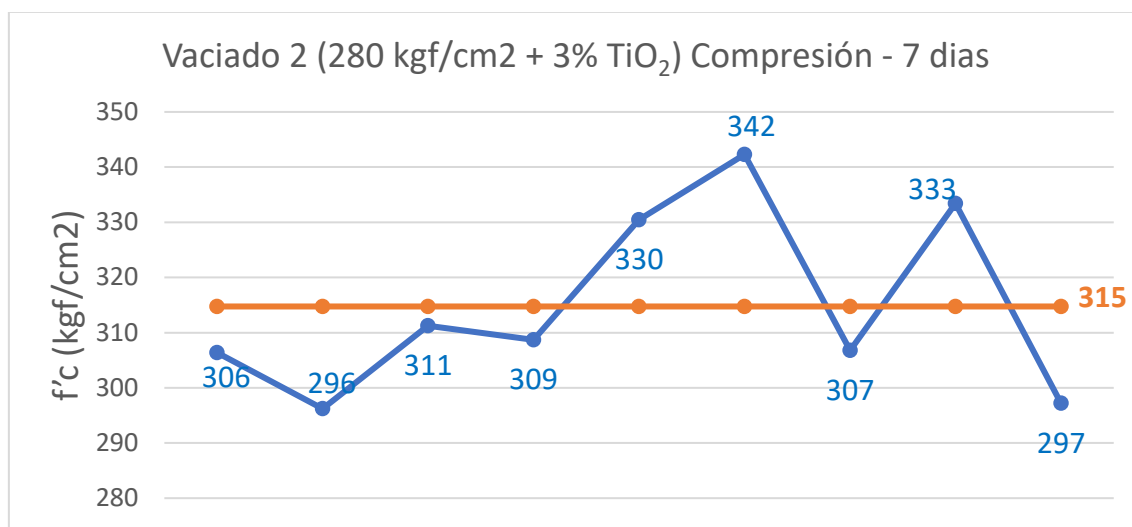
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	29893	375
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	30417	381
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	30495	382
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.05	20.04	4314	79.33	31323	395
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.04	20.05	4357	79.17	29507	373
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.02	20.08	4351	78.85	30729	390
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.04	20.07	4365	79.17	30845	390

Nota. En la tabla 103 se aprecia los resultados en cuanto a concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 280 kgf/cm² - vaciado 2.

Los resultados presentan una dispersión aceptable, dentro de rangos esperados para ensayos de resistencia, asimismo a los 7 días, la variabilidad es mayor, con diferencias de hasta 46 kgf/cm² entre el valor mínimo y el máximo. A los 14 y 28 días, la resistencia se estabiliza con menor dispersión. El concreto cumple y supera la resistencia de diseño (280 kgf/cm²). Asimismo, la adición de TiO₂ no perjudica la resistencia del concreto. El material sigue ganando resistencia hasta los 28 días, alcanzando valores óptimos para su uso estructural.

Figura 106

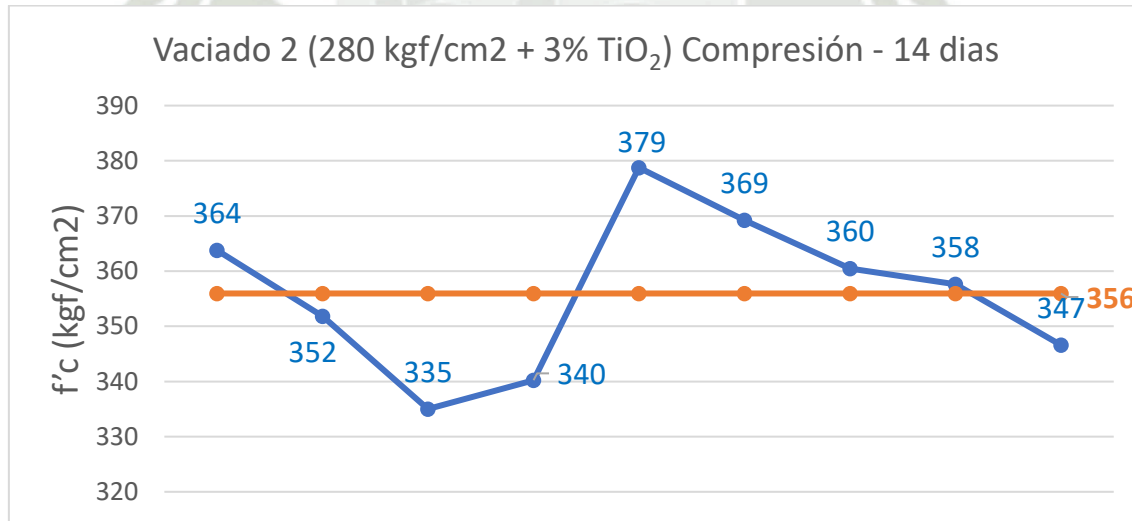
Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 106 se aprecia el gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 107

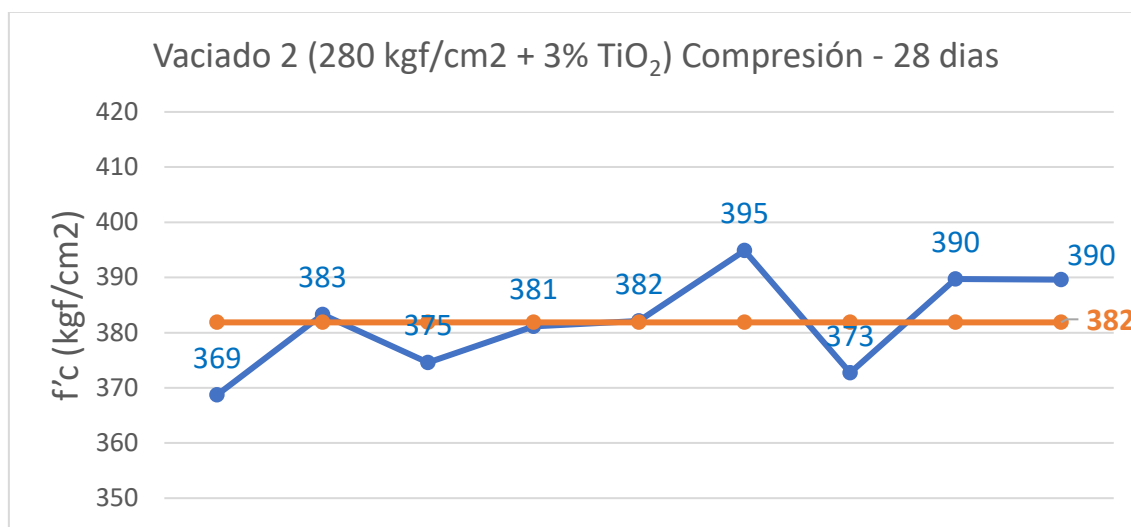
Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 106 se aprecia el gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$.

Figura 108

Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 106 se aprecia el gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$.

Tabla 106

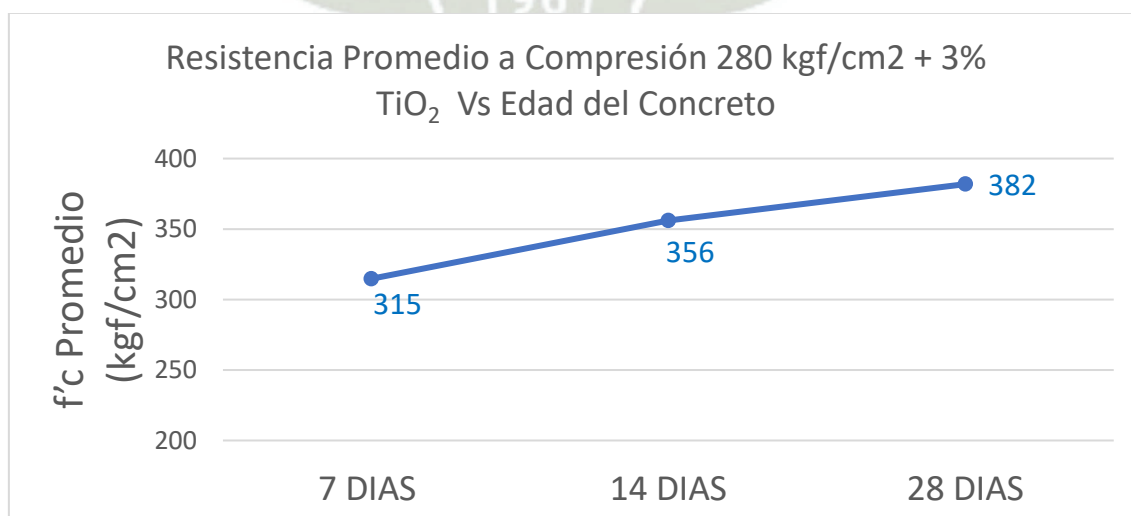
Promedios por edad de probetas de concreto con 3% adición

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
280 kgf/cm² + 3% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm²)	315	356	382

Nota. En la tabla 106 se aprecia los Promedios por edad de probetas de concreto con 3% adición

Figura 109

Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 3% de adición a los 280 kgf/cm^2



Nota. En la figura 106 se aprecia el gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 3% de adición a los 280 kgf/cm^2

Tabla 107

Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm² - vaciado 3

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 3	280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.07	20.13	4240	79.64	25266	317
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.09	20.17	3797	79.96	26672	334
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.03	20.03	4163	79.01	26028	329
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.02	20.07	4171	78.85	24354	309
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.01	20.08	4179	78.70	25840	328
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.03	20.05	4187	79.01	24758	313
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.13	4195	79.33	25151	317
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.11	4264	79.33	25611	323
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.06	20.06	4241	79.49	26374	332
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.07	20.1	4210	79.64	25814	324
	280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.09	20.09	4257	79.96	26442	331
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.08	20.04	4367	79.80	27748	348
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.07	20.05	4324	79.64	26321	330
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.06	20.06	4281	79.49	28326	356
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.05	20.07	4238	79.33	27738	350
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.04	20.08	4195	79.17	28309	358
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.02	20.05	4249	78.85	28600	363
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.04	20.17	4175	79.17	28076	355
	280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.08	20.06	4269	79.80	32606	409
		28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.05	20.04	4259	79.33	31003	391

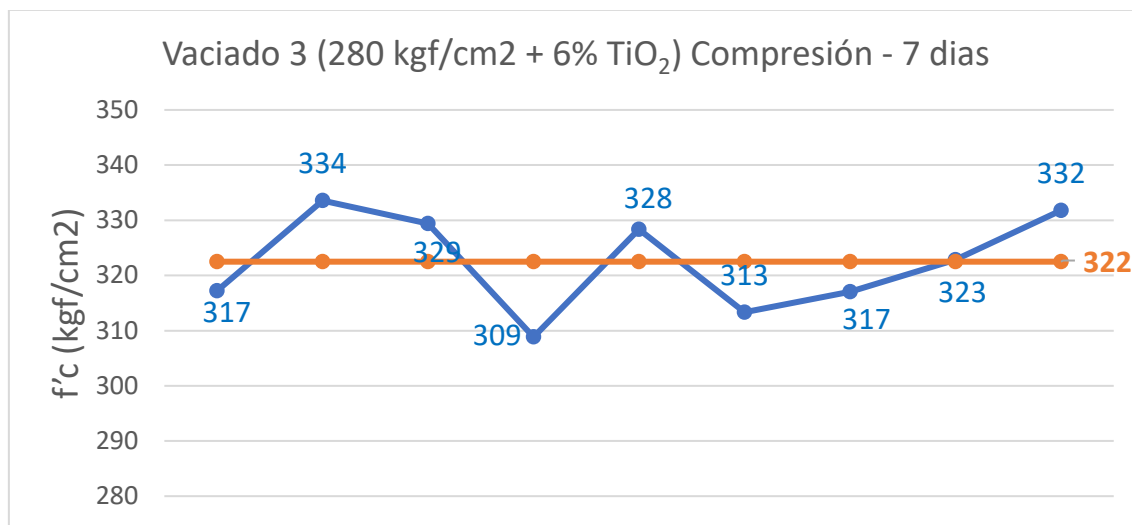
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.03	19.96	4222	79.01	30661	388
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.02	19.99	4252	78.85	31190	396
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.02	4282	79.17	32013	404
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.05	4312	79.17	30603	387
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.02	20.08	4342	78.85	31391	398
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.07	4378	79.17	30532	386
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.06	20.04	4299	79.49	32446	408

Nota. En la tabla 103 se aprecia los resultados en cuanto a concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'_c 280 kgf/cm² - vaciado 3.

El concreto fue diseñado para alcanzar 280 kgf/cm². Sin embargo, ya a los 7 días supera este valor, lo que indica un buen desempeño de la mezcla. A los 28 días, la resistencia es aproximadamente un 40% mayor que la resistencia de diseño (llegando a 396 kgf/cm² en promedio). Esto sugiere que el agregado del 6% de TiO₂ podría estar contribuyendo positivamente a la resistencia mecánica del concreto. La resistencia obtenida es superior a la de diseño, lo que indica que la adición del 6% de TiO₂ no afecta negativamente la resistencia mecánica.

Figura 110

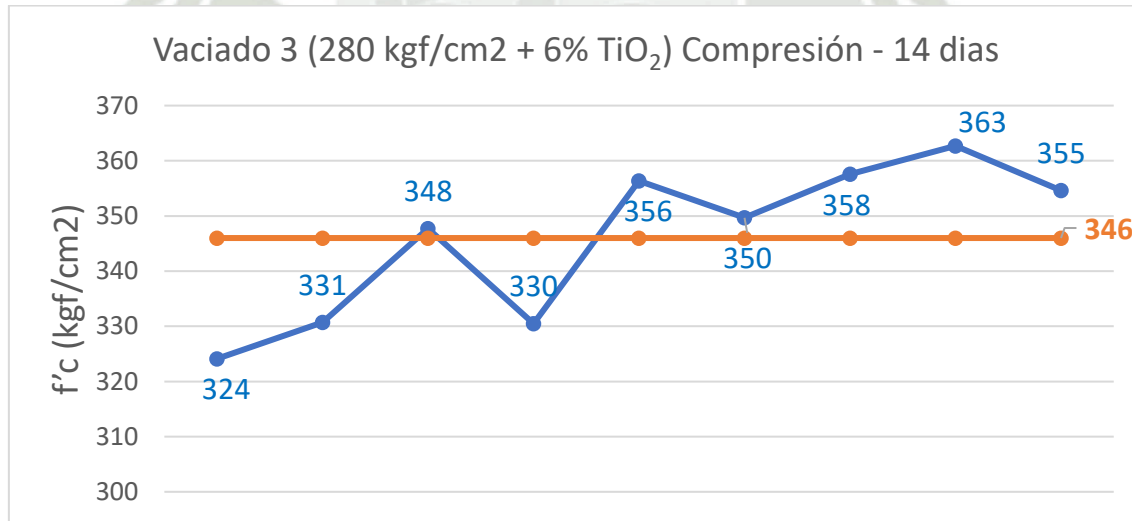
Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 110 se aprecia el Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$.

Figura 111

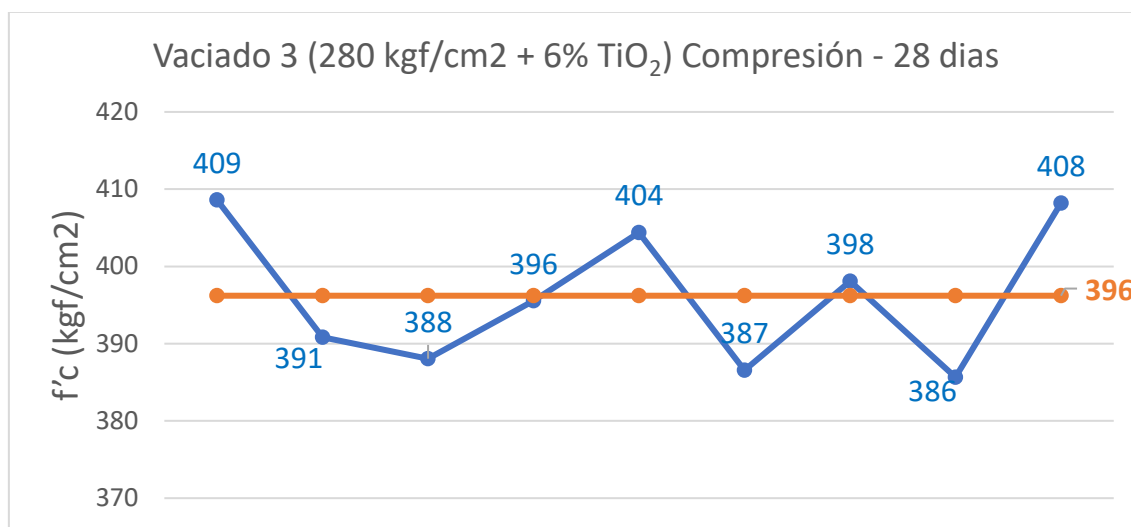
Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 111 se aprecia el Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$.

Figura 112

Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 110 se aprecia el Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$.

Tabla 108

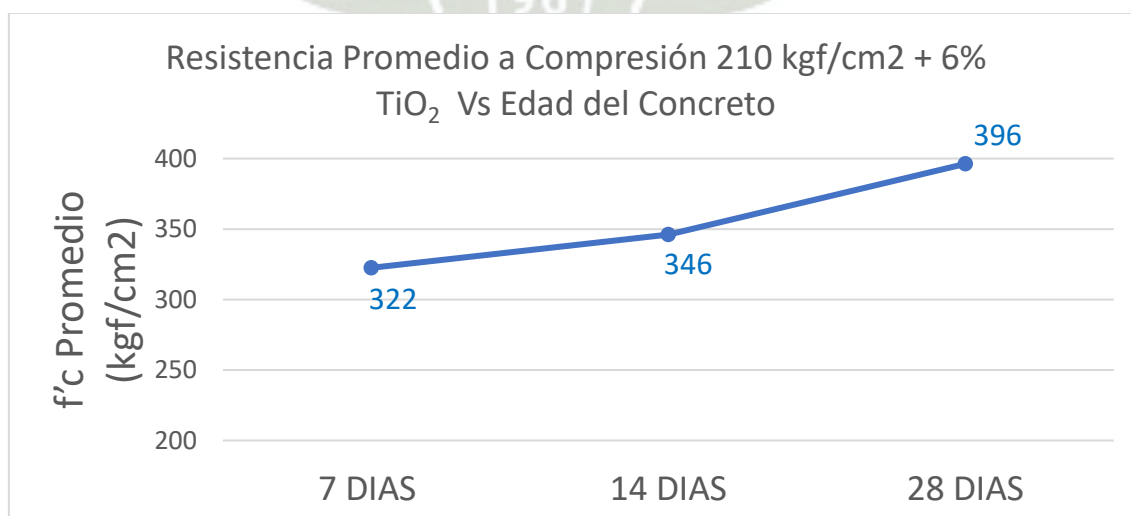
Promedios por edad de probetas de concreto con 6% adición

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
280 kgf/cm² + 6% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm²)	322	346	396

Nota. En la tabla 108 se aprecia los promedios por edad de probetas de concreto con 6% adición

Figura 113

Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 6% de adición a los 280 kgf/cm^2



Nota. En la figura 113 se aprecia el gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 6% de adición a los 280 kgf/cm^2 .

Tabla 109

Concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'_c 280 kgf/cm² - vaciado 4

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 4	280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.07	20.13	4208	79.64	27127	341
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.04	20.08	4213	79.17	27743	350
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.02	19.95	4491	78.85	25696	326
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.04	19.99	4422	79.17	24601	311
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.02	20.03	4353	78.85	26290	333
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.05	20.07	4284	79.33	27917	352
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.08	20.11	4215	79.80	26921	337
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.03	20.14	4228	79.01	25398	321
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.05	20.04	4259	79.33	27421	346
	280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.04	20.11	4258	79.17	28199	356
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.02	20.02	4275	78.85	30204	383
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.03	20.11	4201	79.01	24743	313
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.05	20.1	4210	79.33	30335	382
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.08	20.09	4219	79.80	29227	366
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.08	20.08	4228	79.80	29569	371
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.02	20.07	4237	78.85	21048	267
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.07	20.04	4244	79.64	29829	375
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.07	20.07	4232	79.64	29581	371
	280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.06	20.12	4248	79.49	29433	370
		3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.07	20.09	4264	79.64	30311	381

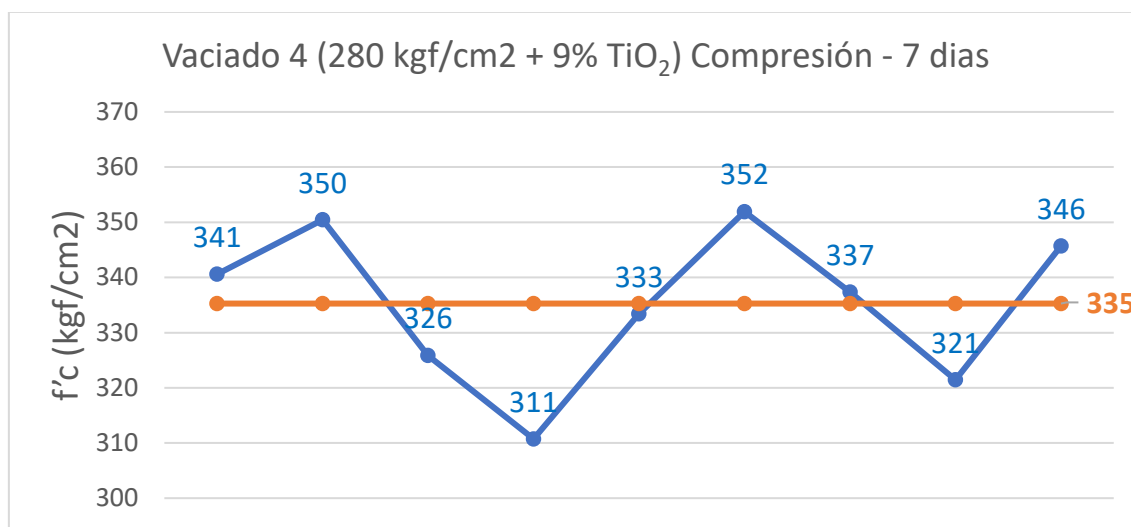
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.04	20.02	4051	79.17	32251	407
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.05	20.03	4114	79.33	30581	386
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.06	20.04	4177	79.49	30132	379
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.07	20.05	4240	79.64	30559	384
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.08	20.06	4303	79.80	29501	370
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.05	20.04	4335	79.33	28834	363
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.04	20.05	4245	79.17	28564	361

Nota. En la tabla 109 se aprecia los resultados en cuanto a concreto endurecido con capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO₂ con resistencia f'c 280 kgf/cm² - vaciado 4.

A los 7 días, el concreto ya superó la resistencia de diseño. A los 7 días, el concreto ya superó la resistencia de diseño. A los 14 días, se observa un incremento del 4.7% - 15.2% respecto a los 7 días. A los 28 días, el incremento acumulado oscila entre 8.5% - 21.1% respecto a los 7 días. Efecto del 9% de en comparación con el vaciado 3 (6% de TiO₂), se observa un incremento general en la resistencia. Podría inferirse que la mayor cantidad de TiO₂ ha mejorado la matriz del concreto, posiblemente por su efecto catalizador en la hidratación del cemento. El concreto con 280 kgf/cm² + 9% TiO₂ ha superado la resistencia de diseño en todas las edades. A los 28 días, el promedio de resistencia supera los 380 kgf/cm², confirmando un buen desempeño estructural. El concreto con 280 kgf/cm² + 9% TiO₂ ha superado la resistencia de diseño en todas las edades. A los 28 días, el promedio de resistencia supera los 380 kgf/cm², confirmando un buen desempeño estructural.

Figura 114

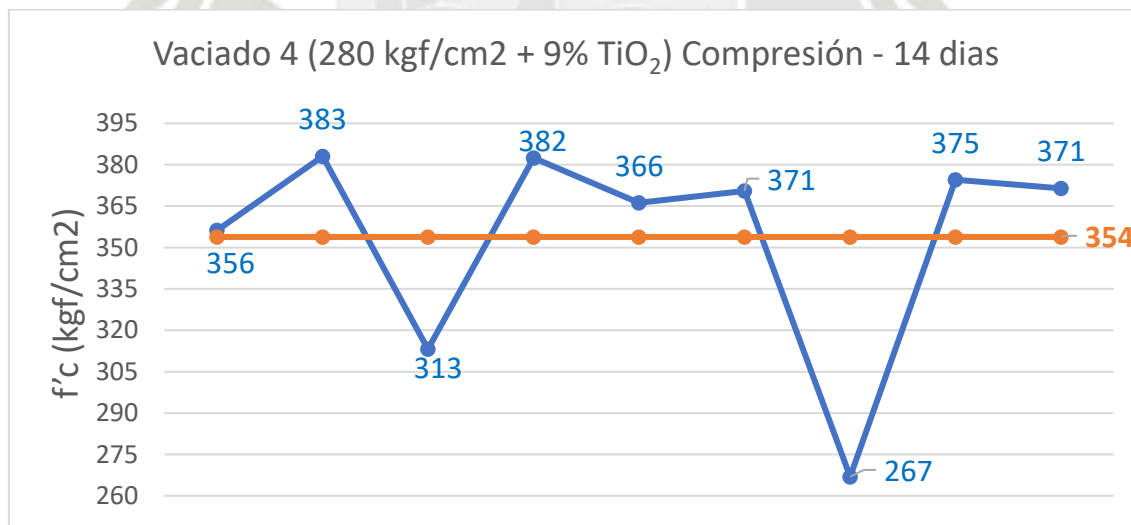
Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 114 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$.

Figura 115.

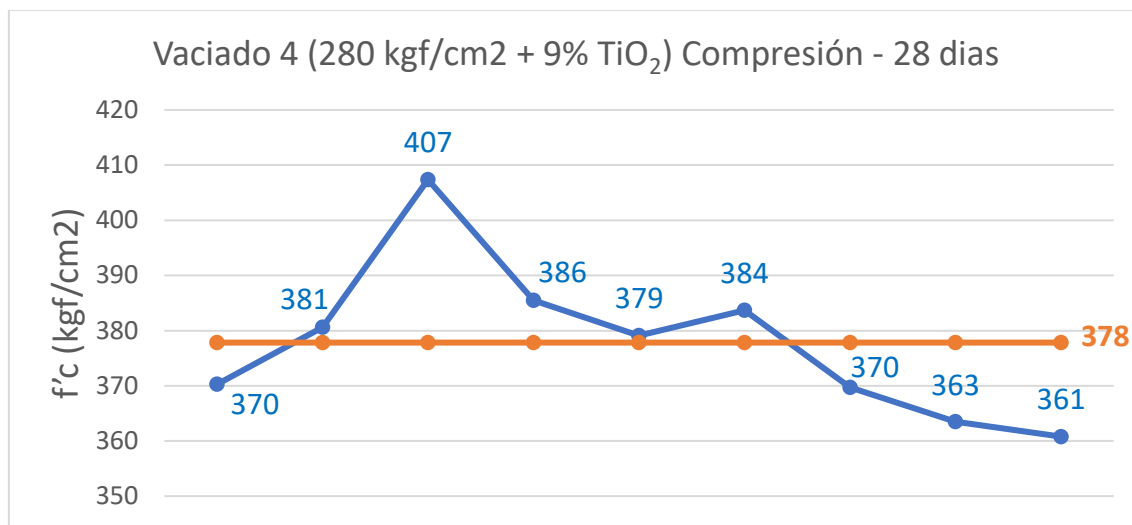
Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 114 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$.

Figura 116.

Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 114 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la compresión $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$.

Tabla 110.

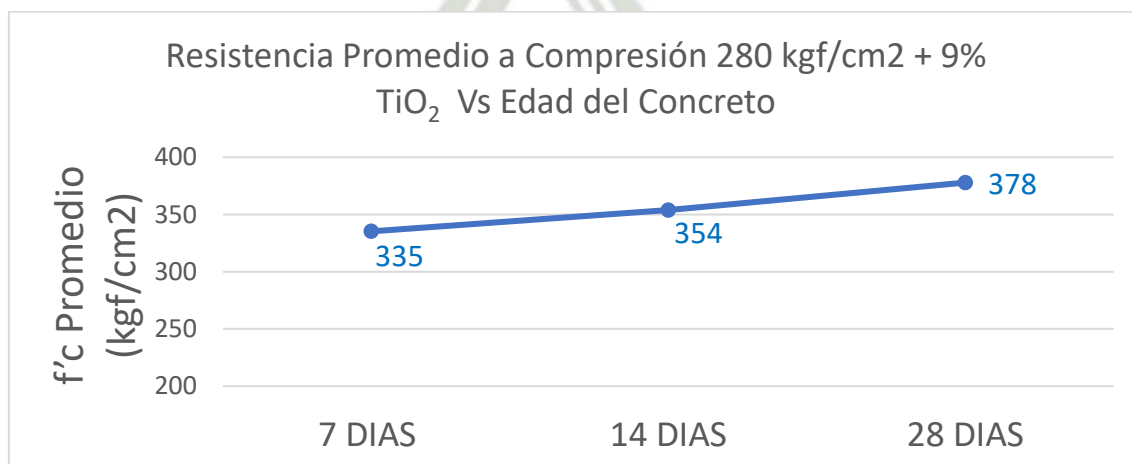
Promedios por edad de probetas de concreto con 9% adición

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
$280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2$			
f'c (kgf/cm²)	335	354	378

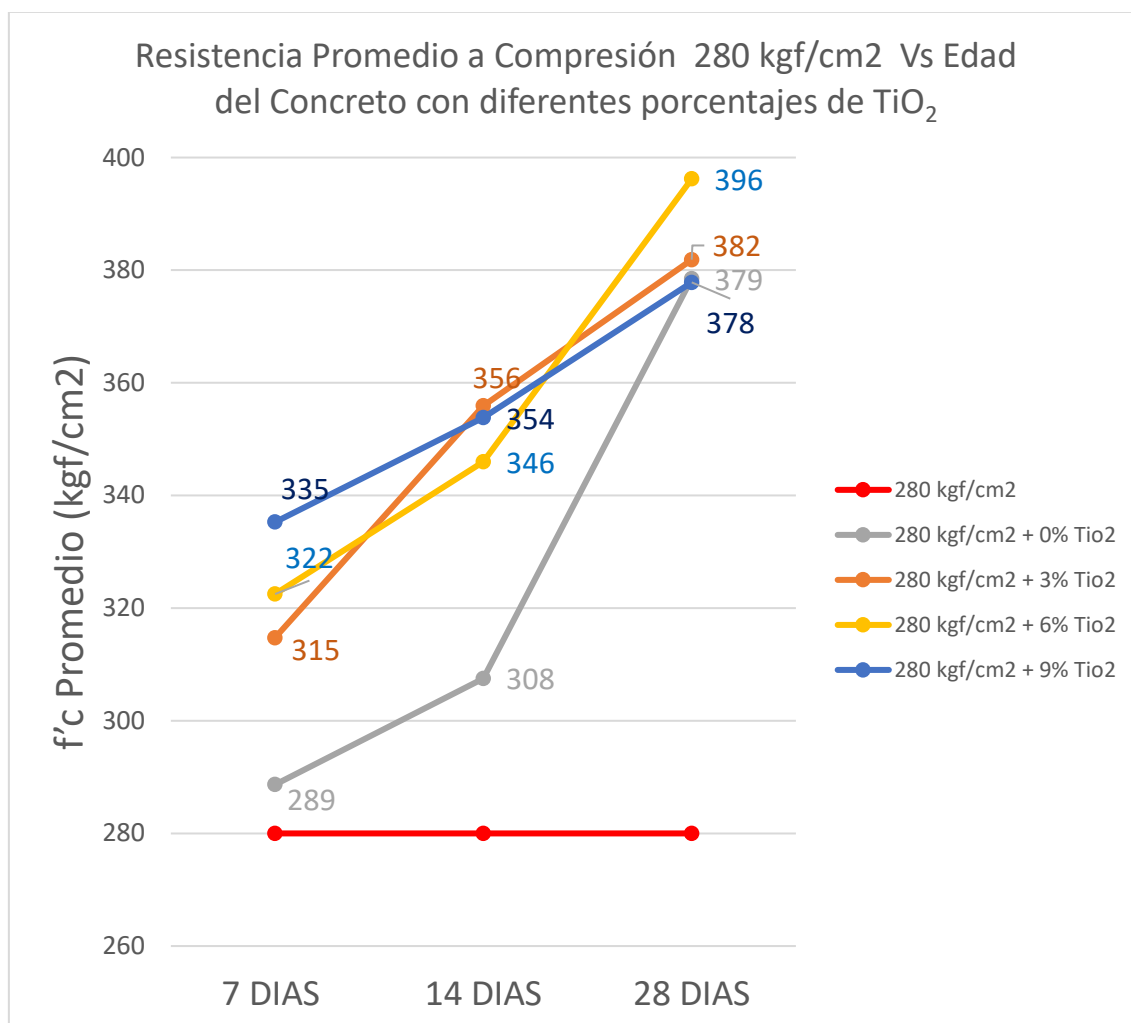
Nota. En la tabla 110 se aprecia los resultados de promedios por edad de probetas de concreto con 9% adición

Figura 117

Gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 9% de adición a los 280 kgf/cm^2



Nota. En la figura 117 se aprecia el gráfico de promedios por edad de probetas de concreto con 9% de adición a los 280 kgf/cm^2

Figura 118
Resistencia a la compresión promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO_2


Nota. En la figura 118 se aprecia el gráfico de resistencia a la compresión promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO_2

5.3.2.1. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la compresión de los especímenes a la edad de 7 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO_2 . Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 111

Información del factor resistencia a la compresión f'c 280 kgf/cm² a los 7 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 111 se aprecia los resultados para información del factor resistencia a la compresión f'c 280 kgf/cm² a los 7 días, tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 112

Análisis de Varianza resistencia a la compresión f'c 280 kgf/cm² a los 7 días

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Factor	3	10445	3481.7	8.07	0.000
Error	32	13805	431.4		
Total	35	24250			

Nota. En la tabla 112 se aprecia el análisis de varianza resistencia a la compresión f'c 280 kgf/cm² a los 7 días, tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 113

Resumen del modelo resistencia a la compresión f'c 280 kgf/cm² a los 7 días

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
20.7702	43.07%	37.74%	27.95%

Nota. En la tabla 113 se aprecia el resumen del modelo resistencia a la compresión f'c 280 kgf/cm² a los 7 días, tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 114

Medias resistencia a la compresión f'c 280 kgf/cm² a los 7 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	288.7	34.4	(274.6; 302.8)
3% TiO ₂	9	314.74	16.54	(300.64; 328.85)
6% TiO ₂	9	322.50	8.80	(308.40; 336.60)
9% TiO ₂	9	335.27	13.84	(321.17; 349.37)

Nota. En la tabla 114 se aprecia la Desv.Est. agrupada = 20.77020, tomado de Minitab Statistical Software 22.

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

Tabla 115

Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

Factor	N	Media	Agrupación
9% TiO ₂	9	335.27	A
6% TiO ₂	9	322.50	A
3% TiO ₂	9	314.74	A B
0% TiO ₂	9	288.7	B

Nota: En la tabla 115 se aprecia los valores en cuanto a las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 116

Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-25.778	9.786	.059	-52.29	.74
	6%	-33.667*	9.786	.008	-60.18	-7.15
	9%	-46.444*	9.786	<.001	-72.96	-19.93
3%	0%	25.778	9.786	.059	-.74	52.29
	6%	-7.889	9.786	.851	-34.40	18.63
	9%	-20.667	9.786	.171	-47.18	5.85
6%	0%	33.667*	9.786	.008	7.15	60.18
	3%	7.889	9.786	.851	-18.63	34.40
	9%	-12.778	9.786	.566	-39.29	13.74
9%	0%	46.444*	9.786	<.001	19.93	72.96
	3%	20.667	9.786	.171	-5.85	47.18
	6%	12.778	9.786	.566	-13.74	39.29

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

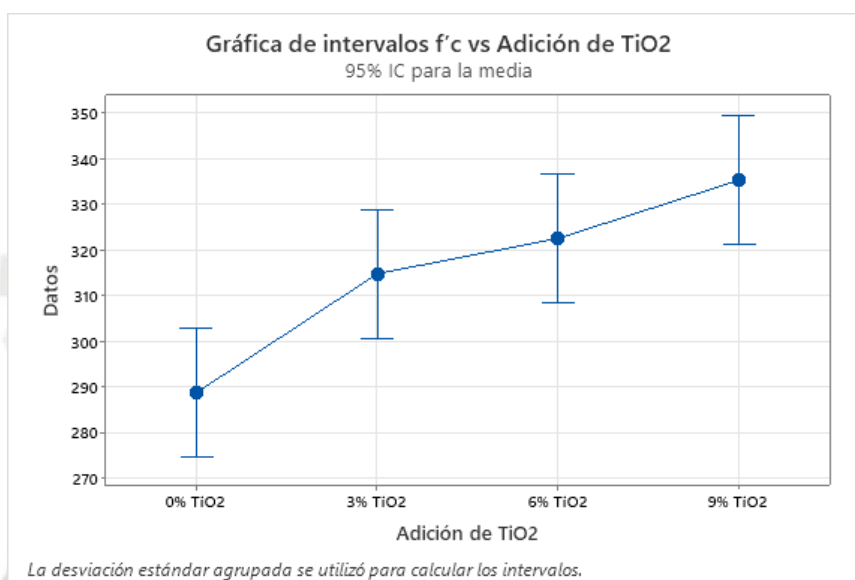
Nota. En la tabla 116 se aprecia las Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.00, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 0% y 3% de TiO_2 fueron similares, mientras que las adiciones de 3%, 6% y 9% de TiO_2 similares.

Figura 119

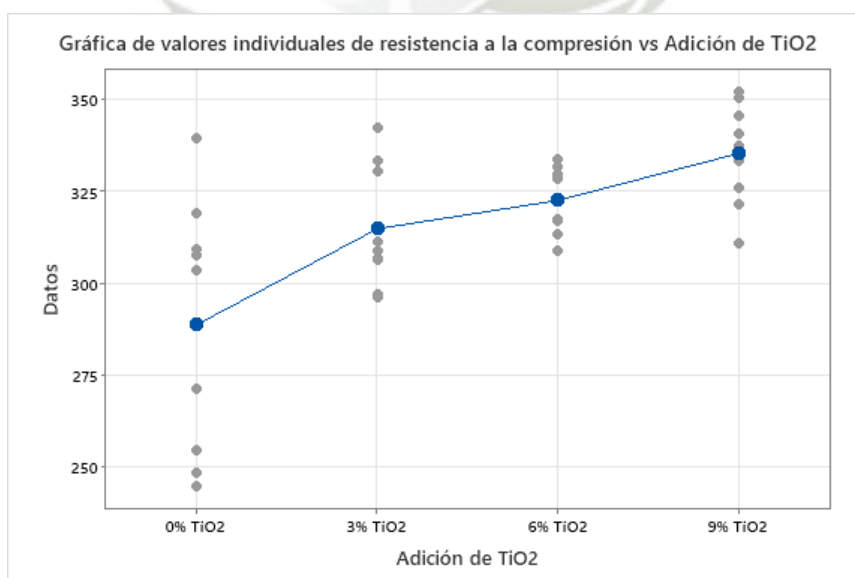
Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 7 días



Nota. En la figura 119 se aprecia el Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

Figura 120

Valores individuales de resistencia a la compresión a los 7 días

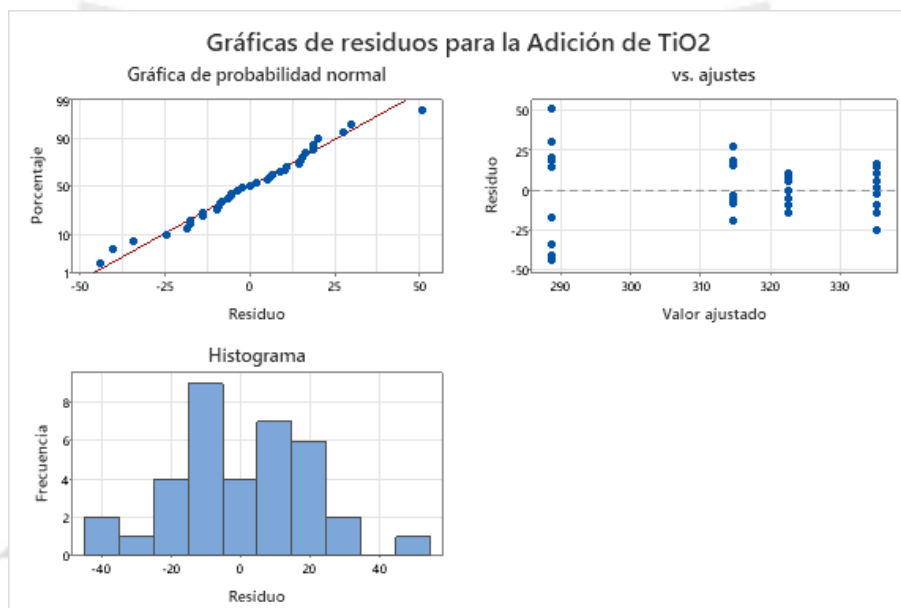


Nota. En la figura 120 se aprecia el gráfico de valores individuales de resistencia a la compresión a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la compresión a los 7 días diferente, la adición de 0% de TiO_2 tuvo la menor resistencia a la compresión mientras que la adición de 9% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia a la compresión. Se aprecia que mientras se aumenta la adición de TiO_2 la resistencia a la compresión aumenta.

Figura 121

Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 7 días



Nota. En figura 121 se aprecia el gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 7 días

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes.

5.3.2.2. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia f'_c 280 kgf/cm^2 a los 14 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la compresión de los especímenes a la edad de 14 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO_2 . Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 117

Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 117 se aprecia los resultados para Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días, tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 118

Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	13799	4599.6	6.30	0.002
Error	32	23346	729.6		
Total	35	37145			

Nota. En la tabla 118 se aprecia el Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 119

Resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

S	R- cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
27.0104	37.15%	31.26%	20.45%

Nota. En la tabla 119 se aprecia el resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 120

Medias resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	307.5	31.9	(289.2; 325.9)
3% TiO ₂	9	355.95	14.01	(337.61; 374.28)
6% TiO ₂	9	345.99	13.99	(327.65; 364.33)
9% TiO ₂	9	353.8	38.8	(335.5; 372.2)

Nota: En la tabla 120 se aprecia el valor en cuanto a la Desv.Est. agrupada = 27.0104, tomado de Minitab Statistical Software 22

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

Tabla 121.

Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

Factor	N	Media	Agrupación
3% TiO ₂	9	355.95	A
9% TiO ₂	9	353.8	A
6% TiO ₂	9	345.99	A
0% TiO ₂	9	307.5	B

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 122

Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-48.556*	12.729	.003	-83.04	-14.07
	6%	-38.667*	12.729	.023	-73.15	-4.18
	9%	-46.333*	12.729	.005	-80.82	-11.85
3%	0%	48.556*	12.729	.003	14.07	83.04
	6%	9.889	12.729	.864	-24.60	44.38
	9%	2.222	12.729	.998	-32.26	36.71
6%	0%	38.667*	12.729	.023	4.18	73.15
	3%	-9.889	12.729	.864	-44.38	24.60
	9%	-7.667	12.729	.931	-42.15	26.82
9%	0%	46.333*	12.729	.005	11.85	80.82
	3%	-2.222	12.729	.998	-36.71	32.26
	6%	7.667	12.729	.931	-26.82	42.15

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

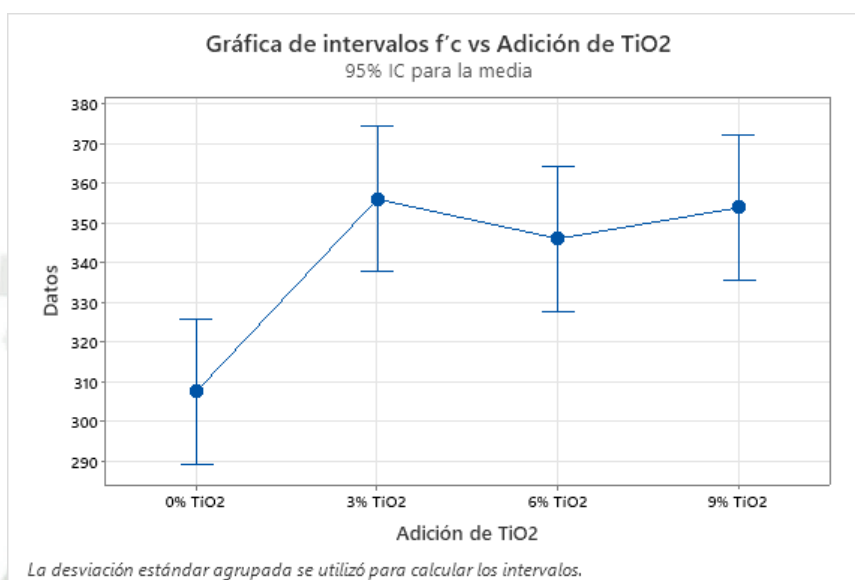
Nota. En la tabla 122 se aprecia las comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.002, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 3%, 6% y 9% de TiO_2 fueron similares mientras que la adición de 0% fue diferente con los demás.

Figura 122

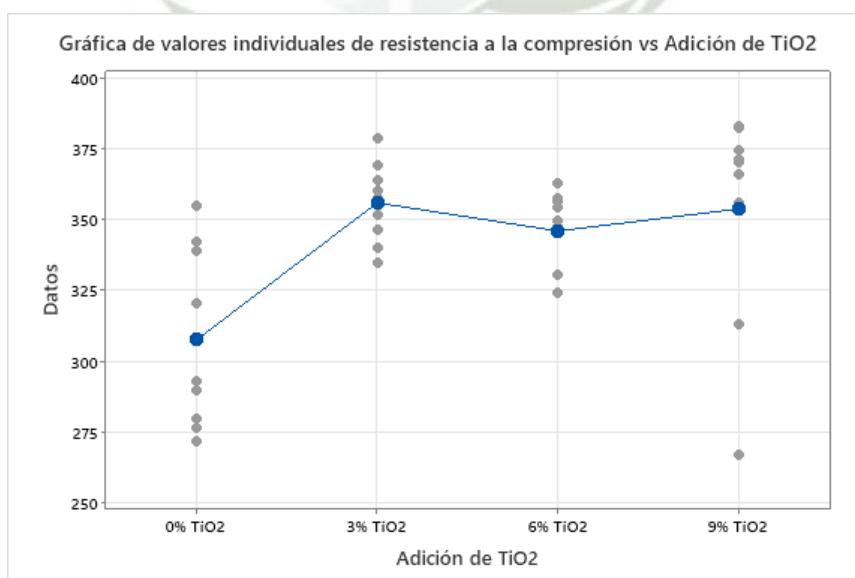
Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 14 días



Nota. En la figura 122 se aprecia el gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics

Figura 123

Valores individuales de resistencia a la compresión a los 14 días



Nota. En la figura 123 se aprecia los valores individuales de resistencia a la compresión a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la compresión a los 14 días diferente, la adición de 0% de TiO_2 tuvo la menor resistencia a la compresión mientras que la adición de 3% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia a la compresión.

Figura 124

Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 14 días



Nota. En la figura se aprecia el Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.2.3. Análisis estadístico de resistencia a la compresión axial del concreto fotocatalítico con resistencia f'_c 280 kgf/cm^2 a los 28 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la compresión de los especímenes a la edad de 28 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la diferencia la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO_2 . Para el análisis de ANOVA y Tukey se

utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

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

Tabla 123

Información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 123 se aprecia la información del factor resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 124.

Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	1990	663.4	3.35	0.031
Error	32	6346	198.3		
Total	35	8336			

Nota. se aprecia el Análisis de Varianza resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Tabla 125

Resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
14.0823	23.88%	16.74%	3.65%

Nota. En la tabla 125 se aprecia el resumen del modelo resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 126

Medias resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	378.51	20.86	(368.95; 388.07)
3% TiO ₂	9	381.86	8.68	(372.30; 391.42)
6% TiO ₂	9	396.21	9.14	(386.65; 405.77)
9% TiO ₂	9	377.83	14.12	(368.27; 387.39)

Nota: En la tabla 126 se aprecia el valor en cuanto a Desv.Est. agrupada = 14.0823

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

Tabla 127

Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Factor	N	Media	Agrupación
3% TiO ₂	9	396.21	A
9% TiO ₂	9	381.86	A B
6% TiO ₂	9	378.51	A B
0% TiO ₂	9	377.83	B

Nota. En la tabla 127 se aprecia las Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 128

Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-3.444	6.633	.954	-21.42	14.53
	6%	-17.778	6.633	.053	-35.75	.19
	9%	.667	6.633	1.000	-17.30	18.64
3%	0%	3.444	6.633	.954	-14.53	21.42
	6%	-14.333	6.633	.156	-32.30	3.64
	9%	4.111	6.633	.925	-13.86	22.08
6%	0%	17.778	6.633	.053	-.19	35.75
	3%	14.333	6.633	.156	-3.64	32.30
	9%	18.444*	6.633	.043	.47	36.42
9%	0%	-.667	6.633	1.000	-18.64	17.30
	3%	-4.111	6.633	.925	-22.08	13.86
	6%	-18.444*	6.633	.043	-36.42	-.47

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

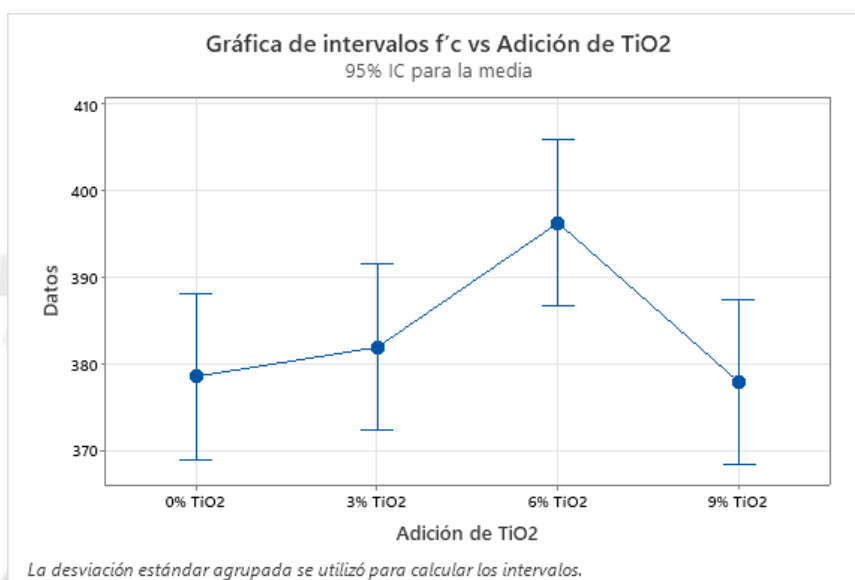
Nota. En la tabla 128 se aprecia las Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la compresión $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.031, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 3%, 6% y 9% de TiO_2 fueron similares mientras que la adición de 0%, 6% y 9% de TiO_2 fueron similares.

Figura 125

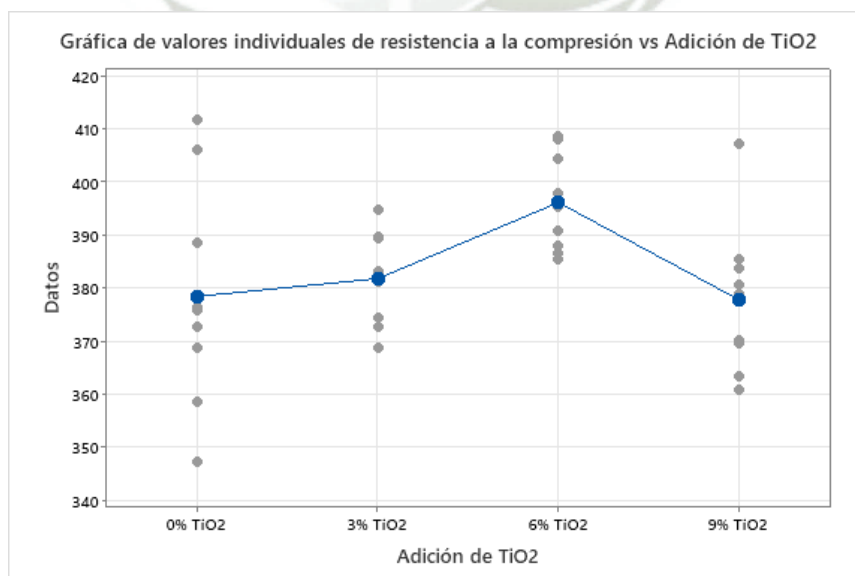
Gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 28 días



Nota. En la figura 125 se aprecia el gráfico de Intervalos resistencia a la compresión a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

Figura 126

Valores individuales de resistencia a la compresión a los 28 días

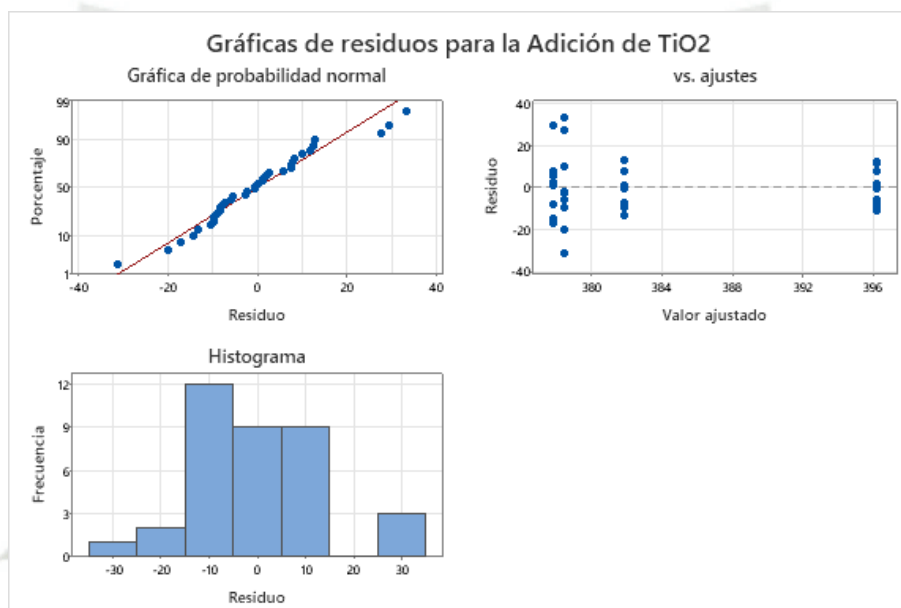


Nota. En la figura 126 se aprecia el gráfico de Valores individuales de resistencia a la compresión a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la compresión a los 28 días diferente, la adición de 0% de TiO_2 tuvo la menor resistencia a la compresión mientras que la adición de 6% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia a la compresión.

Figura 127

Gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 28 días



Nota. En la figura 127 se aprecia el gráfico de residuos para la resistencia a la compresión a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 3 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.3. Resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia f'_c 210 kgf/cm²

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.084 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. (NTP 339.084, 2022)

Tabla 129

Resistencia a la tracción en concreto f'_c 210 kgf/cm² – vaciado 1 a 0%

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 1	210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.08	4317	78.85	8027	25
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.04	20.11	4412	79.17	8246	26
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.02	4218	78.85	5809	18
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.08	20.08	4287	79.80	8611	27
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.07	4295	78.85	5249	17
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.05	20.04	4312	79.33	8353	26
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.06	20.08	4108	79.49	8520	27
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.03	20.02	4245	79.01	8668	27
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.07	20.04	4215	79.64	5944	19
	210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.07	20.07	4362	79.64	7347	23
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.08	4297	79.80	7020	22
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.07	20.05	4319	79.64	6561	21
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4282	79.80	6501	20
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4289	79.80	6285	20
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4323	79.80	7570	24
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4330	79.80	8506	27

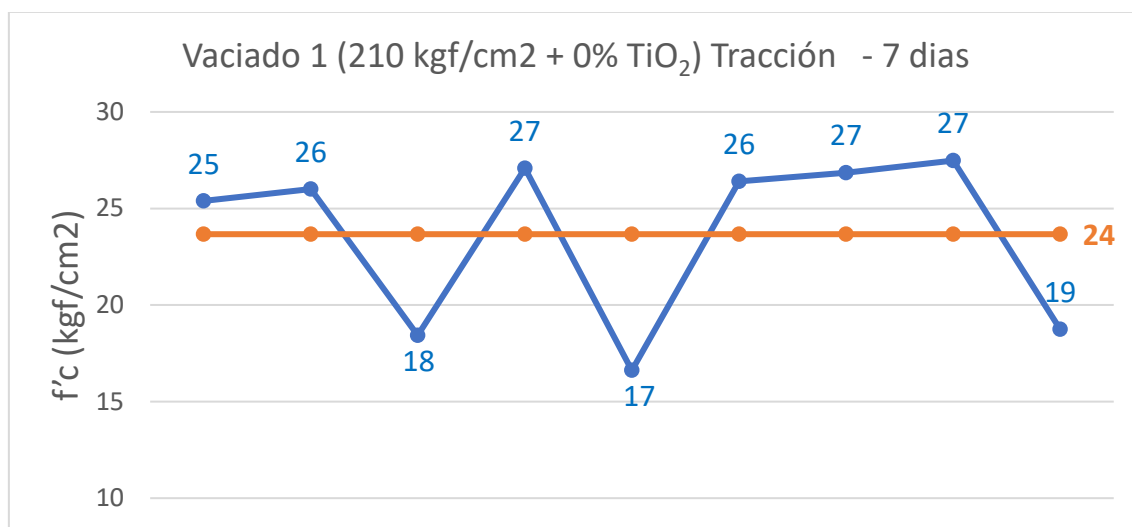
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.05	20.04	4227	79.33	6867	22
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.04	20.05	4321	79.17	6088	19
210 kgf/cm ²	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4294	78.85	8348	26
+ 0% TiO ₂	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.04	20.07	4327	79.17	6978	22
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.01	20.04	4359	78.70	9229	29
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	6599	21
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	6864	22
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	6392	20
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	7172	23
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	10700	34
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.03	20.05	4392	79.01	6293	20

Nota. En la tabla 129 se aprecia los resultados en cuanto a la resistencia a la tracción en concreto f'_c 210 kgf/cm² – vaciado 1 a 0%

A los 7 días, la resistencia promedio a la tracción oscila entre 18 kgf/cm² y 27 kgf/cm². A 14 días, los valores se encuentran en un rango de 19 kgf/cm² a 27 kgf/cm², lo que evidencia un incremento progresivo de la resistencia en comparación con los 7 días. A 28 días, la resistencia promedio varía entre 20 kgf/cm² y 34 kgf/cm². El concreto sin TiO₂ presenta un buen desarrollo de resistencia y cumple con la resistencia de diseño a los 28 días. La resistencia a 28 días supera ampliamente el valor especificado (280 kgf/cm²), alcanzando hasta 34 kgf/cm², lo que indica una mezcla con una excelente proporción de materiales. La variabilidad de resultados sugiere que se debe verificar la uniformidad en la fabricación y curado de los especímenes para garantizar una mayor consistencia en los valores de resistencia.

Figura 128

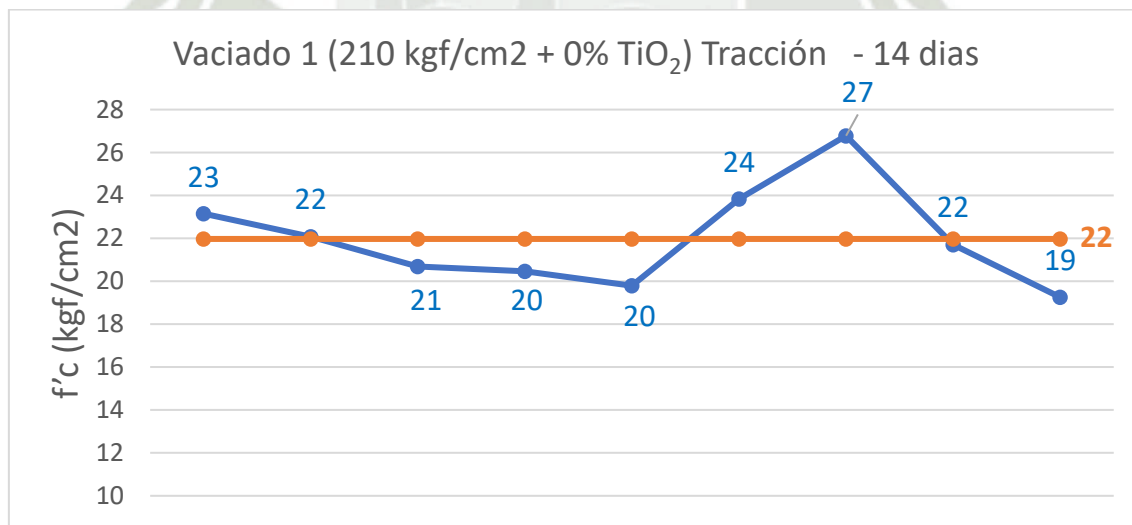
Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 128 se aprecia el Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$.

Figura 129

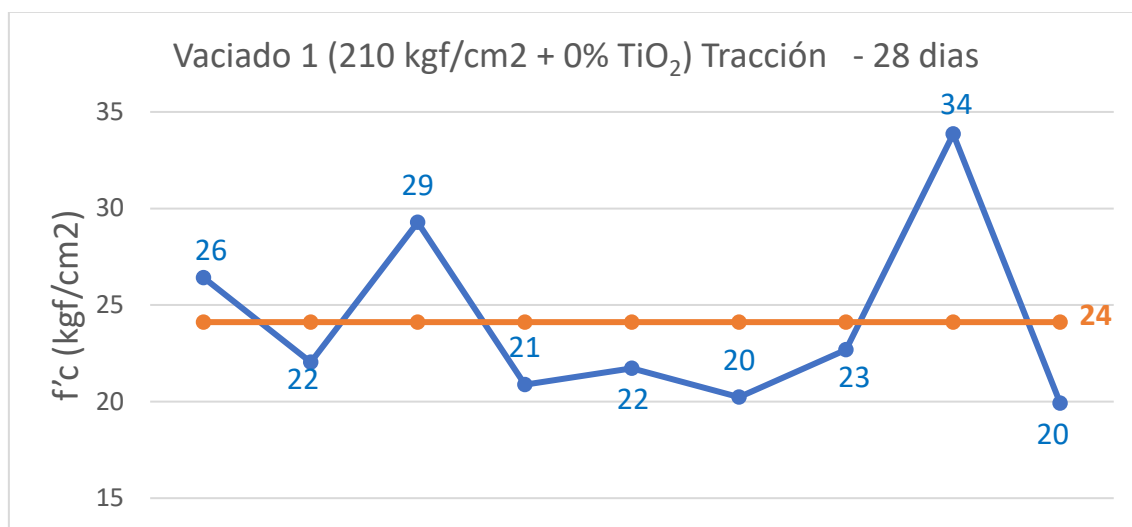
Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 129 se aprecia el Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$.

Figura 130

Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 129 se aprecia el Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$.

Tabla 130

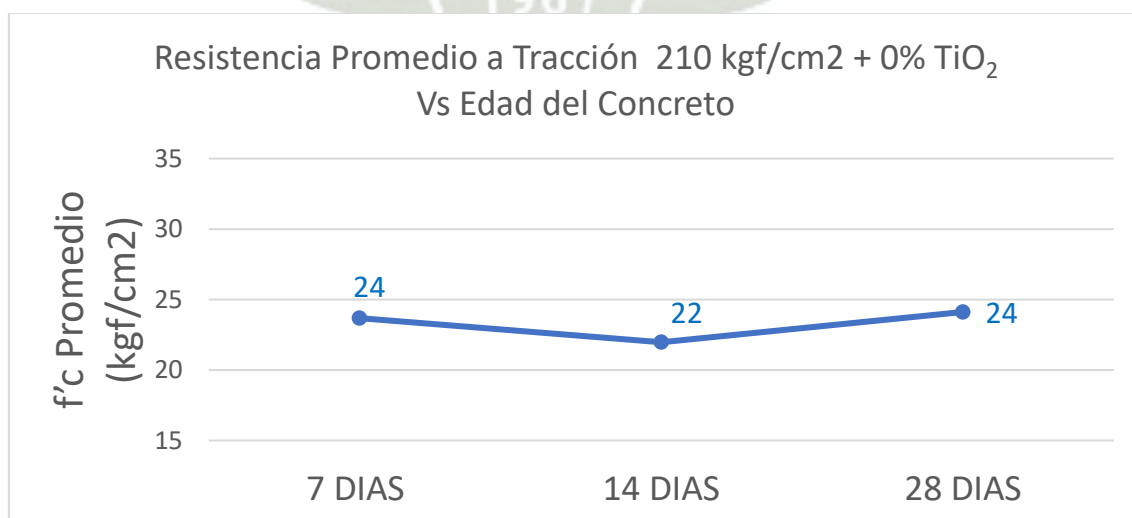
Promedio por edad de probetas al 0%

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
210 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm ²)	24	22	24

Nota. En la tabla 130 se aprecia el Promedio por edad de probetas al 0%.

Figura 131

Resistencia promedio a 0%



Nota. En la figura 131 se aprecia la resistencia promedio a 0%

Tabla 131

Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 210 kgf/cm² vaciado 2 a 3%

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 2	210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.07	20.17	4296	79.64	7495	23
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.09	20.12	4332	79.96	6474	20
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.14	20.06	4284	80.75	6922	22
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.12	20.07	4272	80.44	6973	22
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.1	20.08	4348	80.12	6691	21
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.08	20.09	4321	79.80	7442	23
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.06	20.1	4371	79.49	4768	15
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.07	20.1	4263	79.64	6885	22
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.09	20.09	4263	79.96	5246	16
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.05	20.01	4362	79.33	9938	31
	210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.04	20.08	4297	79.17	9560	30
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.02	20.06	4319	78.85	7108	23
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.01	20.08	4282	78.70	8352	26
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.03	20.01	4289	79.01	7133	23
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.02	20.05	4323	78.85	6623	21
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.04	20.17	4330	79.17	6967	22
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.06	20.12	4227	79.49	9609	30
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.07	20.09	4321	79.64	7815	25
	210 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.07	20.05	4395	79.64	10134	32
		26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	7273	23

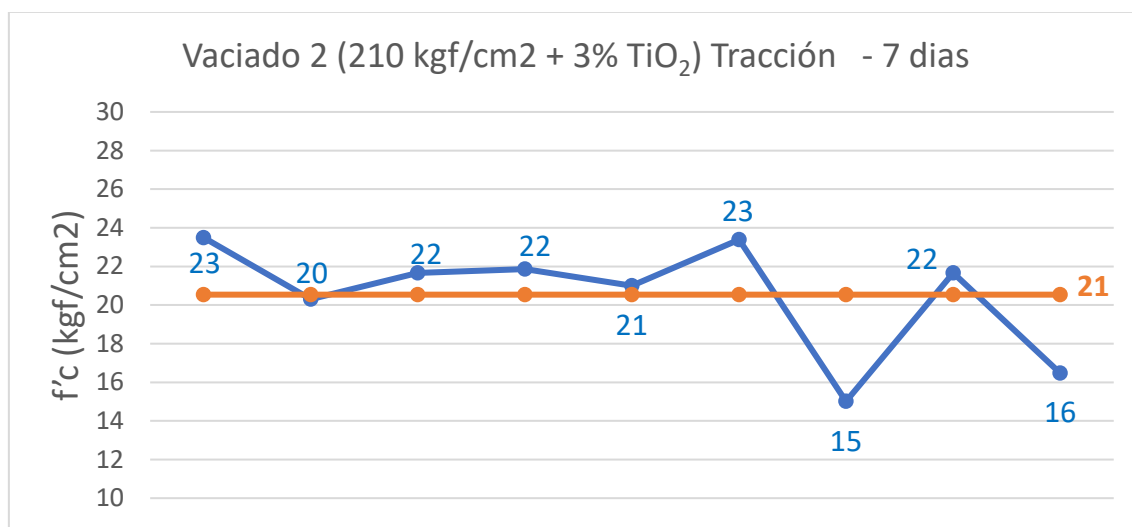
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	9723	31
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	11761	37
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	10011	32
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.05	20.04	4314	79.33	7824	25
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.04	20.05	4357	79.17	8722	28
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.02	20.08	4351	78.85	7831	25
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.04	20.07	4365	79.17	7731	24

Nota. En la tabla 131 se aprecia la resistencia a la tracción en concreto f'_c 210 kgf/cm² vaciado 2 a 3%.

A los 7 días, la resistencia del concreto con 3% de TiO₂ es menor que la del concreto sin adición. Esto sugiere que la incorporación de TiO₂ retrasa el desarrollo inicial de resistencia. A los 14 días, la mezcla con TiO₂ supera en un 22.7% a la mezcla sin TiO₂, lo que indica que el TiO₂ mejora la resistencia a medida que el concreto continúa hidratándose. A los 28 días, la mezcla con TiO₂ sigue mostrando mayor resistencia (18.7%) en comparación con la mezcla sin adición. El TiO₂ reduce la resistencia inicial (7 días) pero mejora significativamente la resistencia a los 28 días. La mezcla con 3% TiO₂ tuvo un incremento de resistencia del 22.7% a los 14 días y del 18.7% a los 28 días. El TiO₂ puede ser beneficioso para aplicaciones donde se requiera mayor resistencia a largo plazo, pero puede no ser ideal en estructuras donde la resistencia temprana sea crucial. Se recomienda evaluar la trabajabilidad y posibles efectos en la durabilidad antes de su implementación en proyectos reales.

Figura 132

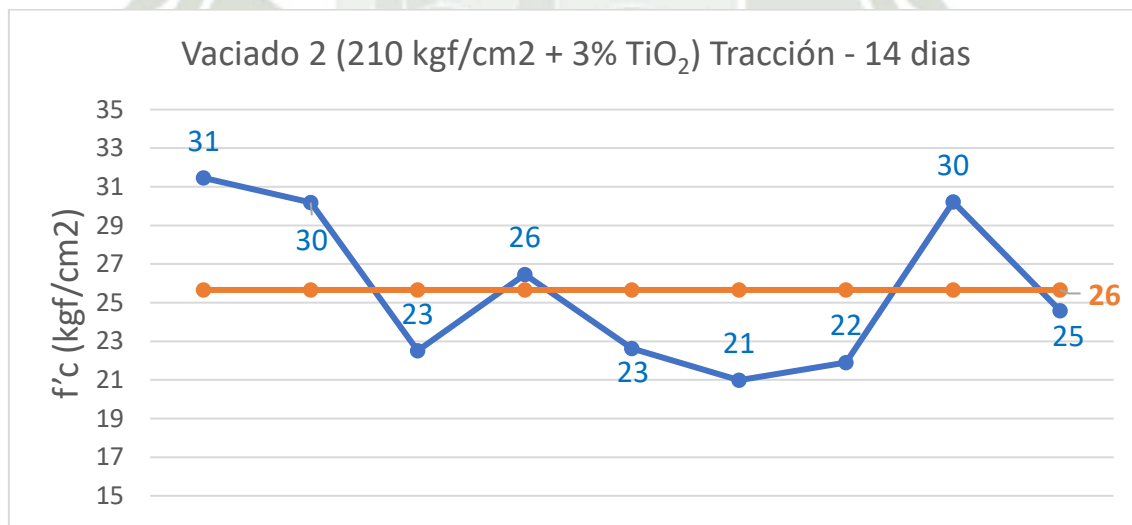
Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 132 se aprecia el gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$.

Figura 133

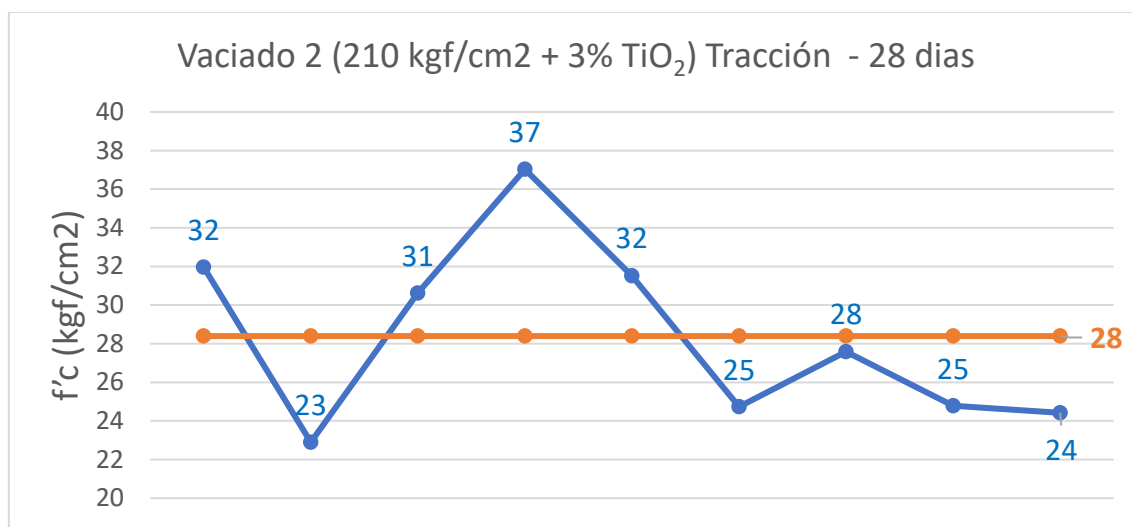
Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 133 se aprecia el gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$.

Figura 134

Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 134 se aprecia el gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$.

Tabla 132

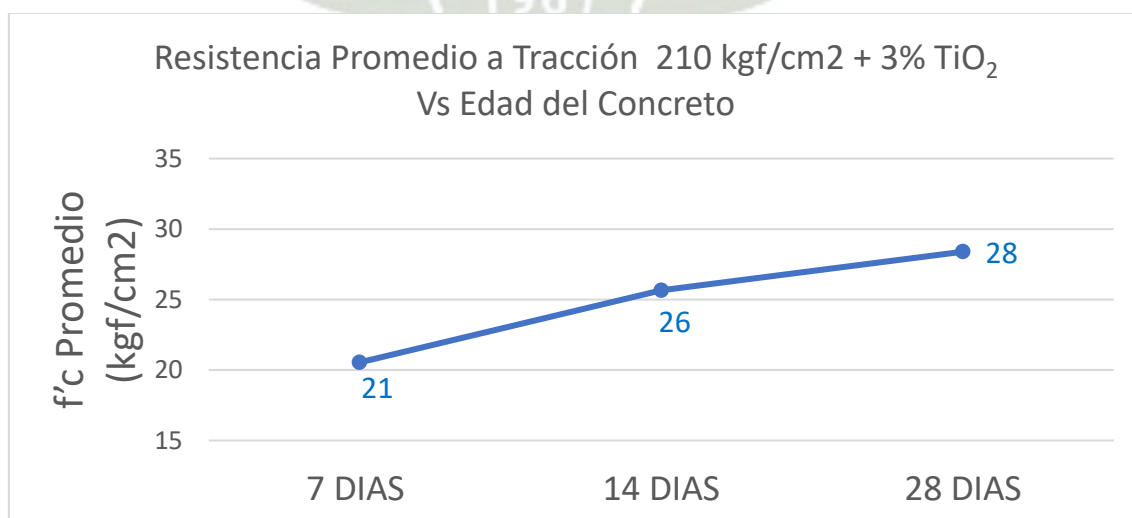
Promedio por edad de probetas al 3%

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
$210 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2$	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm²)	21	26	28

Nota. En la tabla 132 se aprecia el promedio por edad de probetas al 3%

Figura 135

Resistencia promedio a 3%



Nota. En la figura 135 se aprecia la resistencia promedio a 3%

Tabla 133

Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 210 kgf/cm² vaciado 3 a 6%

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 3	210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.07	20.13	4384	79.64	7798	24
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.09	20.17	4293	79.96	6370	20
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.02	20.1	4310	78.85	7385	23
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.03	20.04	4455	79.01	6830	22
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.01	20.08	4281	78.70	6814	22
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.03	20.05	4345	79.01	5177	16
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.13	4339	79.33	5488	17
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.11	4393	79.33	7023	22
	210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.06	20.06	4362	79.49	5945	19
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.07	20.1	4210	79.64	6837	22
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.09	20.09	4257	79.96	7307	23
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.08	20.04	4367	79.80	9163	29
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.07	20.05	4324	79.64	6809	21
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.06	20.06	4281	79.49	6940	22
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.05	20.07	4238	79.33	5684	18
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.04	20.08	4195	79.17	6332	20
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.02	20.05	4249	78.85	7834	25
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.04	20.17	4175	79.17	8476	27
	210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.08	20.06	4269	79.80	6063	19
		28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.05	20.04	4259	79.33	5768	18

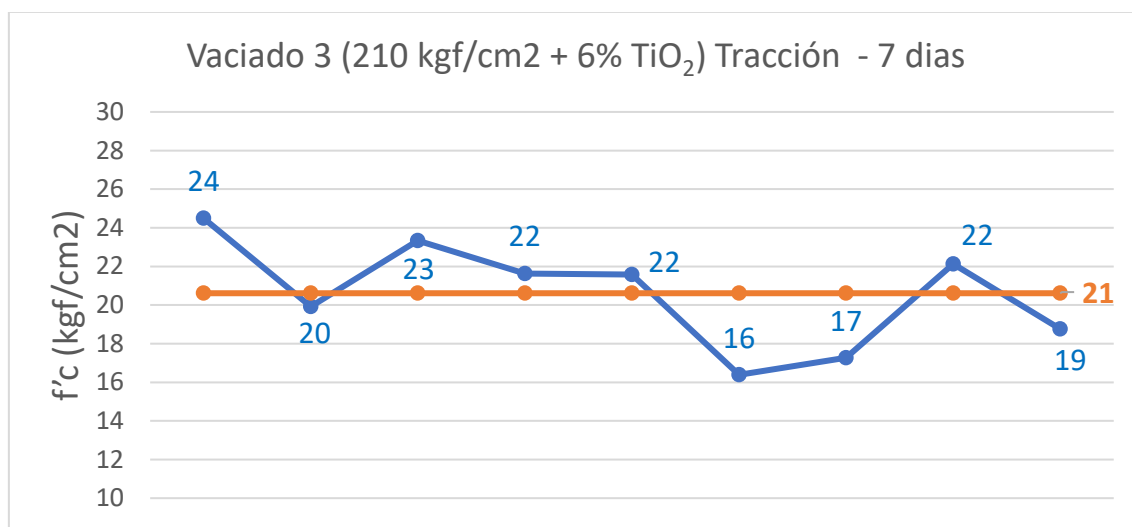
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.1	20.04	4222	80.12	9817	31
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.08	20.06	4252	79.80	6884	22
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.06	20.02	4282	79.49	5688	18
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.05	4312	79.17	9017	29
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.02	20.08	4342	78.85	6688	21
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.07	4378	79.17	9038	29
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.06	20.04	4299	79.49	7573	24

Nota. En la tabla 133 se aprecia la resistencia a la tracción en concreto f'_c 210 kgf/cm² vaciado 3 a 6%.

A los 7 días, la resistencia promedio es 21 kgf/cm², con valores que varían entre 16 y 24 kgf/cm². A los 14 días, la resistencia promedio es 22.9 kgf/cm², con valores entre 18 y 29 kgf/cm². A los 28 días, la resistencia promedio es 24.4 kgf/cm², con valores entre 18 y 31 kgf/cm². Se observa un incremento gradual de la resistencia con el tiempo, como es esperable en el fraguado del concreto. Sin embargo, algunos valores en 7 y 14 días son bajos, lo que podría deberse a una variabilidad en la compactación, curado o distribución del TiO₂ en la mezcla. La resistencia a los 7 días es similar en ambos diseños. A los 14 días, el concreto con 3% de TiO₂ presenta valores más estables y un poco más altos. A los 28 días, el concreto con 3% de TiO₂ tiene valores máximos de hasta 37 kgf/cm², mientras que con 6% de TiO₂ solo llega a 31 kgf/cm².

Figura 136

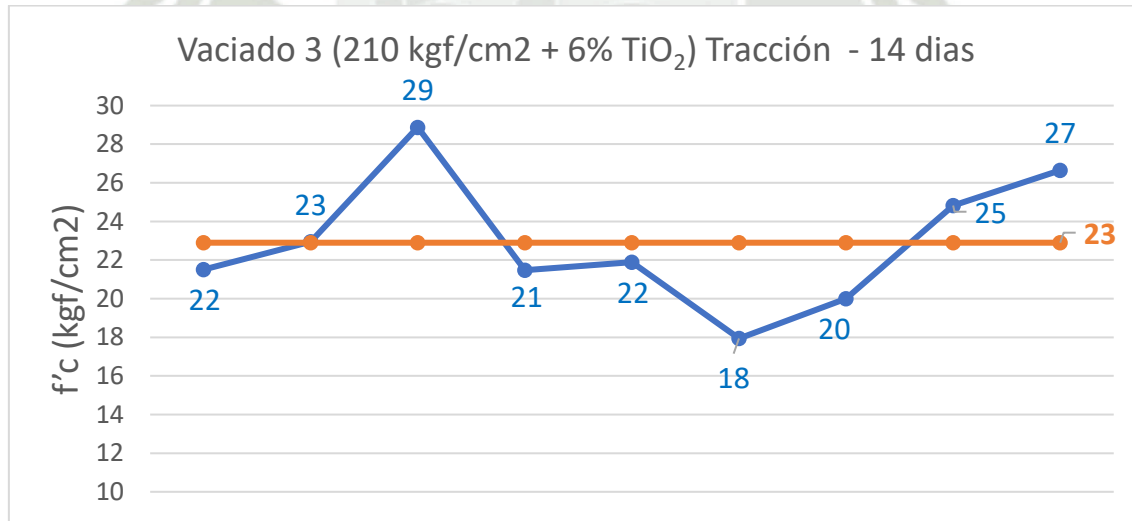
Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 136 se aprecia el gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 137

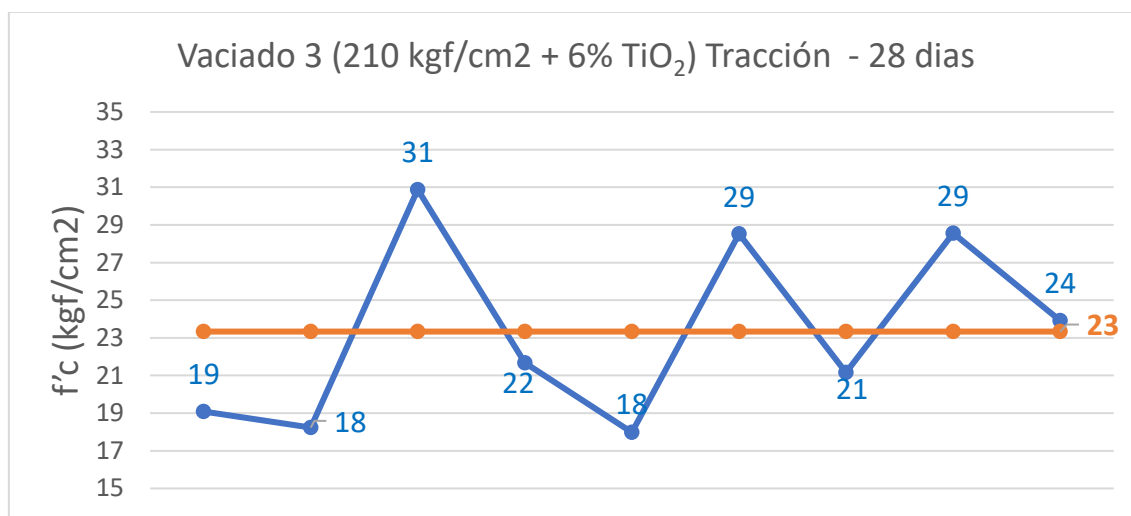
Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 136 se aprecia el gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 138

Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 136 se aprecia el gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$

Tabla 134

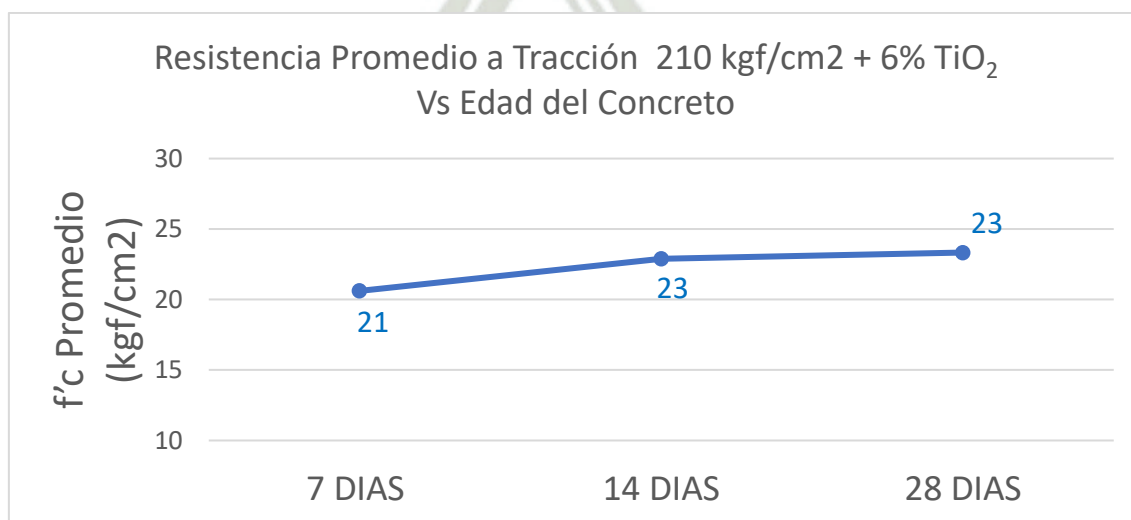
Promedio por edad de probetas al 6%

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
210 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm ²)	21	23	23

Nota. En la tabla 134 se aprecia el Promedio por edad de probetas al 6%.

Figura 139

Resistencia promedio a 6%



Nota. En la figura 139 se aprecia el gráfico de resistencia promedio a 6%

Tabla 135

Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 210 kgf/cm² vaciado 4 a 9%

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 4	210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.07	20.13	4208	79.64	6532	21
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.04	20.08	4213	79.17	9075	29
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.04	20.04	4491	79.17	8080	26
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.08	20.06	4422	79.80	9392	30
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.02	20.03	4353	78.85	8521	27
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.05	20.07	4284	79.33	8983	28
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.08	20.11	4215	79.80	8536	27
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.03	20.14	4228	79.01	9039	28
	210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.05	20.04	4259	79.33	6729	21
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.04	20.11	4258	79.17	7509	24
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.02	20.02	4275	78.85	8400	27
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.26	20.11	4201	82.68	6990	22
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.2	20.1	4210	81.71	7620	24
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.14	20.09	4219	80.75	7326	23
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.08	20.08	4228	79.80	7107	22
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.02	20.07	4237	78.85	7361	23
	210 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.07	20.04	4244	79.64	7509	24
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.07	20.07	4232	79.64	9363	29
		3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.06	20.12	4248	79.49	9939	31
		3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.07	20.09	4264	79.64	8219	26

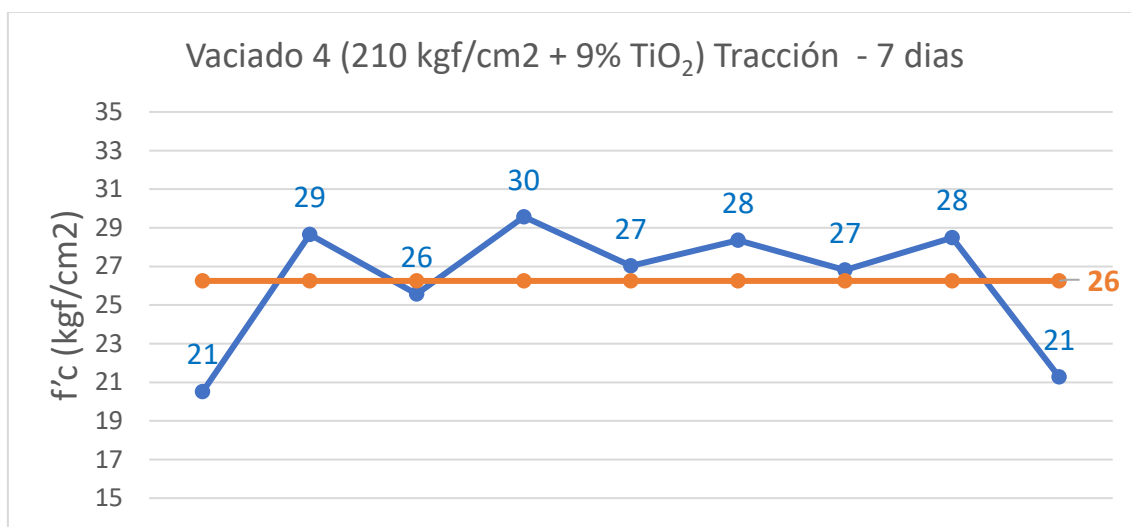
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.04	20.02	4051	79.17	7118	23
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.05	20.03	4114	79.33	8995	28
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.06	20.04	4177	79.49	11153	35
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.07	20.05	4240	79.64	7981	25
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.08	20.06	4303	79.80	8594	27
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.05	20.04	4335	79.33	7969	25
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.04	20.05	4245	79.17	6526	21

Nota. En la tabla 133 se aprecia la resistencia a la tracción en concreto f'_c 210 kgf/cm² vaciado 4 a 9%.

A 7 días, la resistencia del concreto con 9% TiO₂ es significativamente mayor que la del 6%, lo que sugiere una mejora en el desarrollo temprano de la resistencia. A 14 días, ambas mezclas muestran un incremento en la resistencia, pero el concreto con 9% TiO₂ mantiene valores superiores. A 28 días, la mezcla con 9% TiO₂ mantiene un crecimiento progresivo y alcanza el valor más alto (27.89 kgf/cm²), lo que sugiere un mejor desempeño mecánico a largo plazo. El uso del 9% de TiO₂ mejora la resistencia mecánica del concreto en todas las edades de curado, lo que puede traducirse en una mayor durabilidad y mejor desempeño estructural. Sin embargo, es importante evaluar otros factores como trabajabilidad, costo y efectos a largo plazo antes de recomendar esta dosificación en aplicaciones estructurales.

Figura 140

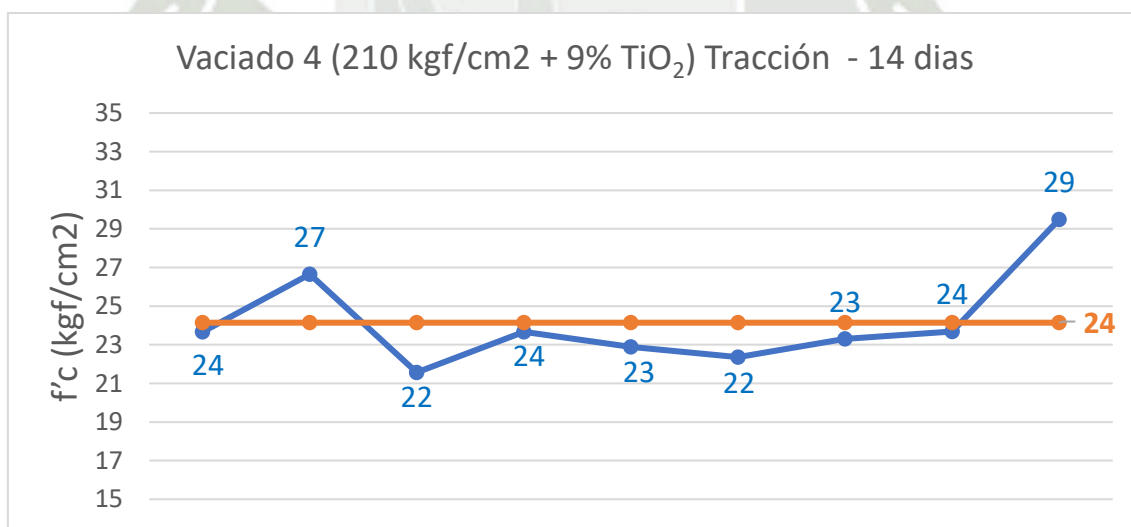
Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 140 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$.

Figura 141

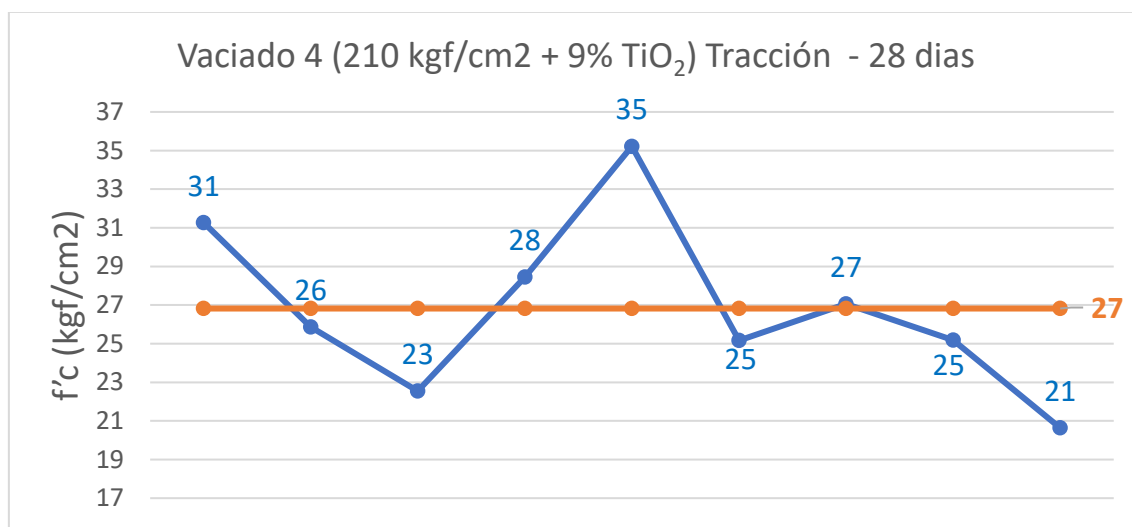
Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 141 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 142

Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 142 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$

Tabla 136

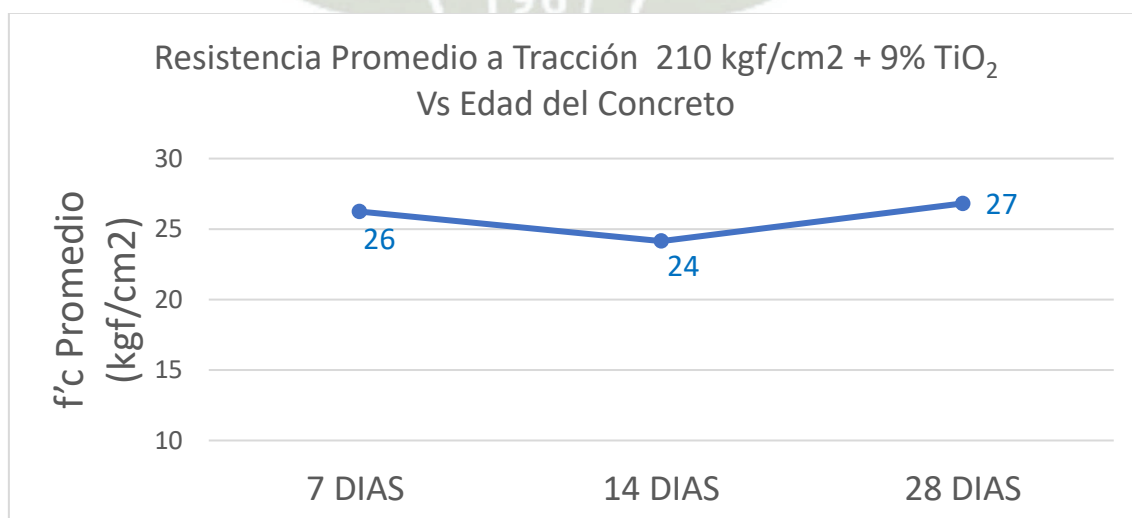
Promedio por edad de probetas al 9%

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
$210 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2$	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm²)	26	24	27

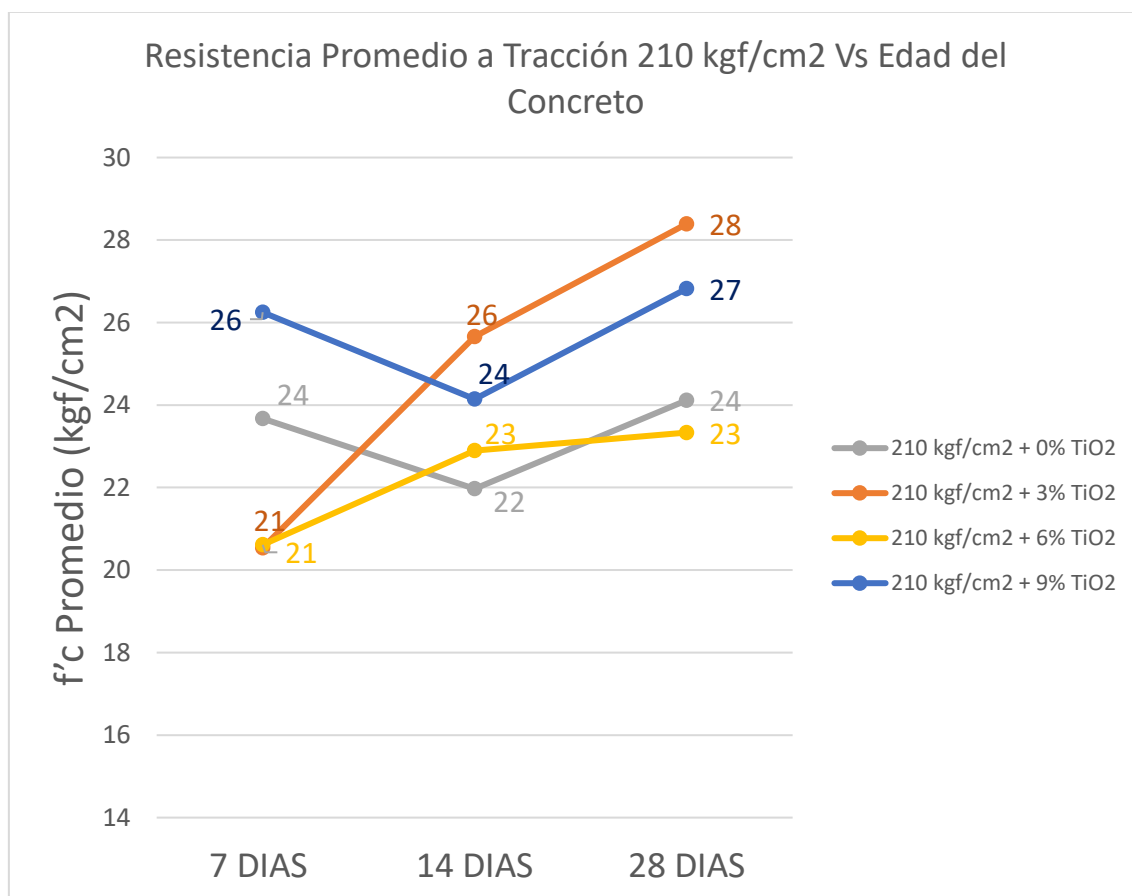
Nota. En la tabla 136 se aprecia el Promedio por edad de probetas al 9%

Figura 143

Resistencia promedio a 9%



Nota. En la figura 143 se aprecia el gráfico de la resistencia promedio a 9%.

Figura 144
Resistencia a la tracción promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO₂


Nota. En la figura 144 se aprecia el gráfico de Resistencia a la tracción promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO₂.

5.3.3.1. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable de la resistencia a la tracción de los especímenes a la edad de 7 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO₂. Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

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

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 137

Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 137 se aprecia la Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días. Tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 138

Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	203.0	67.66	5.90	0.003
Error	32	367.0	11.47		
Total	35	570.0			

Nota. En la tabla 138 se aprecia el análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días, tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 139

Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

S	R- cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
3.38658	35.61%	29.57%	18.51%

Nota. En la tabla 139 se aprecia el Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días, tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 140

Medias resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	23.67	4.38	(21.37; 25.97)
3% TiO ₂	9	20.539	2.925	(18.240; 22.839)
6% TiO ₂	9	20.612	2.732	(18.313; 22.911)
9% TiO ₂	9	26.25	3.27	(23.95; 28.55)

Nota. En la tabla se evidencia el resultado obtenido para Desv.Est. agrupada = 3.38658, tomado de Minitab Statistical Software 22

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

Tabla 141

Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

Factor	N	Media	Agrupación
9% TiO ₂	9	26.25	A
0% TiO ₂	9	23.67	A B
6% TiO ₂	9	20.612	B
3% TiO ₂	9	20.539	B

Nota. En la tabla 141 se aprecia los resultados para las Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 142

Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	3%	3.111	1.578	.220	-1.16	7.39
	6%	3.000	1.578	.248	-1.28	7.28
	9%	-2.778	1.578	.311	-7.05	1.50
3%	0%	-3.111	1.578	.220	-7.39	1.16
	6%	-.111	1.578	1.000	-4.39	4.16
	9%	-5.889*	1.578	.004	-10.16	-1.61
6%	0%	-3.000	1.578	.248	-7.28	1.28
	3%	.111	1.578	1.000	-4.16	4.39
	9%	-5.778*	1.578	.005	-10.05	-1.50
9%	0%	2.778	1.578	.311	-1.50	7.05
	3%	5.889*	1.578	.004	1.61	10.16
	6%	5.778*	1.578	.005	1.50	10.05

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

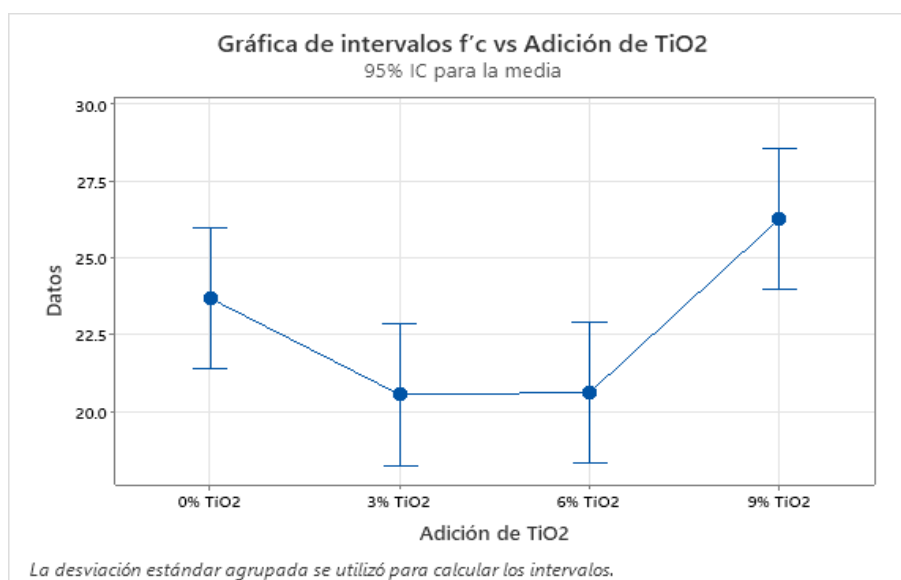
Nota. En la tabla 142 se aprecia las comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.003, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la tracción difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 0% y 9% de TiO_2 fueron similares, mientras que las adiciones de 0%, 3% y 6% de TiO_2 fueron similares.

Figura 145

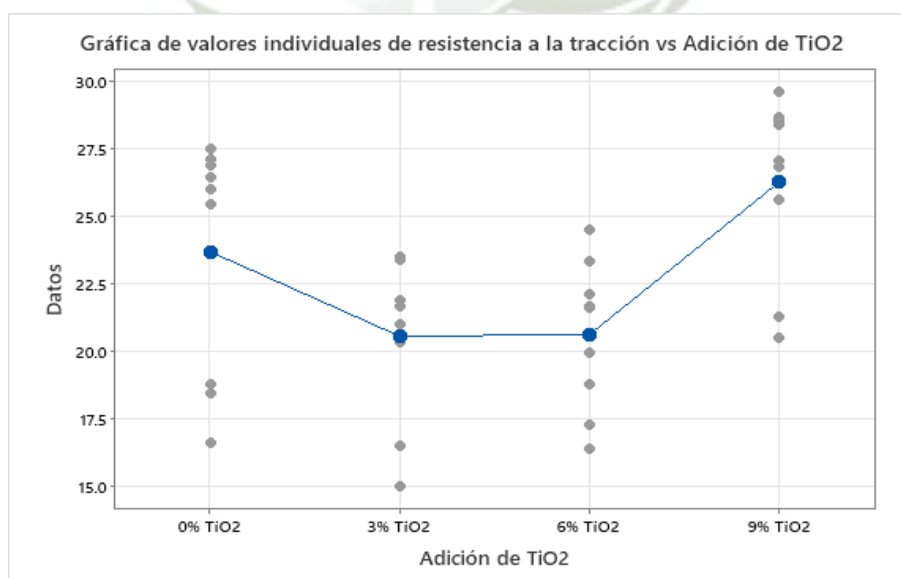
Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 7 días



Nota. En la figura 145 se aprecia el gráfico de intervalos resistencia a la tracción a los 7 días, imagen tomada de IBM SPSS Statistics

Figura 146

Valores individuales de resistencia a la tracción a los 7 días

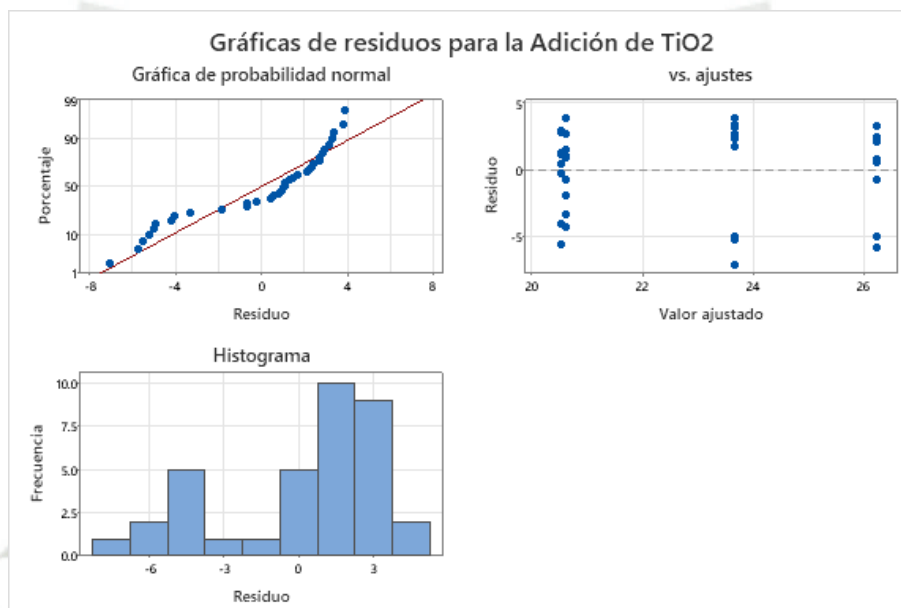


Nota. En la figura 146 se aprecia el gráfico de valores inválidos de resistencia a la tracción a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la tracción a los 7 días diferente, la adición de 3% de TiO_2 tuvo la menor resistencia a la tracción mientras que la adición de 9% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia a la tracción. Se aprecia que mientras se aumenta la adición de TiO_2 la resistencia a la tracción aumenta.

Figura 147

Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 7 días



Nota. En la figura 147 se aprecia el gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 4 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.3.2. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la tracción de los especímenes a la edad de 14 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la diferencia la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO₂. Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

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

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 143

Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

En la tabla 143 se aprecia los valores de información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 144

Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	69.00	23.001	2.34	0.092
Error	32	315.14	9.848		
Total	35	384.15			

Nota. En la tabla 144 se aprecia el análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 145

Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
3.13819	17.96%	10.27%	0.00%

Nota. En la tabla 145 se aprecia el Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 146

Medias resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	9	21.971	2.348
3% TiO ₂	9	9	25.66	4.06
6% TiO ₂	9	9	22.90	3.38
9% TiO ₂	9	9	24.144	2.442

Nota. En la tabla 146 se aprecia el resultado de Desv.Est. agrupada = 3.38658

Tabla 147

Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

Factor	N	Media	Agrupación
3% TiO ₂	9	25.66	A
9% TiO ₂	9	24.144	A
6% TiO ₂	9	22.90	A
0% TiO ₂	9	21.971	A

Nota. En la tabla 147 se aprecia que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Tabla 148

Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-3.667	1.452	.075	-7.60	.27
	6%	-1.000	1.452	.901	-4.93	2.93
	9%	-2.222	1.452	.432	-6.16	1.71
3%	0%	3.667	1.452	.075	-.27	7.60
	6%	2.667	1.452	.275	-1.27	6.60
	9%	1.444	1.452	.753	-2.49	5.38
6%	0%	1.000	1.452	.901	-2.93	4.93
	3%	-2.667	1.452	.275	-6.60	1.27
	9%	-1.222	1.452	.834	-5.16	2.71
9%	0%	2.222	1.452	.432	-1.71	6.16
	3%	-1.444	1.452	.753	-5.38	2.49
	6%	1.222	1.452	.834	-2.71	5.16

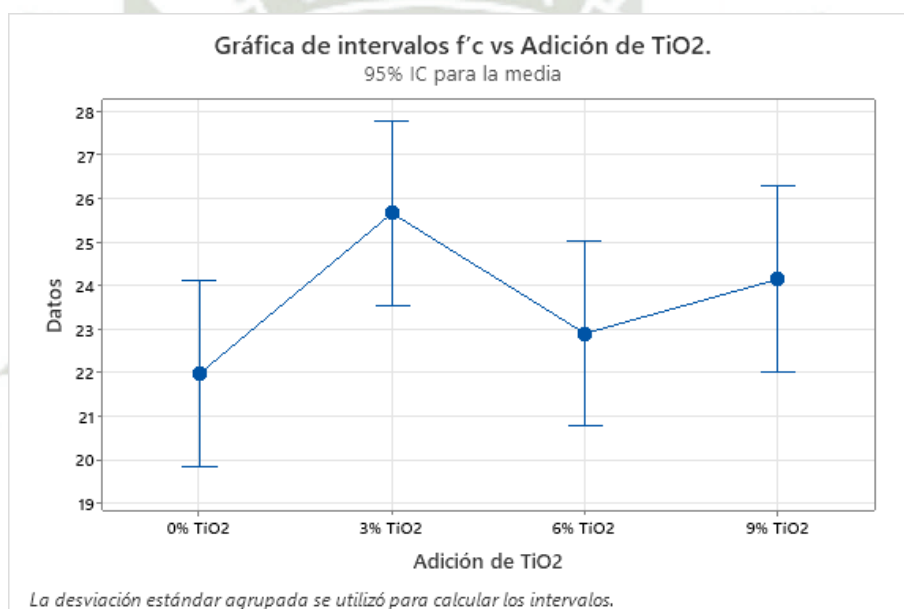
Nota. En la tabla 148 se aprecia el resultado de Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.092, al ser el valor de $p > 0.05$, por lo que se acepta la hipótesis nula “Todas las medias son iguales”.

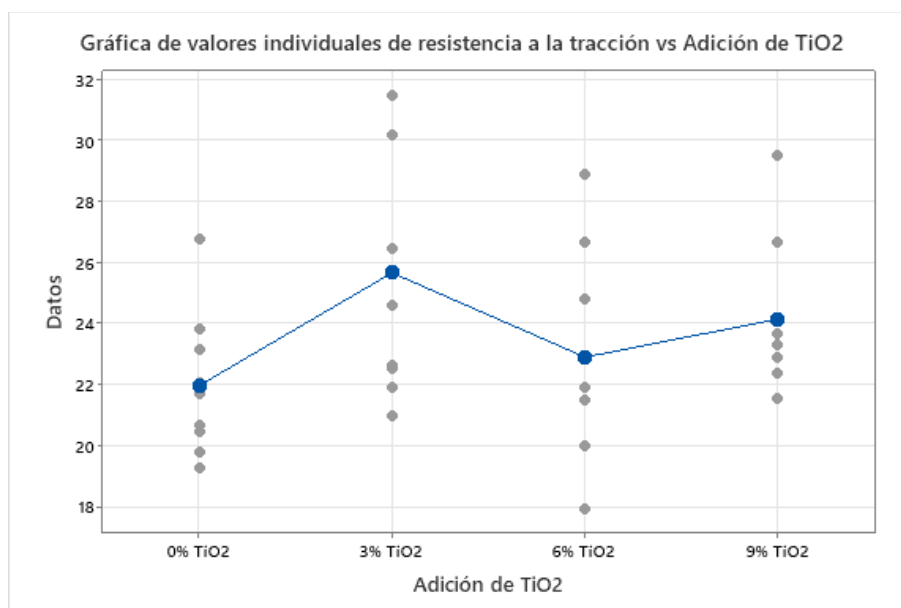
En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 0%, 3%, 6% y 9% de TiO_2 fueron similares.

Figura 148

Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 14 días

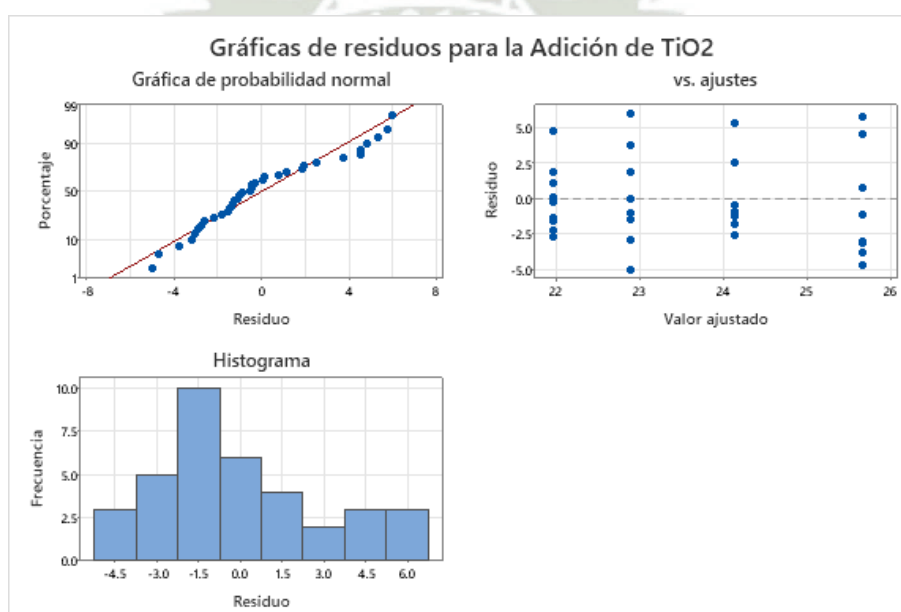


Nota. En la figura 148 se aprecia el Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

Figura 149
Valores individuales de resistencia a la tracción a los 14 días


Noa. En la figura 149 se aprecia el gráfico de Valores individuales de resistencia a la tracción a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la tracción a los 14 días diferente, la adición de 0% de TiO₂ tuvo la menor resistencia a la tracción mientras que la adición de 3% de TiO₂ tuvo la mayor resistencia a la tracción.

Figura 150
Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 14 días


Nota. En la figura 150 se aprecia el Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.3.3. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia f'_c 210 kgf/cm² a los 28 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la tracción de los especímenes a la edad de 28 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la diferencia la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO₂. Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 149

Información del factor resistencia a la tracción f'_c 210 kgf/cm² a los 28 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 149 se aprecia los valores para información del factor resistencia a la tracción f'_c 210 kgf/cm² a los 28 días, datos tomados de Minitab Statistical Software 22

Tabla 150
Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	149.5	49.83	2.26	0.100
Error	32	704.5	22.02		
Total	35	854.0			

Nota. En la tabla 150 se aprecia el Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 151
Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

S	R- cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
4.69203	17.51%	9.77%	0.00%

Nota en la tabla 151 se aprecia el resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 152
Medias resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	24.12	4.77	(20.93; 27.30)
3% TiO ₂	9	28.39	4.68	(25.21; 31.58)
6% TiO ₂	9	23.33	4.89	(20.15; 26.52)
9% TiO ₂	9	26.82	4.41	(23.63; 30.01)

Nota. En la tabla 152 se aprecia que la Desv.Est. agrupada = 4.69203, tomado de Minitab Statistical Software 22

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

Tabla 153
Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

Factor	N	Media	Agrupación
3% TiO ₂	9	28.39	A
9% TiO ₂	9	26.82	A
0% TiO ₂	9	24.12	A
6% TiO ₂	9	23.33	A

Nota. En la tabla 153 se aprecia que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 154
Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	3%	-4.444	2.212	.206	-10.44	1.55
	6%	.667	2.212	.990	-5.33	6.66
	9%	-2.667	2.212	.628	-8.66	3.33
3%	0%	4.444	2.212	.206	-1.55	10.44
	6%	5.111	2.212	.117	-.88	11.11
	9%	1.778	2.212	.852	-4.22	7.77
6%	0%	-.667	2.212	.990	-6.66	5.33
	3%	-5.111	2.212	.117	-11.11	.88
	9%	-3.333	2.212	.445	-9.33	2.66
9%	0%	2.667	2.212	.628	-3.33	8.66
	3%	-1.778	2.212	.852	-7.77	4.22
	6%	3.333	2.212	.445	-2.66	9.33

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

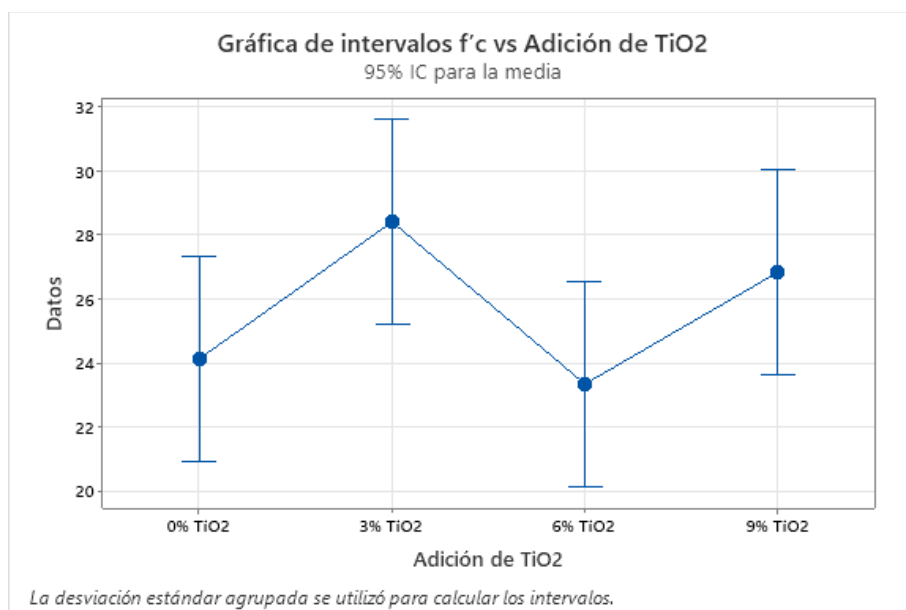
Nota. En la tabla 154 se aprecia las Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 210 kgf/cm² a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.100, al ser el valor de $p > 0.05$, por lo que se acepta la hipótesis nula “Todas las medias son iguales”.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 0%, 3%, 6% y 9% de TiO₂ fueron similares.

Figura 151

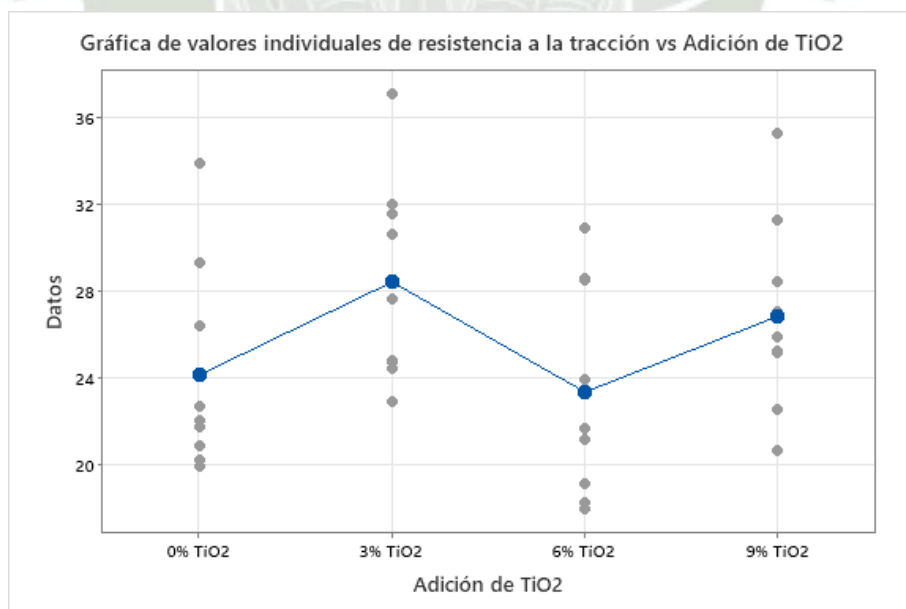
Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 28 días



Nota. En la figura 151 se aprecia el gráfico de intervalos resistencia a la tracción a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

Figura 152

Valores individuales de resistencia a la tracción a los 28 días

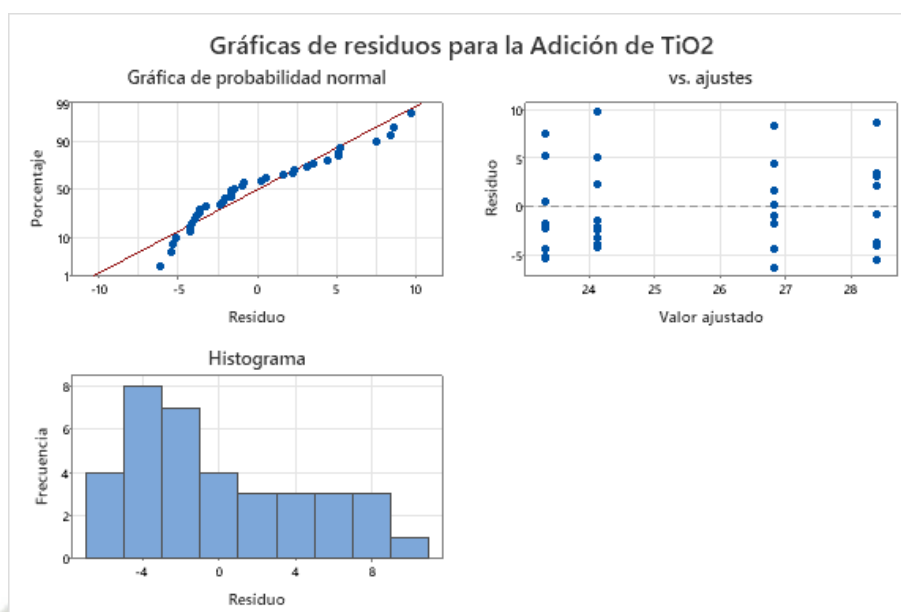


Nota. En la figura 152 se aprecia el gráfico de valores individuales de resistencia a la tracción a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la tracción a los 28 días diferente, la adición de 6% de TiO_2 tuvo la menor resistencia a la tracción mientras que la adición de 3% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia a la tracción.

Figura 153

Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 28 días



Nota. En la figura 153 se aprecia el Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 4 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.4. Resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm²

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.084 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. (NTP 339.084, 2022)

Tabla 155

Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 280 kgf/cm² vaciado 1 a 0%

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 1	280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.08	4317	78.85	8844	28
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.04	20.11	4412	79.17	8481	27
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.02	4218	78.85	7629	24
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.08	20.08	4287	79.80	6585	21
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.02	20.07	4295	78.85	7880	25
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.05	20.04	4312	79.33	7323	23
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.06	20.08	4108	79.49	10216	32
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.03	20.02	4245	79.01	11128	35
		20/11/2024	27/11/2024	7 días	10.07	20.04	4215	79.64	8851	28
	280 kgf/cm ² + 0% TiO ₂	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.07	20.07	4325	79.64	9270	29
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.08	4321	79.80	7202	23
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.07	20.05	4308	79.64	9555	30
		20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4319	79.80	7598	24

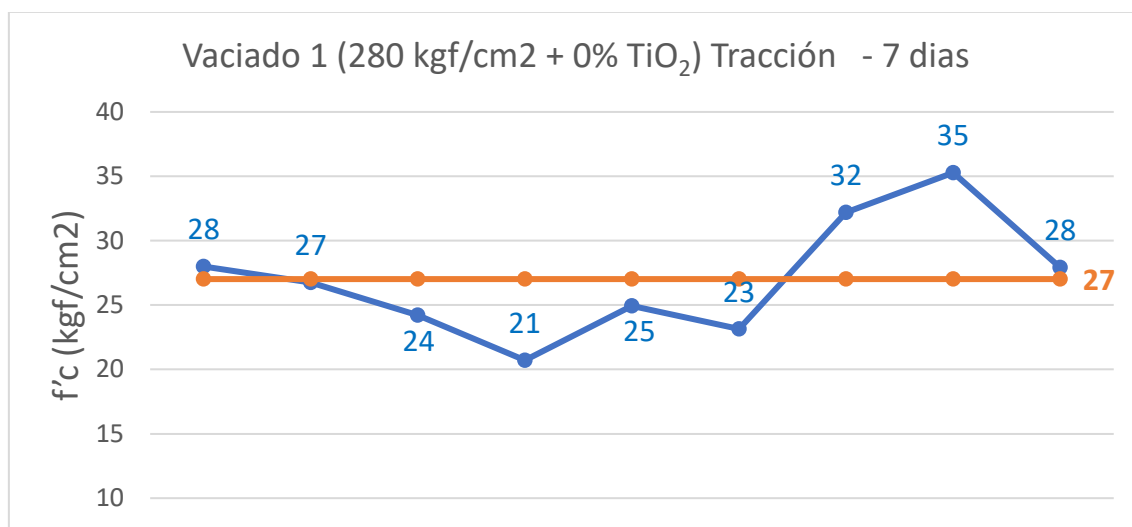
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4319	79.80	9804	31
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4319	79.80	9566	30
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.08	20.06	4319	79.80	8690	27
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.05	20.04	4300	79.33	10123	32
	20/11/2024	4/12/2024	14 días	10.04	20.05	4251	79.17	8523	27
280 kgf/cm ²	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4294	78.85	9176	29
+ 0% TiO ₂	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.04	20.07	4327	79.17	10407	33
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.01	20.04	4359	78.70	12506	40
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	11469	36
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	9337	30
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	12942	41
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	10218	32
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.02	20.08	4362	78.85	9277	29
	20/11/2024	18/12/2024	28 días	10.03	20.05	4392	79.01	10209	32

Nota. En la tabla 155 se aprecia los resultados para la Resistencia a la tracción en concreto f'c 280 kgf/cm² vaciado 1 a 0%

A 7 días, hay un valor alto de 35 kgf/cm², lo que sugiere un posible error en la carga aplicada o una variación en la mezcla. A 28 días, se registra un máximo de 41 kgf/cm², lo que es 46% mayor que el menor valor de este grupo (29 kgf/cm²), indicando una variabilidad considerable. Ninguno de los valores promedio alcanza la resistencia de 280 kgf/cm² especificada en el diseño. A 28 días, el valor más alto es 41 kgf/cm², pero en general los valores están en un rango de 29 a 41 kgf/cm². Se observa una evolución adecuada de la resistencia con el tiempo. Existen algunos valores atípicos que sugieren una variabilidad en la mezcla o en el ensayo.

Figura 154

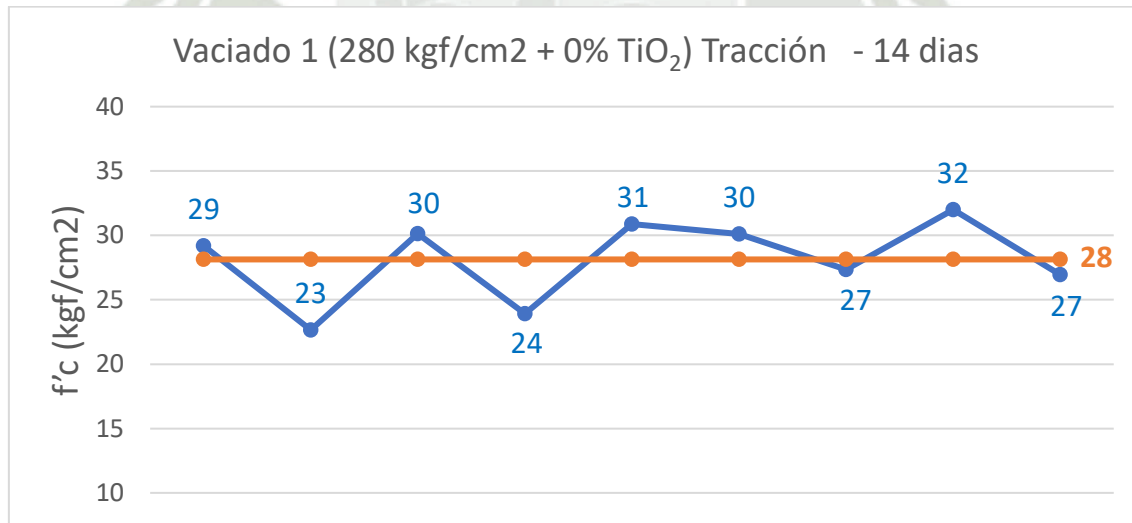
Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 154 se aprecia el gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 155

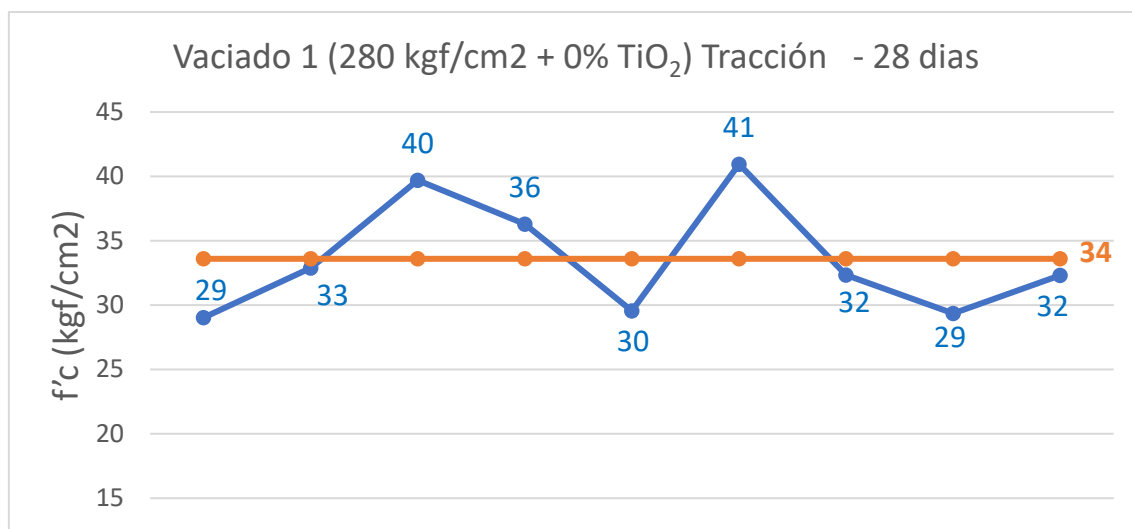
Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 155 se aprecia el gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 156.

Gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 154 se aprecia el gráfico de vaciado 1 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 0\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$

Tabla 156

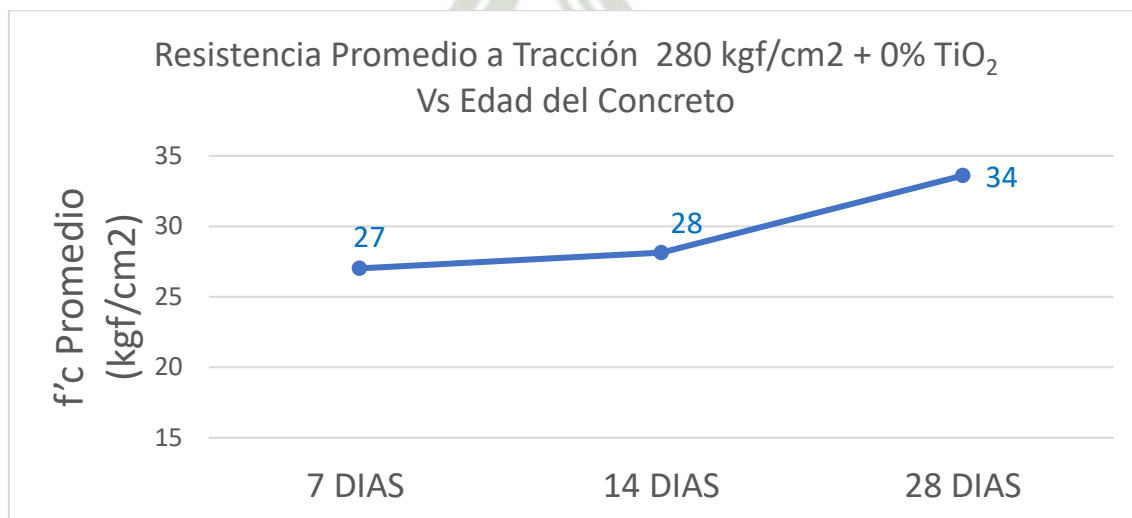
Promedio por edad de probetas al 0%

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
280 kgf/cm² + 0% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm²)	27	28	34

Nota. En la tabla 156 se aprecia el Promedio por edad de probetas al 0%

Figura 157

Resistencia promedio a 0%



Nota. En la figura 157 se aprecia el gráfico de Resistencia promedio a 0%

Tabla 157

Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 280 kgf/cm² vaciado 2 a 3%

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 2	280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.07	20.17	4310	79.64	9444	30
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.09	20.12	4330	79.96	9026	28
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.05	20.06	4381	79.33	7710	24
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.07	20.07	4358	79.64	10501	33
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.1	20.08	4458	80.12	7521	24
	280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.08	20.09	4426	79.80	7450	23
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.06	20.1	4404	79.49	7984	25
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.07	20.1	4312	79.64	7830	25
		26/11/2024	3/12/2024	7 días	10.09	20.09	4363	79.96	6734	21
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.05	20.07	4325	79.33	12093	38
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.04	20.08	4298	79.17	9780	31
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.02	20.11	4188	78.85	9531	30
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.03	20.06	4218	79.01	9973	32
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.04	20.08	4248	79.17	9405	30
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.01	20.05	4278	78.70	6918	22
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.04	20.17	4308	79.17	7767	24
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.06	20.12	4286	79.49	8197	26
		26/11/2024	10/12/2024	14 días	10.07	20.09	4274	79.64	8640	27
	280 kgf/cm ² + 3% TiO ₂	26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.07	20.05	4395	79.64	8590	27
		26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	8642	27

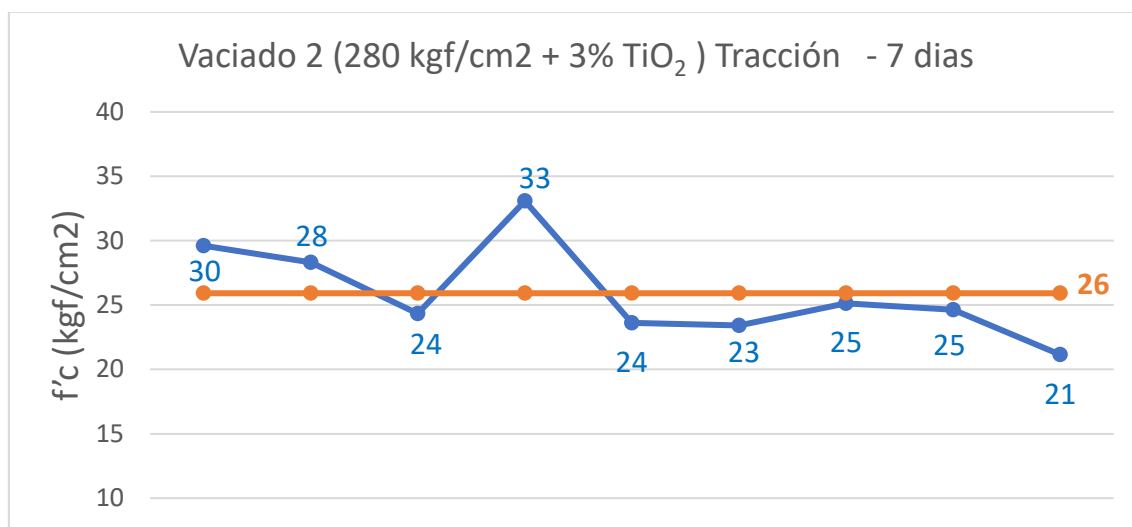
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	7958	25
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	9750	31
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.08	20.06	4290	79.80	7515	24
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.05	20.04	4314	79.33	9244	29
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.04	20.05	4357	79.17	11647	37
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.02	20.08	4351	78.85	7243	23
26/11/2024	24/12/2024	28 días	10.04	20.07	4365	79.17	6382	20

Nota. En la tabla 157 se aprecia los resultados para la Resistencia a la tracción en concreto f'_c 280 kgf/cm² vaciado 2 a 3%

A corto plazo (7 y 14 días), el TiO₂ no afecta negativamente la resistencia a la tracción. De hecho, a los 14 días, la resistencia es ligeramente mayor en el concreto con TiO₂. A los 28 días, el concreto con 3% TiO₂ tiene una resistencia menor en comparación con el concreto sin TiO₂. Esto sugiere que el dióxido de titanio puede alterar la hidratación del cemento y la formación de productos de resistencia. La variabilidad de los datos es menor en el concreto con TiO₂, lo que podría indicar que la mezcla es más homogénea o que hay una mejor distribución de partículas. Si el propósito del TiO₂ es mejorar propiedades como la autolimpieza o la reducción de contaminantes, podría seguir siendo viable, pero si se busca maximizar la resistencia, sería necesario optimizar la mezcla.

Figura 158

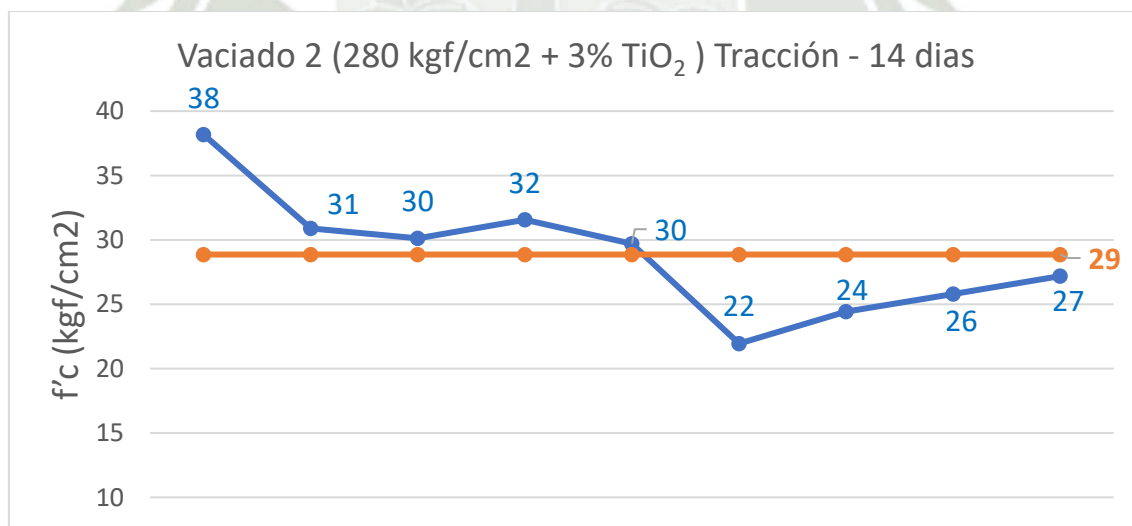
Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 158 se aprecia el Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 159

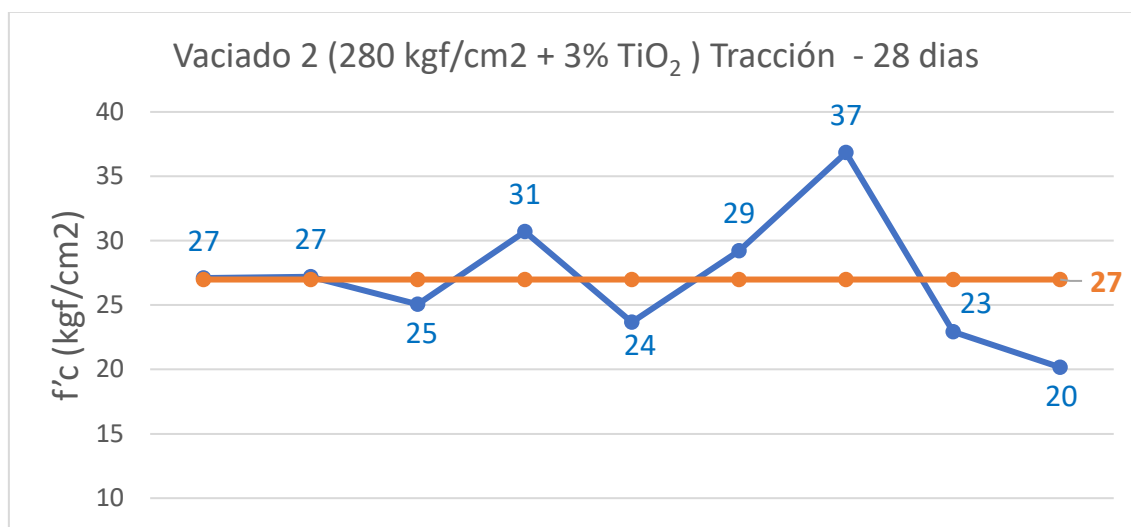
Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 158 se aprecia el Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 160

Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2$ – 28 días



Nota. En la figura 158 se aprecia el Gráfico de vaciado 2 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 3\% \text{ TiO}_2$ – 14 días

Tabla 158

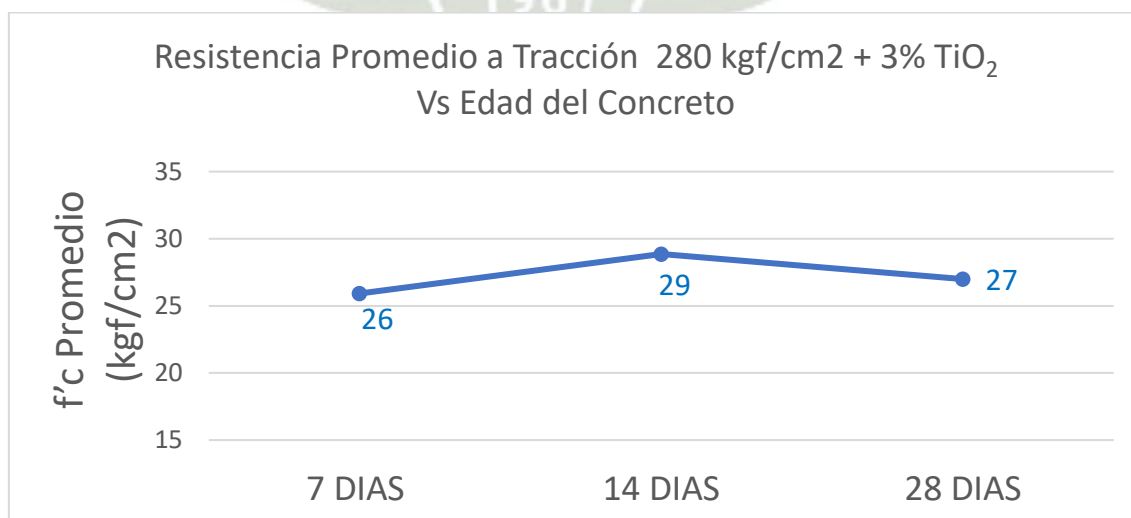
Promedio por edad de probetas al 3%

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
280 kgf/cm² + 3% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm²)	26	29	27

Nota. En la tabla 158 se aprecia el promedio por edad de probetas al 3%

Figura 161

Resistencia promedio a 3%



Nota. En la figura 161 se aprecia el gráfico de resistencia promedio a 3%

Tabla 159

Resistencia a la tracción en concreto $f'c$ 280 kgf/cm² vaciado 3 a 6%

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 3	280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.07	20.13	4240	79.64	8193	26
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.09	20.17	3797	79.96	8746	27
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.06	20.03	4163	79.49	9132	29
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.07	4171	79.33	8129	26
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.01	20.04	4179	78.70	9312	30
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.03	20.05	4187	79.01	9466	30
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.13	4195	79.33	11624	37
		28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.05	20.11	4264	79.33	9378	30
	280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	5/12/2024	7 días	10.06	20.06	4241	79.49	8676	27
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.07	20.1	4210	79.64	9922	31
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.09	20.09	4257	79.96	9622	30
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.08	20.04	4367	79.80	7418	23
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.07	20.05	4324	79.64	10937	34
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.06	20.06	4281	79.49	8208	26
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.05	20.07	4238	79.33	8847	28
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.04	20.08	4195	79.17	9465	30
	280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.02	20.05	4249	78.85	9725	31
		28/11/2024	12/12/2024	14 días	10.04	20.17	4175	79.17	8718	27
		28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.08	20.06	4269	79.80	6138	19
		28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.05	20.04	4259	79.33	11364	36

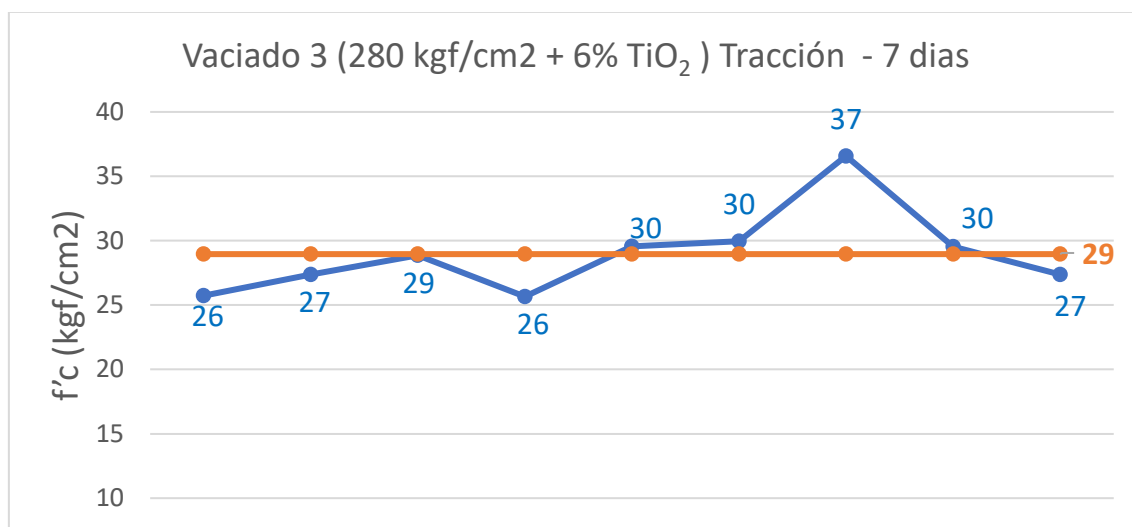
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.1	20.03	4222	80.12	7385	23
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.08	20.07	4252	79.80	8662	27
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.06	20.02	4282	79.49	11516	36
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.05	4312	79.17	8256	26
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.02	20.08	4342	78.85	7429	24
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.04	20.07	4378	79.17	10838	34
28/11/2024	26/12/2024	28 días	10.06	20.04	4299	79.49	7623	24

Nota. En la tabla 159 se aprecia los resultados para la Resistencia a la tracción en concreto f'_c 280 kgf/cm² vaciado 3 a 6%

A los 7 días, la resistencia promedio es 29.0 kgf/cm², con valores que varían entre 26 y 37 kgf/cm². A los 14 días, la resistencia promedio es 29.0 kgf/cm², con valores entre 23 y 34 kgf/cm². A los 28 días, la resistencia promedio es 28.0 kgf/cm², con valores entre 19 y 36 kgf/cm². Se observa que la resistencia se mantiene entre los 7 y 14 días mientras que al día 28 la resistencia baja de la resistencia.

Figura 162

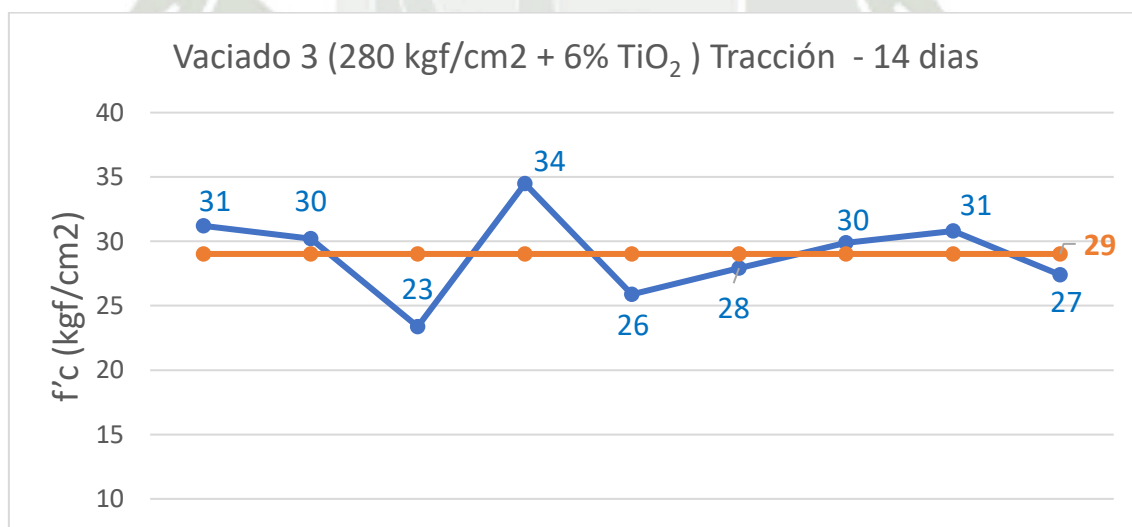
Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 162 se aprecia el gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 163

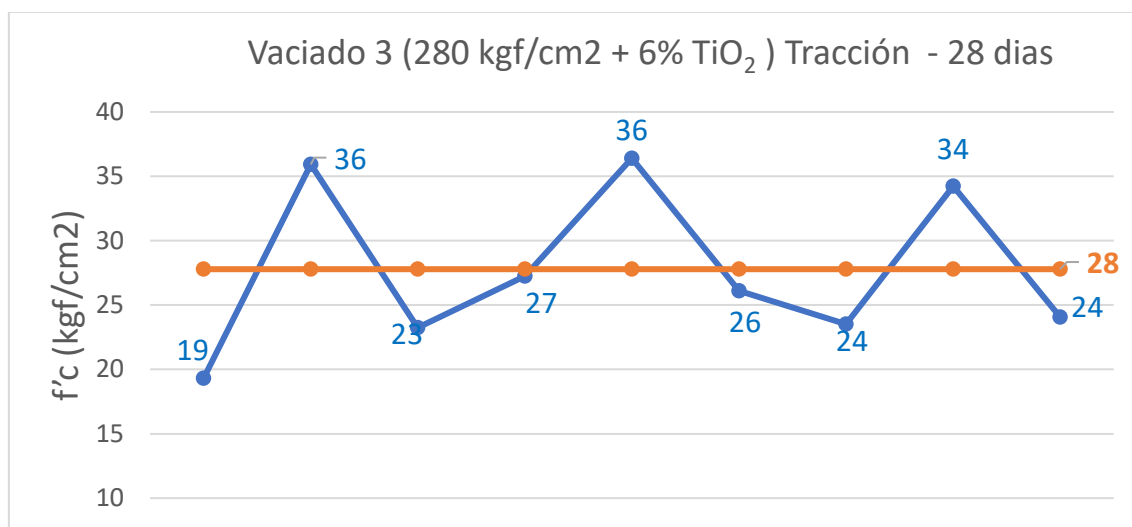
Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 163 se aprecia el Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 164

Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 164 se aprecia el Gráfico de vaciado 3 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 6\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$

Tabla 160

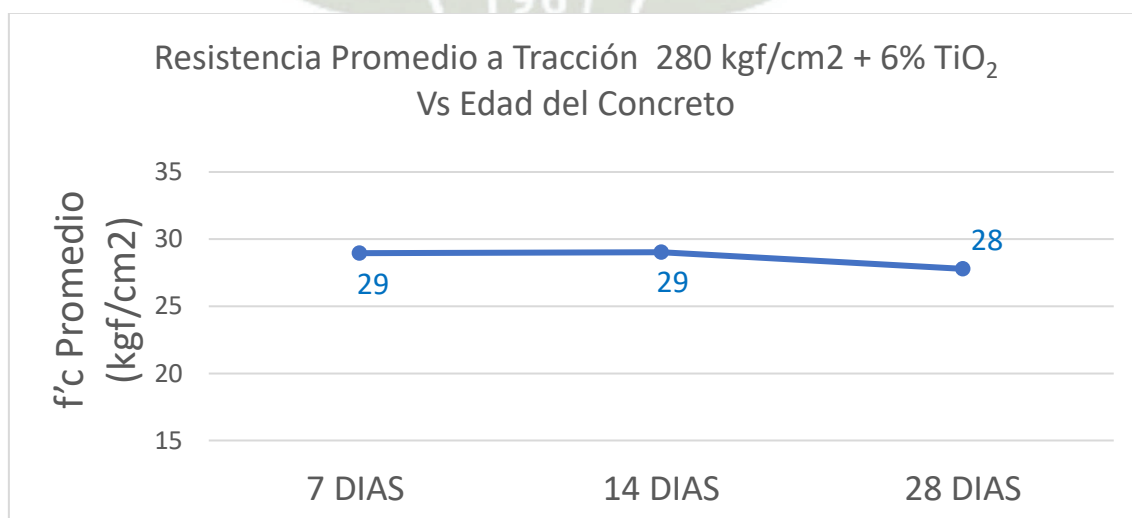
Promedio por edad de probetas al 6%

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
280 kgf/cm ² + 6% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm ²)	29	29	28

Nota. En la tabla 160 se aprecia el Promedio por edad de probetas al 6%

Figura 165

Resistencia promedio a 6%



Nota. En la figura 165 se aprecia el gráfico de Resistencia promedio a 6%

Tabla 161

Resistencia a la tracción en concreto f'_c 280 kgf/cm² vaciado 4 a 9%

	Diseño	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Días	Diámetro (cm)	H altura (cm)	Peso (g)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf)	Fc (kgf/cm ²)
Vaciado 4	280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.07	20.13	4208	79.64	6686	21
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.04	20.08	4213	79.17	7373	23
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.05	20.06	4491	79.33	10354	33
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.03	20.09	4422	79.01	7096	22
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.02	20.03	4353	78.85	9206	29
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.05	20.07	4284	79.33	8673	27
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.08	20.11	4215	79.80	7601	24
	280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.03	20.14	4228	79.01	10768	34
		3/12/2024	10/12/2024	7 días	10.05	20.04	4259	79.33	9530	30
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.04	20.11	4258	79.17	12638	40
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.02	20.02	4275	78.85	13353	42
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.26	20.11	4201	82.68	13029	40
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.2	20.1	4210	81.71	10705	33
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.14	20.09	4219	80.75	11642	36
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.08	20.08	4228	79.80	8870	28
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.02	20.07	4237	78.85	8809	28
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.07	20.04	4244	79.64	10977	35
		3/12/2024	17/12/2024	14 días	10.07	20.07	4232	79.64	8108	26
		3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.06	20.12	4248	79.49	7920	25
		3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.07	20.09	4264	79.64	7389	23

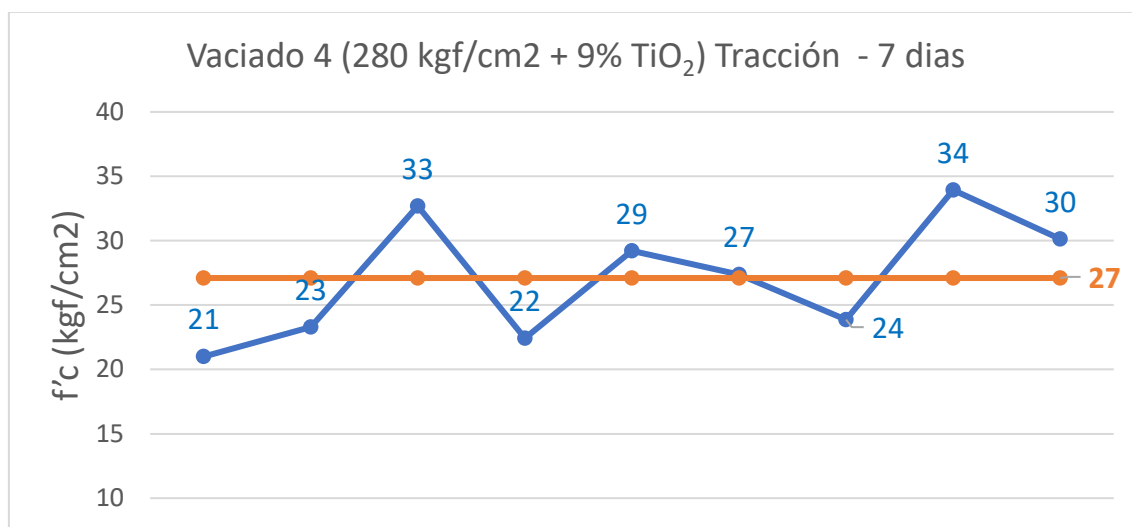
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.04	20.02	4051	79.17	8215	26
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.05	20.03	4114	79.33	10414	33
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.06	20.04	4177	79.49	12462	39
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.07	20.05	4240	79.64	9160	29
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.08	20.06	4303	79.80	10480	33
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.05	20.04	4335	79.33	8382	26
3/12/2024	31/12/2024	28 días	10.04	20.05	4245	79.17	10048	32

Nota. En la tabla 161 se aprecia los resultados para la Resistencia a la tracción en concreto f'_c 280 kgf/cm² vaciado 4 a 9%

Los 7 días, los valores están aún por debajo de la resistencia esperada, lo cual es normal dado que el concreto continúa su proceso de fraguado y curado. A los 14 días, se observa una mejora notable en la resistencia, acercándose en algunos casos a valores de diseño. A los 28 días, aunque hay muestras que alcanzan 39-42 kgf/cm², el promedio sigue estando por debajo de los 280 kgf/cm²,

Figura 166

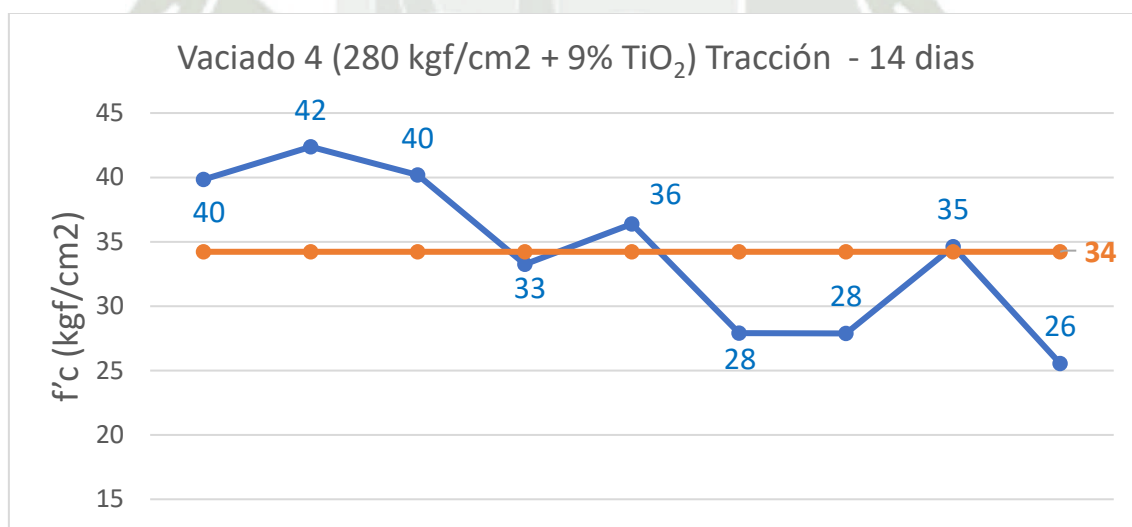
Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$



Nota. En la figura 166 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 7 \text{ días}$

Figura 167

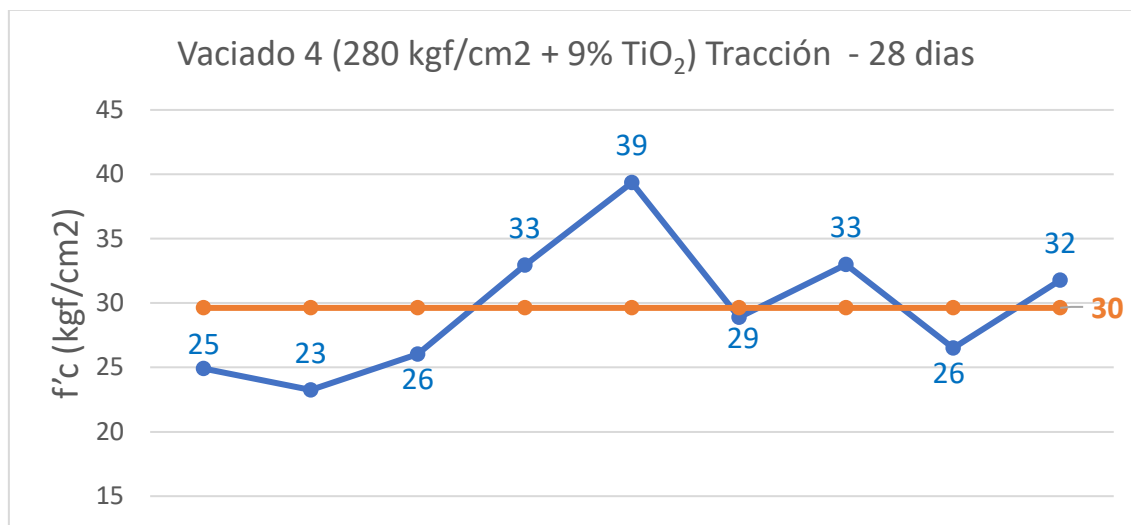
Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$



Nota. En la figura 167 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 14 \text{ días}$

Figura 168

Gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$



Nota. En la figura 168 se aprecia el gráfico de vaciado 4 para una resistencia a la tracción $280 \text{ kgf/cm}^2 + 9\% \text{ TiO}_2 - 28 \text{ días}$

Tabla 162

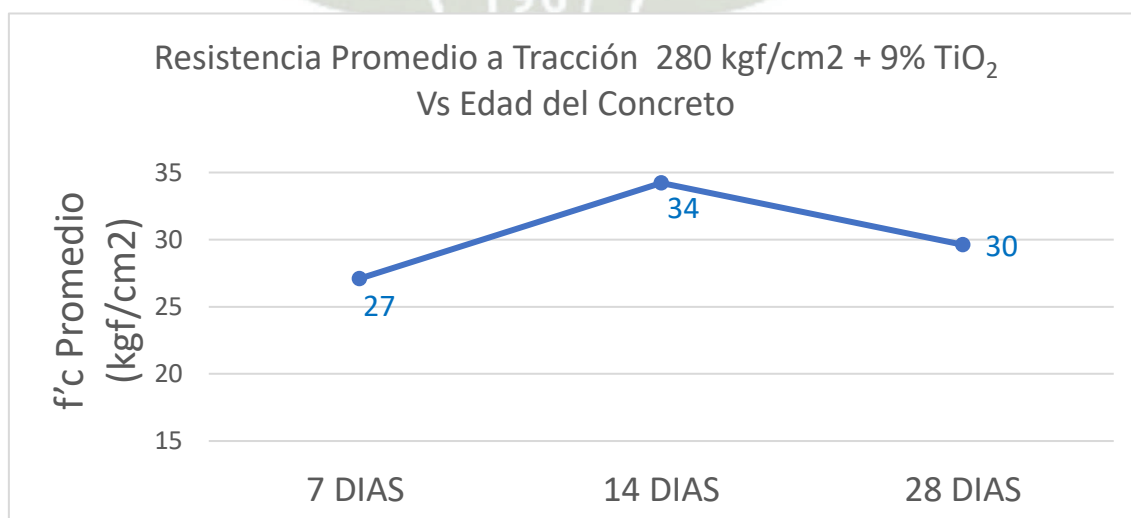
Resistencia promedio a 9%

RESUMEN DE PROMEDIOS POR EDAD DE PROBETAS DE CONCRETO			
280 kgf/cm ² + 9% TiO ₂	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
f'c (kgf/cm ²)	27	34	30

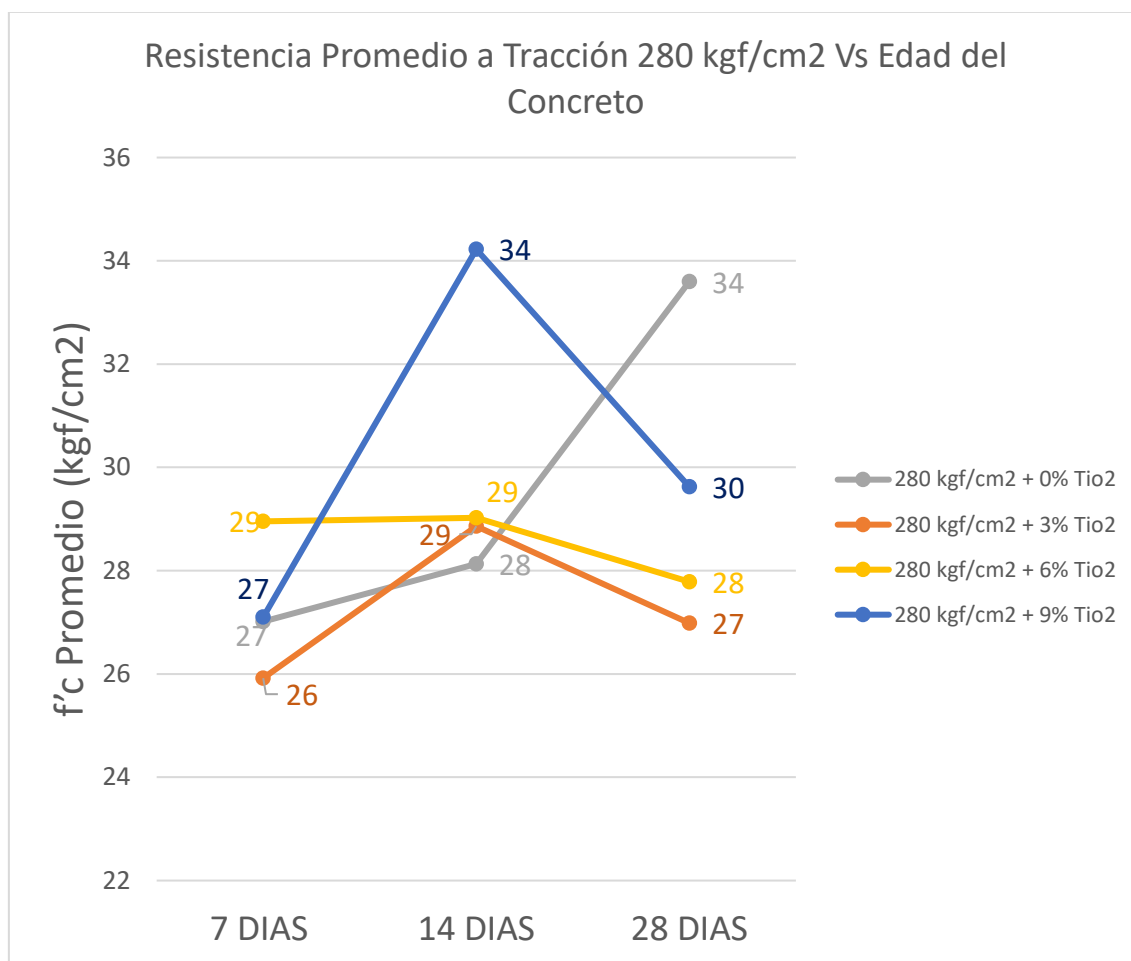
Nota. En la tabla 162 se aprecia la resistencia promedio al 9%

Figura 169

Resistencia promedio a 9%



Nota. En la figura 169 se aprecia el gráfico de Resistencia promedio al 9%.

Figura 170
Resistencia a la tracción promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO_2


Nota. En la figura 170 se aprecia el gráfico de Resistencia a la tracción promedio vs edad por cada tratamiento de % de TiO_2

5.3.4.1. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la tracción de los especímenes a la edad de 7 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO_2 . Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 163

Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 163 se aprecia la información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 164

Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Factor	3	42.84	14.28	0.85	0.475
Error	32	535.41	16.73		
Total	35	578.25			

Nota. En la tabla 164 se aprecia un análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 165

Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
4.09043	7.41%	0.00%	0.00%

Nota. En la tabla 165 se aprecia el Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 166

Medias resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	27.02	4.53	(24.24; 29.79)
3% TiO ₂	9	25.92	3.70	(23.14; 28.70)
6% TiO ₂	9	28.96	3.28	(26.18; 31.73)
9% TiO ₂	9	27.10	4.69	(24.32; 29.88)

Nota. En la tabla 166 se aprecia que la Desv.Est. agrupada = 4.09043, tomado de Minitab Statistical Software 22.

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

Tabla 167

Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

Factor	N	Media	Agrupación
6% TiO ₂	9	28.96	A
9% TiO ₂	9	27.10	A
0% TiO ₂	9	27.02	A
3% TiO ₂	9	25.92	A

Nota. En la tabla 167 se aprecia que, las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 168

Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	3%	1.111	1.947	.940	-4.16	6.39
	6%	-2.111	1.947	.701	-7.39	3.16
	9%	.000	1.947	1.000	-5.27	5.27
3%	0%	-1.111	1.947	.940	-6.39	4.16
	6%	-3.222	1.947	.363	-8.50	2.05
	9%	-1.111	1.947	.940	-6.39	4.16
6%	0%	2.111	1.947	.701	-3.16	7.39
	3%	3.222	1.947	.363	-2.05	8.50
	9%	2.111	1.947	.701	-3.16	7.39
9%	0%	.000	1.947	1.000	-5.27	5.27
	3%	1.111	1.947	.940	-4.16	6.39
	6%	-2.111	1.947	.701	-7.39	3.16

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

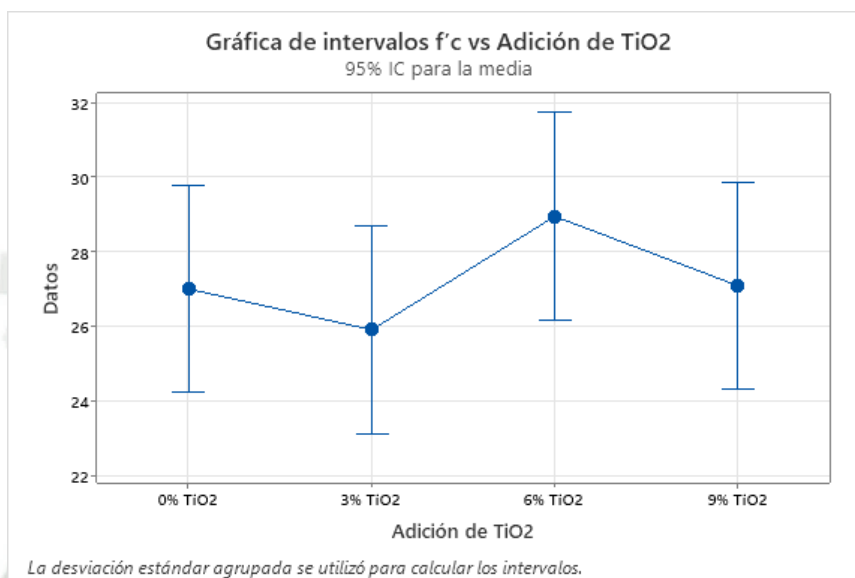
Nota. En la tabla 168 se aprecia las Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics.

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.092, al ser el valor de $p > 0.05$, por lo que se acepta la hipótesis nula “Todas las medias son iguales”.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 0%, 3%, 6% y 9% de TiO_2 fueron similares.

Figura 171

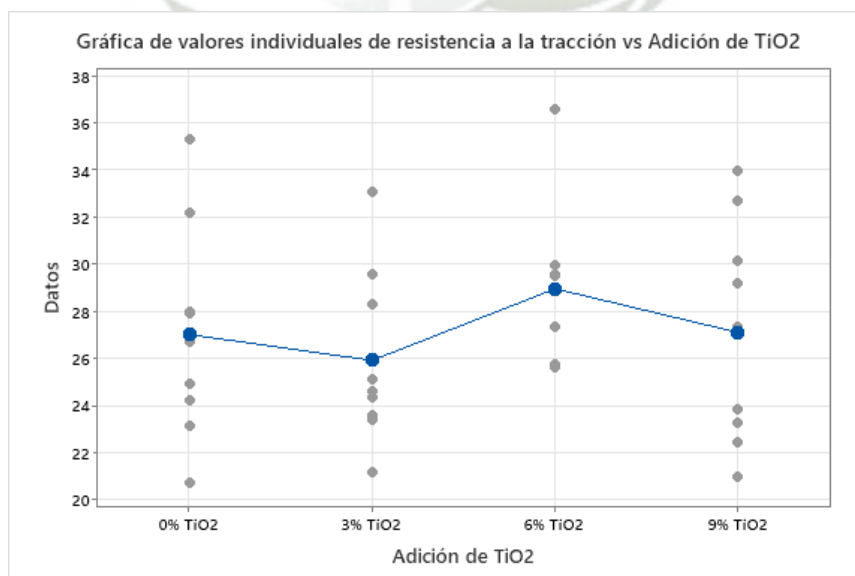
Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 7 días



Nota. En la figura 171 se aprecia el gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics

Figura 172

Valores individuales de resistencia a la tracción a los 7 días

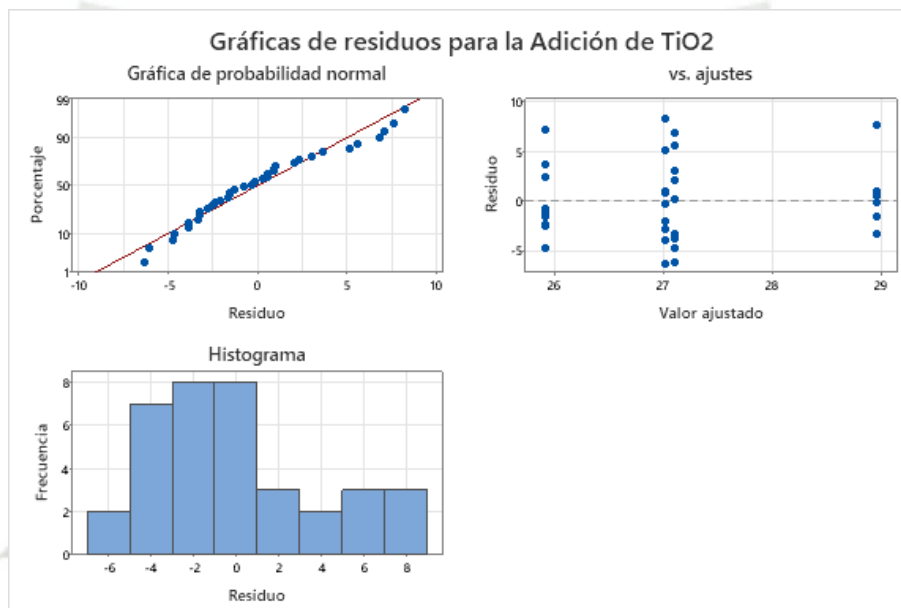


Nota. En la figura 172 se aprecia el gráfico de valores individuales de resistencia a la tracción a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la tracción a los 7 días diferente, la adición de 3% de TiO_2 tuvo la menor resistencia a la tracción mientras que la adición de 6% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia a la tracción.

Figura 173

Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 7 días



Nota. En la figura 173 se aprecia el gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 7 días, tomado de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 3 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.4.2. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la tracción de los especímenes a la edad de 14 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la diferencia la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO₂. Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

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

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 169

Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 169 se aprecia la Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 170

Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Factor	3	211.9	70.65	3.52	0.026
Error	32	642.0	20.06		
Total	35	854.0			

Nota. En la tabla 170 se aprecia el Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 171

Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
4.47926	24.82%	17.77%	4.85%

Nota. En la tabla 171 se aprecia el Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 172

Medias resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	28.13	3.19	(25.09; 31.17)
3% TiO ₂	9	28.86	4.74	(25.82; 31.90)
6% TiO ₂	9	29.02	3.27	(25.98; 32.07)
9% TiO ₂	9	34.22	6.07	(31.18; 37.26)

Nota. En la tabla 172 se aprecia que la Desv.Est. agrupada = 4.47926, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 173

Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

Factor	N	Media	Agrupación
9% TiO ₂	9	34.22	A
6% TiO ₂	9	29.02	A B
3% TiO ₂	9	28.86	A B
0% TiO ₂	9	28.13	B

Nota. En la tabla 173 se aprecia que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Tabla 174

Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-.778	2.079	.982	-6.41	4.85
	6%	-.778	2.079	.982	-6.41	4.85
	9%	-6.111*	2.079	.029	-11.74	-.48
3%	0%	.778	2.079	.982	-4.85	6.41
	6%	.000	2.079	1.000	-5.63	5.63
	9%	-5.333	2.079	.069	-10.97	.30
6%	0%	.778	2.079	.982	-4.85	6.41
	3%	.000	2.079	1.000	-5.63	5.63
	9%	-5.333	2.079	.069	-10.97	.30
9%	0%	6.111*	2.079	.029	.48	11.74
	3%	5.333	2.079	.069	-.30	10.97
	6%	5.333	2.079	.069	-.30	10.97

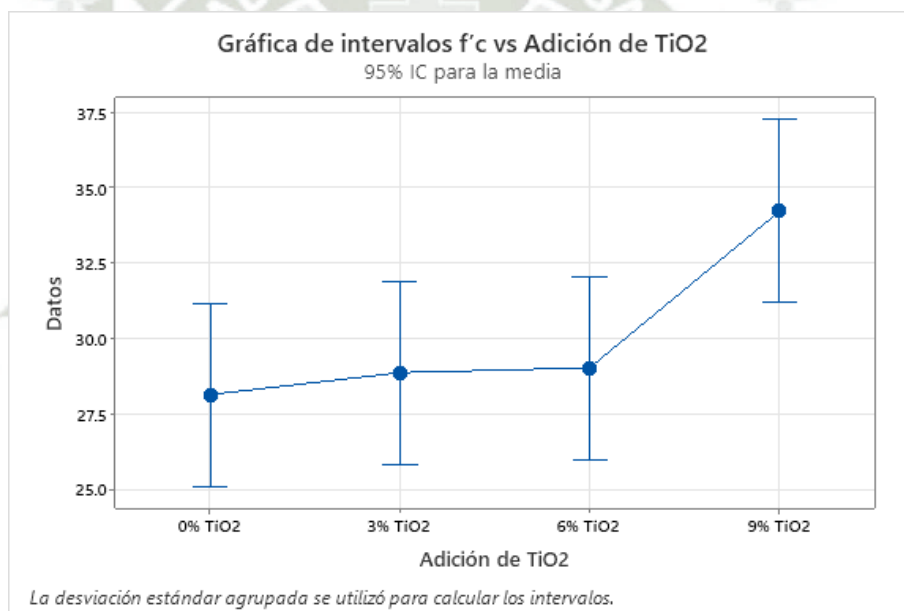
Nota. En la tabla 174 se aprecia las comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.026, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la tracción difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

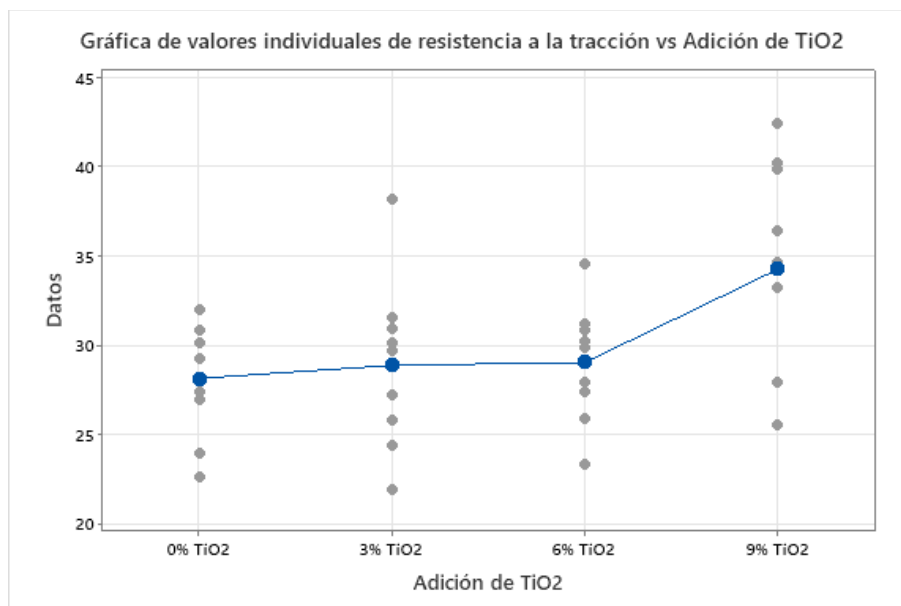
En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 0%, 3% y 6% de TiO_2 fueron similares mientras que la adición de 3%, 6% y 9% de TiO_2 fueron similares.

Figura 174

Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 14 días

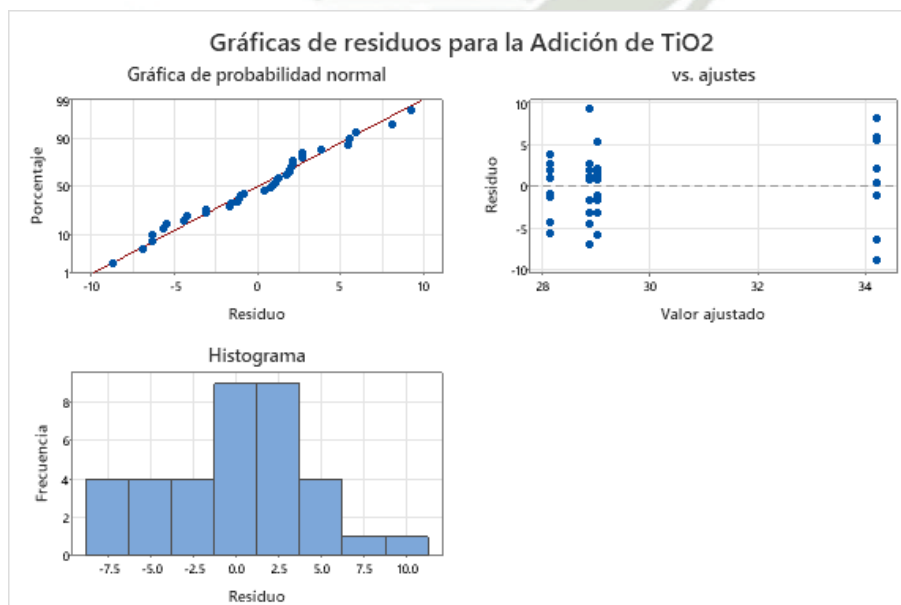


Nota. En la figura 174 se aprecia el gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics

Figura 175
Valores individuales de resistencia a la tracción a los 14 días


Nota. En la figura 175 se aprecia el gráfico de valores individuales de resistencia a la tracción a los 14 días

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la tracción a los 14 días diferente, la adición de 0% de TiO₂ tuvo la menor resistencia a la tracción mientras que la adición de 9% de TiO₂ tuvo la mayor resistencia a la tracción.

Figura 176
Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 14 días


Nota. En la figura 176 se aprecia el gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 14 días, tomado de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.3.4.3. Análisis estadístico de resistencia a la tracción indirecta del concreto fotocatalítico con resistencia $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables de la resistencia a la tracción de los especímenes a la edad de 28 días. Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO₂. Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

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

Tabla 175

Información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 175 se aprecia la información del factor resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 176
Análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Factor	3	234.8	78.27	2.88	0.051
Error	32	868.4	27.14		
Total	35	1103.2			

Nota. En la tabla 176 se aprecia el análisis de Varianza resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 177
Resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
5.20946	21.28%	13.90%	0.37%

Nota. En la tabla 177 se aprecia el resumen del modelo resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 178
Medias resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	9	33.60	4.44	(30.06; 37.14)
3% TiO ₂	9	26.98	4.92	(23.45; 30.52)
6% TiO ₂	9	27.79	6.22	(24.25; 31.32)
9% TiO ₂	9	29.62	5.10	(26.09; 33.16)

Nota. En la tabla 178 se aprecia que la Desv.Est. agrupada = 5.20946, tomado de Minitab Statistical Software 22

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

Tabla 179
Comparaciones en parejas de Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

Factor	N	Media	Agrupación
0% TiO ₂	9	33.60	A
9% TiO ₂	9	29.62	A
6% TiO ₂	9	27.79	A
3% TiO ₂	9	26.98	A

Nota. En la tabla 179 se aprecia que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, Tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 180
Comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días

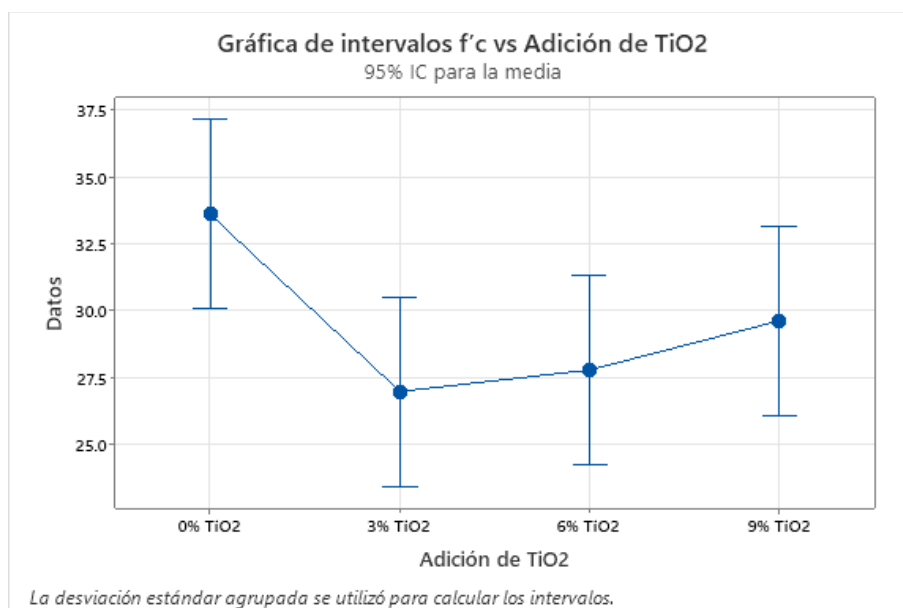
(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	3%	6.556	2.464	.056	-.12	13.23
	6%	5.889	2.464	.100	-.79	12.57
	9%	4.000	2.464	.380	-2.68	10.68
3%	0%	-6.556	2.464	.056	-13.23	.12
	6%	-.667	2.464	.993	-7.34	6.01
	9%	-2.556	2.464	.729	-9.23	4.12
6%	0%	-5.889	2.464	.100	-12.57	.79
	3%	.667	2.464	.993	-6.01	7.34
	9%	-1.889	2.464	.869	-8.57	4.79
9%	0%	-4.000	2.464	.380	-10.68	2.68
	3%	2.556	2.464	.729	-4.12	9.23
	6%	1.889	2.464	.869	-4.79	8.57

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

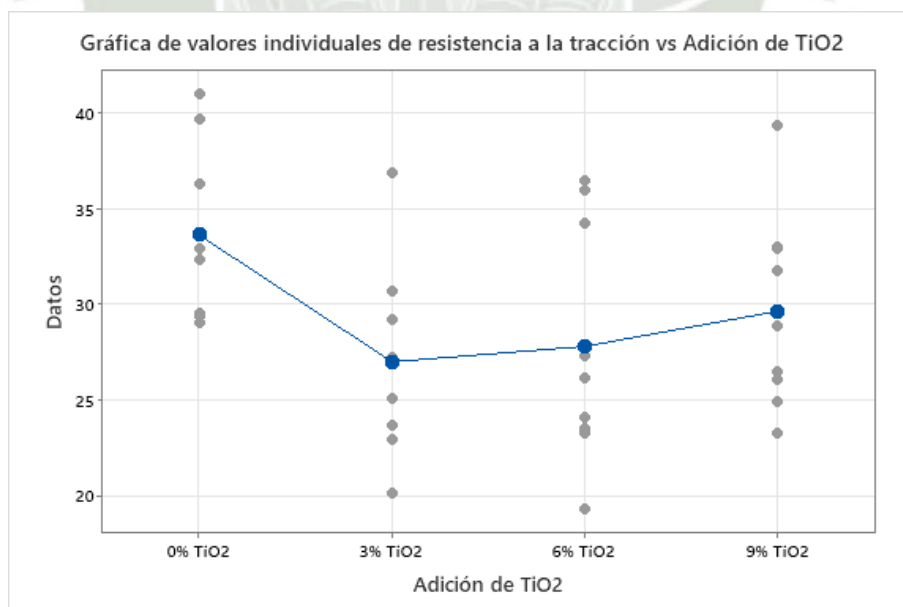
Nota. En la tabla 180 se aprecia las comparaciones múltiples HDS Tukey resistencia a la tracción $f'c$ 280 kgf/cm² a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.051, al ser el valor de $p > 0.05$, por lo que se acepta la hipótesis nula “Todas las medias son iguales”.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 0%, 3%, 6% y 9% de TiO₂ fueron similares.

Figura 177
Gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 28 días


Nota. En la figura 177 se aprecia el gráfico de Intervalos resistencia a la tracción a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

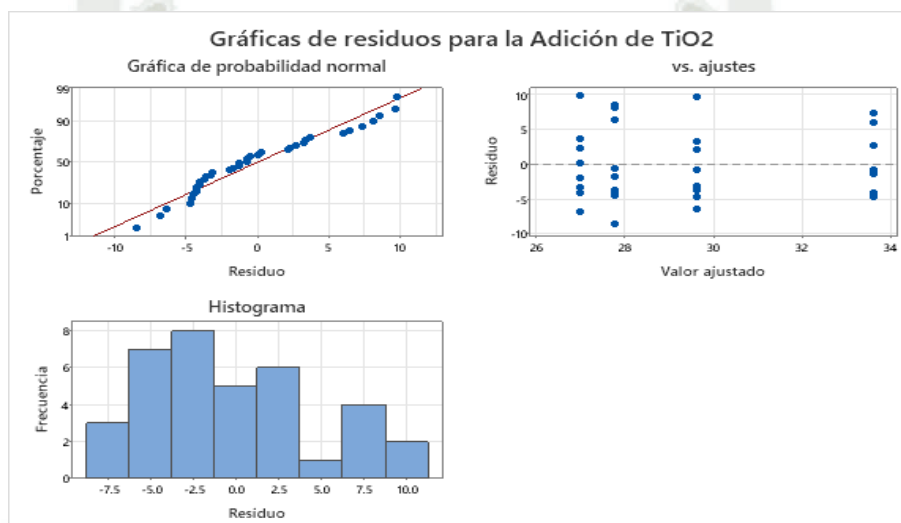
Figura 178
Valores individuales de resistencia a la tracción a los 28 días


Nota. En la figura 178 se aprecia el gráfico de los valores individuales de resistencia a la tracción a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una resistencia promedio a la tracción a los 28 días diferente, la adición de 3% de TiO_2 tuvo la menor resistencia a la tracción mientras que la adición de 0% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia a la tracción.

Figura 179

Gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 28 días



Nota. En la figura 179 se aprecia el gráfico de residuos para la resistencia a la tracción a los 28 días, tomado de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 3 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.4. Análisis de la actividad fotocatalítica del concreto mediante el ensayo de decoloración (Prueba de la rodamina B)

El ensayo de la rodamina B, se realizará según la norma italiana UNI 11259, donde se impregnará una de las caras de la muestra con rodamina b con una concentración de 0.1 g por 1 litro de agua, para ser expuestas al sol y reciba los rayos UV, el ensayo se realizó en el Laboratorio de Concreto de la Universidad Católica de Santa María.

En esta investigación se optó por exponer las muestras a la radiación Ultravioleta (UV) de origen solar en condiciones ambientales naturales, en lugar de utilizar lámparas UV artificiales, ya que la radiación solar representa de manera más realista el ambiente al que se enfrenta el concreto en la práctica. De acuerdo a la norma (ASTM, 2018), la exposición natural a la intemperie constituye un método práctico y representativo para evaluar la durabilidad y envejecimiento de materiales no metálicos; ya que permite considerar el efecto conjunto de todos los agentes meteorológicos presentes en el ambiente. Se utilizaron 6 probetas prismáticas por diseño teniendo un total de 48 muestras toma las mediciones de color a las 0 horas, 4 horas y 26 horas de ser expuestas, dichas mediciones serán necesarias para poder aplicar las fórmulas y obtener los factores R-4 Y R-26. Para que el concreto sea considerado como un material fotocatalítico el factor R-4 debe ser mayor al 20% y el factor R-26 al 50%.

$$R - 4 = \frac{a^*(0h) - a^*(4h)}{a^*(0h)} \times 100 \quad R - 26 = \frac{a^*(0h) - a^*(26h)}{a^*(0h)} \times 100$$

Figura 180

Probeta prismática expuesta a los rayos UV



Nota. En la figura 180 se aprecia la probeta prismática expuesta a los rayos UV que es usada en la investigación.

Mediante el análisis colorímetro se obtiene el valor de a^* para cada muestra de diseño.

5.4.1. Prueba de la Rodamina en $f'c$ 210 kgf/cm²

- $f'c$ 210 kgf/cm² sin adición de TiO₂

Tabla 181

Determinación de a^ en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm² + 0% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas*

Dosificación	Nº	$a^*(0)$ horas)	$a^*(4)$ horas)	$a^*(26)$ horas)
210 kgf/cm ² + 0%	MUESTRA 1	17.96	16.49	11.27
	MUESTRA 2	16.27	16.33	11.67
	MUESTRA 3	17.95	16.74	12.01
	MUESTRA 4	17.5	15.61	11.68
	MUESTRA 5	17.05	16.47	12.8
	MUESTRA 6	18.07	16.54	11.91
	PROMEDIO	17.47	16.36	11.89

Nota. En la tabla 181 se aprecia los resultados en cuanto a la Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm² + 0% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas

Tabla 182

Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

Dosificación	R-0	R-4	R-26
210 kgf/cm ² + 0%	0	6.32	31.93

Nota. En la tabla 182 se aprecia el Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

- $f'c$ 210 kgf/cm² + 3% de TiO₂

Tabla 183

Determinación de a^ en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm² + 3% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas*

Dosificación	N°	$a^*(0)$ horas)	$a^*(4)$ horas)	$a^*(26)$ horas)
210 kgf/cm ² + 3%	MUESTRA 1	23.37	11.86	5.52
	MUESTRA 2	15.04	10.58	5.77
	MUESTRA 3	16.06	11.45	6.48
	MUESTRA 4	23.48	12.14	6.36
	MUESTRA 5	20.02	12.26	6.32
	MUESTRA 6	16.53	12.91	6.35
	PROMEDIO	19.08	11.87	6.13

Nota. En la tabla 183 se aprecia la Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm² + 3% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas

Tabla 184

Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

Dosificación	R-0	R-4	R-26
210 kgf/cm ² + 3%	0	37.82	67.86

Nota. En la tabla 184 se aprecia el Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

- $f'c$ 210 kgf/cm² + 6% de TiO₂

Tabla 185

Determinación de a^ en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm² + 6% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas*

Dosificación	N°	$a^*(0)$ horas)	$a^*(4)$ horas)	$a^*(26)$ horas)
210 kgf/cm ² + 6%	MUESTRA 1	31.42	11.58	2.5
	MUESTRA 2	27.36	11.77	2.15
	MUESTRA 3	29.11	12.11	2.17
	MUESTRA 4	26.7	11.3	2.19
	MUESTRA 5	28.97	12.36	1.78
	MUESTRA 6	28.94	12.96	2.39
	PROMEDIO	28.75	12.01	2.20

Nota. En la tabla 185 se aprecia la determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 210 kgf/cm² + 6% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas

Tabla 186
Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

Dosificación	R-0	R-4	R-26
210 kgf/cm² + 6%	0	58.21	92.36

Nota. En la tabla 186 se aprecia el Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

- f'c 210 kgf/cm² + 9% de TiO₂

Tabla 187
Determinación de a en probetas con dosificación f'c 210 kgf/cm² + 9% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas*

Dosificación	Nº	a*(0 horas)	a*(4 horas)	a*(26 horas)
210 kgf/cm ² + 9%	MUESTRA 1	27.25	10.25	1.96
	MUESTRA 2	28.49	11.38	1.86
	MUESTRA 3	23.98	10.07	1.65
	MUESTRA 4	22.75	11.42	1.77
	MUESTRA 5	31.15	10.74	1.94
	MUESTRA 6	23.27	11.3	1.71
	PROMEDIO	26.15	10.86	1.82

Nota. En la tabla 187 se aprecia la determinación de a* en probetas con dosificación f'c 210 kgf/cm² + 9% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas

Tabla 188
Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

Dosificación	R-0	R-4	R-26
210 kgf/cm² + 9%	0	58.47	93.06

Nota. En la tabla 188 se aprecia el Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

Tabla 189

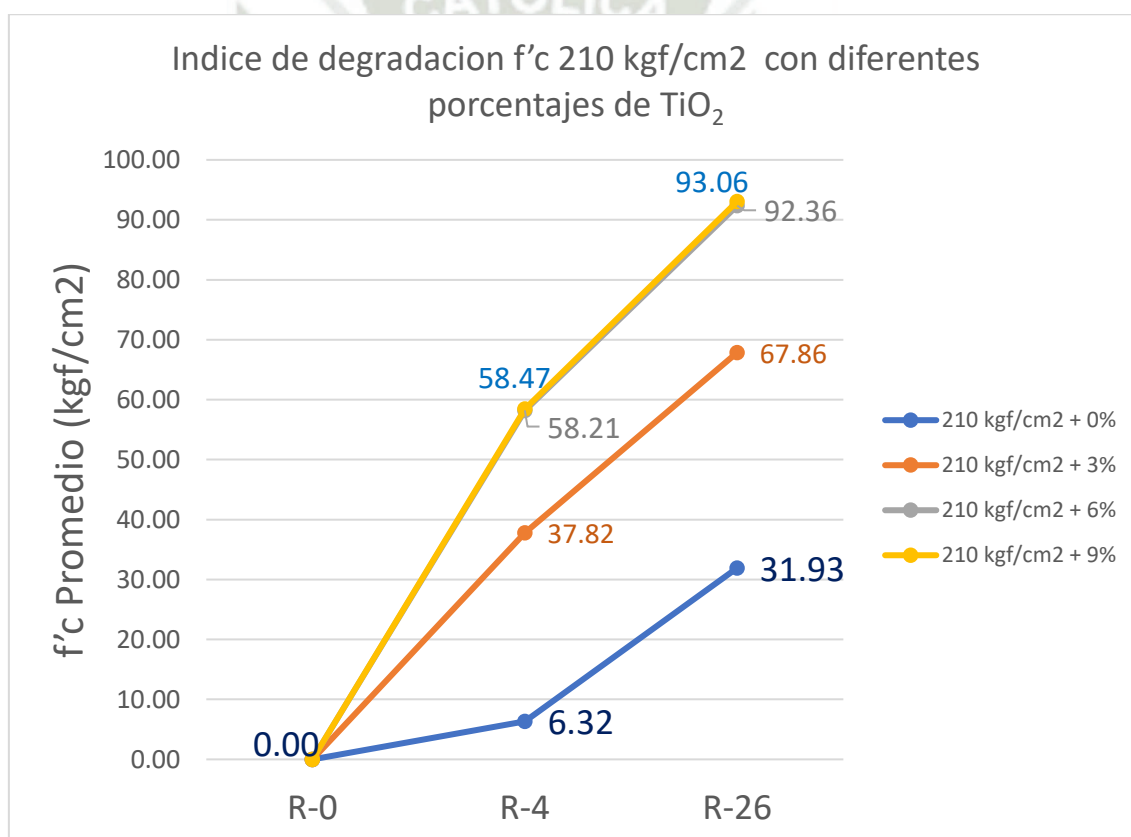
Resumen de índice de degradación R (0), R (4) y R (26) para las distintas dosificaciones

Dosificación	R-0	R-4	R-26
210 kgf/cm ² + 0%	0.00	6.32	31.93
210 kgf/cm ² + 3%	0.00	37.82	67.86
210 kgf/cm ² + 6%	0.00	58.21	92.36
210 kgf/cm ² + 9%	0.00	58.47	93.06

Nota. En la tabla 189 se aprecia el Resumen de índice de degradación R (0), R (4) y R (26) para las distintas dosificaciones

Figura 181

Índice de degradación con diferentes porcentajes de TiO₂



Nota. En la figura 181 se aprecia el gráfico de Índice de degradación con diferentes porcentajes de TiO₂

5.4.1.1. Análisis estadístico de actividad fotocatalítica Prueba de la rodamina B a las 4 horas (R-4) en f'c 210 kgf/cm²

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables del índice de decoloración a las 4 horas (R-4). Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la diferencia la existencia de diferencia estadística entre los

tratamientos de TiO_2 . Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

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

Tabla 190

Información del factor índice de decoloración f' c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO_2 ; 3% TiO_2 ; 6% TiO_2 ; 9% TiO_2

Nota. En la tabla 190 se aprecia la información del factor índice de decoloración f' c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 191

Análisis de Varianza índice de decoloración f' c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	10871.4	3623.81	284.85	0.000
Error	20	254.4	12.72		
Total	23	11125.9			

Nota. En la tabla 191 se aprecia el análisis de Varianza índice de decoloración f' c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 192

Resumen del modelo índice de decoloración f' c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4

S	R- cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
3.56679	97.71%	97.37%	96.71%

Fuente: Minitab Statistical Software 22

Tabla 193

Medias índices de decoloración f' c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO_2	6	6.317	0.286	(3.279; 9.354)
3% TiO_2	6	37.82	4.32	(34.78; 40.86)
6% TiO_2	6	58.21	2.76	(55.18; 61.25)
9% TiO_2	6	58.47	4.96	(55.43; 61.50)

Nota. En la tabla 193 se aprecia que la Desv.Est. agrupada = 3.56679, tomado de Minitab Statistical Software 22

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

Tabla 194

Comparaciones en parejas de Tukey índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4

Factor	N	Media	Agrupación
9% TiO ₂	6	58.47	A
6% TiO ₂	6	58.21	A
3% TiO ₂	6	37.82	B
0% TiO ₂	6	6.317	C

Nota. En la tabla 194 se aprecia que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 195

Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-31.50167*	2.05916	<.001	-37.2651	-25.7382
	6%	-51.89667*	2.05916	<.001	-57.6601	-46.1332
	9%	-52.15167*	2.05916	<.001	-57.9151	-46.3882
3%	0%	31.50167*	2.05916	<.001	25.7382	37.2651
	6%	-20.39500*	2.05916	<.001	-26.1585	-14.6315
	9%	-20.65000*	2.05916	<.001	-26.4135	-14.8865
6%	0%	51.89667*	2.05916	<.001	46.1332	57.6601
	3%	20.39500*	2.05916	<.001	14.6315	26.1585
	9%	-.25500	2.05916	.999	-6.0185	5.5085
9%	0%	52.15167*	2.05916	<.001	46.3882	57.9151
	3%	20.65000*	2.05916	<.001	14.8865	26.4135
	6%	.25500	2.05916	.999	-5.5085	6.0185

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

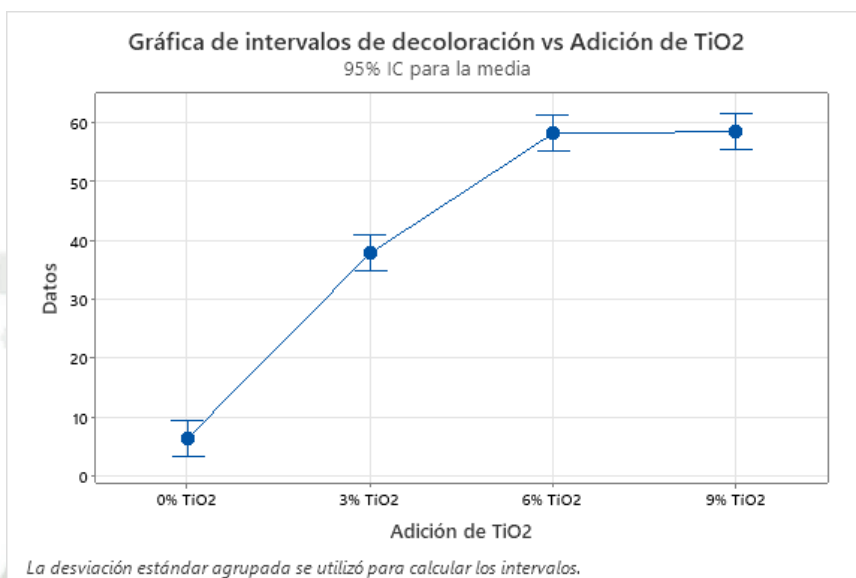
Nota. En la tabla 195 se aprecia las comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.00, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 6% y 9% de TiO_2 fueron similares, mientras que las adiciones de 0% y 3% de TiO_2 fueron diferentes con los demás.

Figura 182

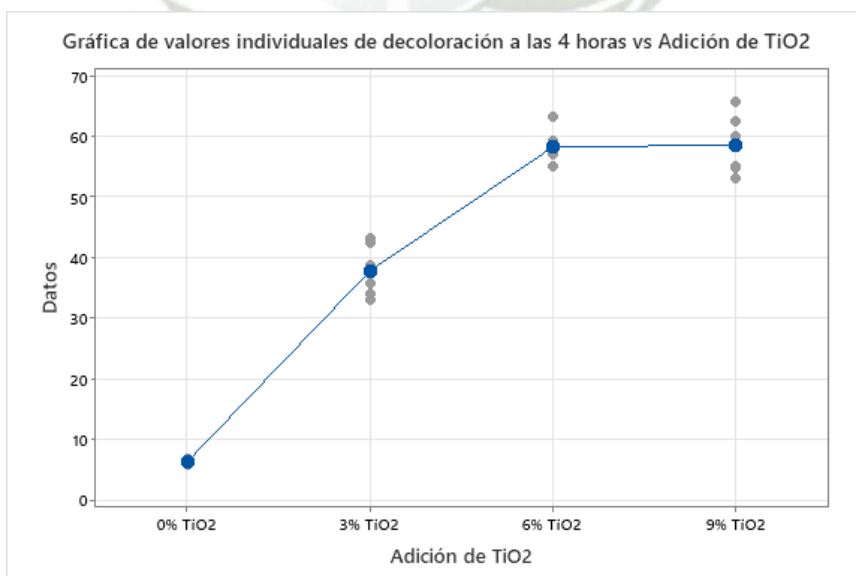
Gráfico de Intervalos índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4



Nota. En la figura 182 se aprecia el gráfico de intervalos índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de IBM SPSS Statistics

Figura 183

Valores individuales de índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4

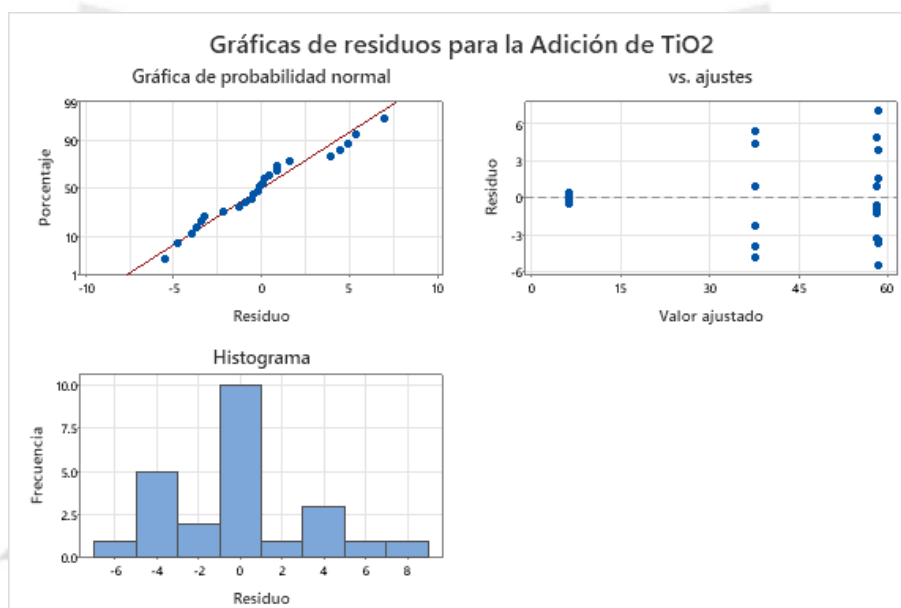


Nota. En la figura 183 se aprecia los valores individuales de índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 4 horas R-4

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una coloración promedio a las 4 horas R-4 diferente, la adición de 0% de TiO_2 tuvo el menor índice de decoloración mientras que la adición de 9% de TiO_2 tuvo el mayor índice de decoloración. Se aprecia que mientras se aumenta la adición de TiO_2 el índice de decoloración aumenta.

Figura 184

Gráfico de residuos para el índice de decoloración f^c 210 kgf/cm^2 a las 4 horas R-4



Nota. En la figura 184 se aprecia el gráfico de residuos para el índice de decoloración f^c 210 kgf/cm^2 a las 4 horas R-4, tomado de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 4 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.4.1.2. Análisis estadístico de actividad fotocatalítica Prueba de la rodamina B a las 26 horas (R-26) en f'c 210 kgf/cm²

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables del índice de decoloración a las 26 horas (R-26). Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la diferencia la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO₂. Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 196

Información del factor índice de decoloración f'c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 196 se aprecia la información del factor índice de decoloración f'c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 197

Análisis de Varianza índice de decoloración f'c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	14875.3	4958.42	4954.41	0.000
Error	20	20.0	1.00		
Total	23	14895.3			

Nota. En la tabla 197 se aprecia el análisis de Varianza índice de decoloración f'c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 198

Resumen del modelo índice de decoloración f'c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
1.00040	99.87%	99.85%	99.81%

Nota. En la tabla 198 se aprecia el Resumen del modelo índice de decoloración f'c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 199

Medias índices de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	6	31.927	0.698	(31.075; 32.779)
3% TiO ₂	6	67.859	1.593	(67.007; 68.711)
6% TiO ₂	6	92.362	0.792	(91.510; 93.214)
9% TiO ₂	6	93.060	0.593	(92.208; 93.912)

Nota. En la tabla 199 se aprecia que la Desv.Est. agrupada = 1.00040,

Tabla 200

Comparaciones en parejas de Tukey índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26

Factor	N	Media	Agrupación
9% TiO ₂	6	93.060	A
6% TiO ₂	6	92.362	A
3% TiO ₂	6	67.859	B
0% TiO ₂	6	31.927	C

Nota. En la tabla 200 se aprecia Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 201

Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	3%	-35.93167*	.57771	<.001	-37.5486	-34.3147
	6%	-60.43500*	.57771	<.001	-62.0520	-58.8180
	9%	-61.13333*	.57771	<.001	-62.7503	-59.5164
3%	0%	35.93167*	.57771	<.001	34.3147	37.5486
	6%	-24.50333*	.57771	<.001	-26.1203	-22.8864
	9%	-25.20167*	.57771	<.001	-26.8186	-23.5847
6%	0%	60.43500*	.57771	<.001	58.8180	62.0520
	3%	24.50333*	.57771	<.001	22.8864	26.1203
	9%	-.69833	.57771	.629	-2.3153	.9186
9%	0%	61.13333*	.57771	<.001	59.5164	62.7503
	3%	25.20167*	.57771	<.001	23.5847	26.8186
	6%	.69833	.57771	.629	-.9186	2.3153

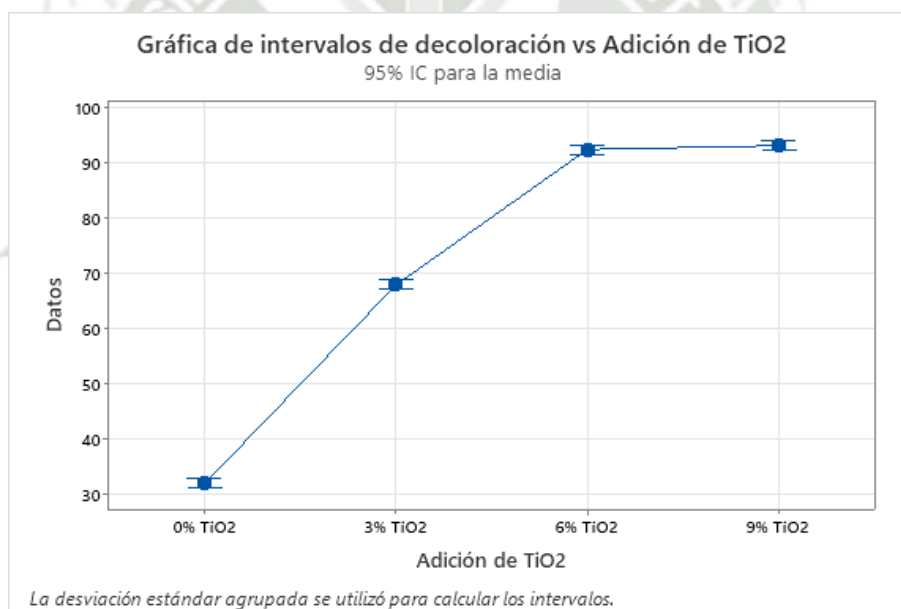
Nota. En la tabla 201 se aprecia las Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración f°c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.00, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 6% y 9% de TiO_2 fueron similares, mientras que las adiciones de 0% y 3% de TiO_2 fueron diferentes con los demás.

Figura 185

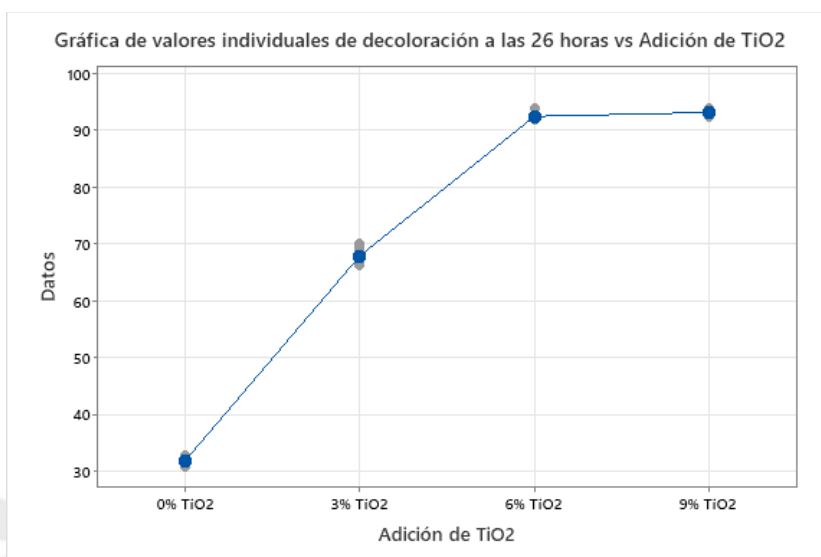
Gráfico de Intervalos índice de decoloración f'c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26



Nota. En la figura 185 se aprecia el gráfico de Intervalos índice de decoloración f'c 210 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de IBM SPSS Statistics

Figura 186

Valores individuales de índice de decoloración $f^{\circ}c$ 210 kgf/cm^2 a las 26 horas R-26

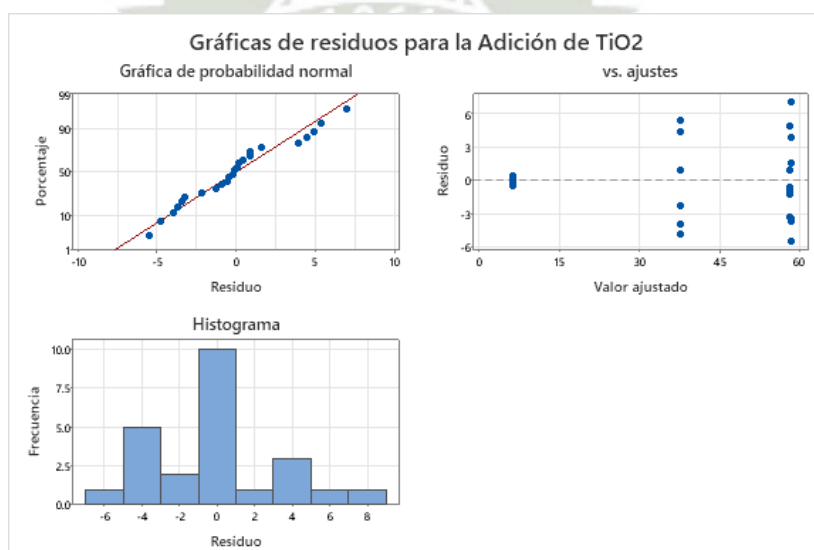


Nota. En la figura 186 se aprecia el gráfico de los valores individuales de índice de decoloración $f^{\circ}c$ 210 kgf/cm^2 a las 26 horas R-26, tomado de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una coloración promedio a las 26 horas R-26 diferente, la adición de 0% de TiO_2 tuvo el menor índice de decoloración mientras que la adición de 9% de TiO_2 tuvo el mayor índice de decoloración. Se aprecia que mientras se aumenta la adición de TiO_2 el índice de decoloración aumenta.

Figura 187

Gráfico de residuos para el índice de decoloración $f^{\circ}c$ 210 kgf/cm^2 a las 26 horas R-26



Nota. En la figura 187 se aprecia el gráfico de residuos para el índice de decoloración $f^{\circ}c$ 210 kgf/cm^2 a las 26 horas R-26, tomado de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 4 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.4.2. Prueba de la Rodamina en f'c 280 kgf/cm²

- f'c 280 kgf/cm² sin adición de TiO₂

Tabla 202

Determinación de a en probetas con dosificación f'c 280 kgf/cm² + 0% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas*

Dosificación	Nº	a*(0 horas)	a*(4 horas)	a*(26 horas)
280 kgf/cm ² + 0%	MUESTRA 1	19.26	16.79	10.34
	MUESTRA 2	17.55	16.15	10.43
	MUESTRA 3	18.49	16.55	10.64
	MUESTRA 4	18.9	16.23	11.27
	MUESTRA 5	18.21	16.83	11.68
	MUESTRA 6	18.79	16.18	11.74
	PROMEDIO	18.53	16.46	11.02

Nota. En la tabla 202 se aprecia la determinación de a* en probetas con dosificación f'c 280 kgf/cm² + 0% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas

Tabla 203

Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

Dosificación	R-0	R-4	R-26
280 kgf/cm ² + 0%	0	11.21	40.56

Nota. En la tabla 203 se aprecia el Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

- $f'c$ 280 kgf/cm² + 3% de TiO₂

Tabla 204

Determinación de a^ en probetas con dosificación $f'c$ 280 kgf/cm² + 3% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas*

Dosificación	Nº	$a^*(0)$ horas)	$a^*(4)$ horas)	$a^*(26)$ horas)
280 kgf/cm ² + 3%	MUESTRA 1	16.69	12.25	5.25
	MUESTRA 2	16.66	13.67	4.78
	MUESTRA 3	21.77	12.52	5.29
	MUESTRA 4	23.01	12.33	5.11
	MUESTRA 5	19.84	13.25	5.7
	MUESTRA 6	16.35	12.23	5.78
	PROMEDIO	19.05	12.71	5.32

Nota. En la tabla 204 se aprecia la determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 280 kgf/cm² + 3% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas

Tabla 205

Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

Dosificación	R-0	R-4	R-26
280 kgf/cm ² + 3%	0	33.30	72.09

Nota. En la tabla 205 se aprecia el Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

- $f'c$ 280 kgf/cm² + 6% de TiO₂

Tabla 206

Determinación de a^ en probetas con dosificación $f'c$ 280 kgf/cm² + 6% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas*

Dosificación	Nº	$a^*(0)$ horas)	$a^*(4)$ horas)	$a^*(26)$ horas)
280 kgf/cm ² + 6%	MUESTRA 1	22.77	10.46	1.37
	MUESTRA 2	26	12.29	1.76
	MUESTRA 3	26.63	11.14	1.7
	MUESTRA 4	25.87	11	1.64
	MUESTRA 5	25.13	11.27	1.72
	MUESTRA 6	25.62	10.61	1.96
	PROMEDIO	25.34	11.13	1.69

Nota. En la tabla 206 se aprecia la Determinación de a^* en probetas con dosificación $f'c$ 280 kgf/cm² + 6% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.

Tabla 207
Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

Dosificación	R-0	R-4	R-26
280 kgf/cm ² + 6%	0	56.08	93.32

Nota. En la tabla 207 se aprecia el Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

- f'c 280 kgf/cm² + 9% de TiO₂

Tabla 208
Determinación de a en probetas con dosificación f'c 280 kgf/cm² + 9% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas*

Dosificación	Nº	a*(0 horas)	a*(4 horas)	a*(26 horas)
280 kgf/cm ² + 9%	MUESTRA 1	34.4	14.4	1.94
	MUESTRA 2	34.63	13.34	1.76
	MUESTRA 3	33.81	14.24	1.47
	MUESTRA 4	33.56	14.66	1.88
	MUESTRA 5	36.71	14.44	1.85
	MUESTRA 6	30.97	14.56	1.61
	PROMEDIO	34.01	14.27	1.75

Nota. En la tabla 208 se aprecia la Determinación de a* en probetas con dosificación f'c 280 kgf/cm² + 9% TiO₂ expuestas a 0 horas, 4 horas y 26 horas.

Tabla 209
Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

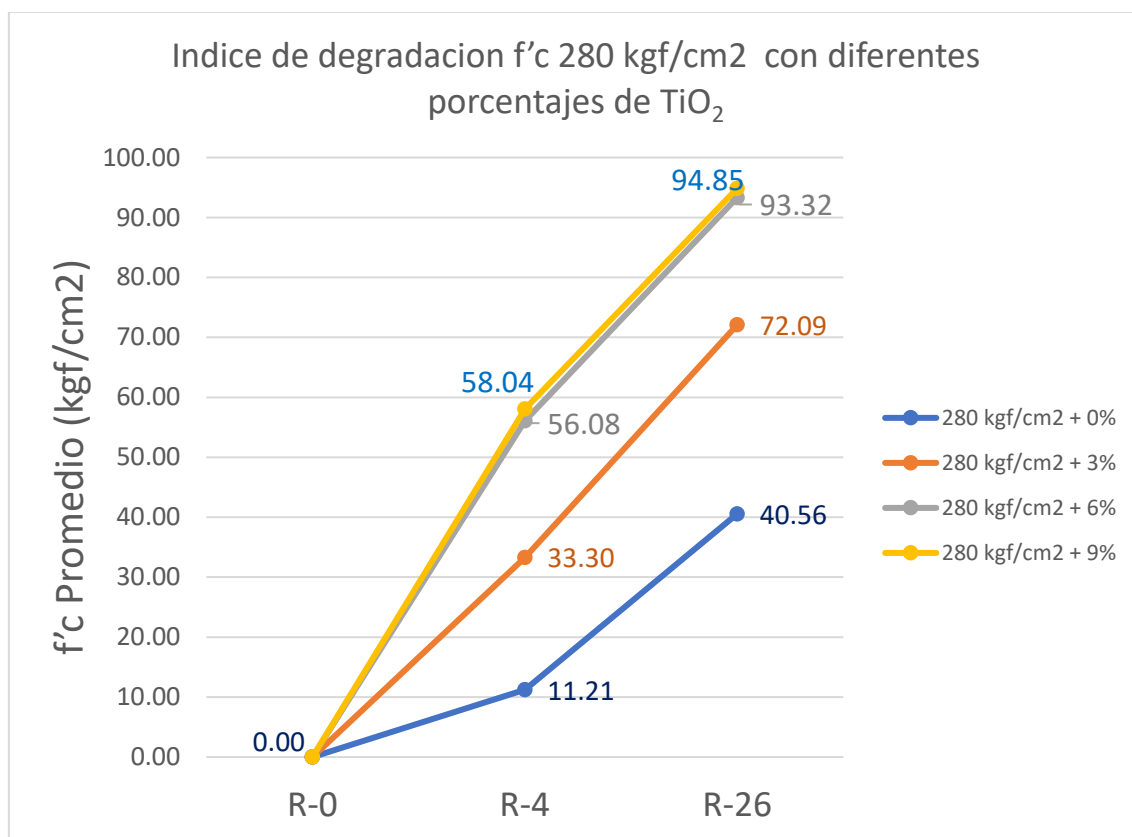
Dosificación	R-0	R-4	R-26
280 kgf/cm ² + 9%	0	58.04	94.85

Nota. En la tabla 209 se aprecia el Índice de degradación de R (0), R (4) Y R (26)

Tabla 210
Resumen de índice de degradación R (0), R (4) y R (26) para las distintas dosificaciones

Dosificación	R-0	R-4	R-26
280 kgf/cm ² + 0%	0.00	11.21	40.56
280 kgf/cm ² + 3%	0.00	33.30	72.09
280 kgf/cm ² + 6%	0.00	56.08	93.32
280 kgf/cm ² + 9%	0.00	58.04	94.85

Nota. En la tabla 210 se aprecia el Resumen de índice de degradación R (0), R (4) y R (26) para las distintas dosificaciones.

Figura 188
Índice de degradación con diferentes porcentajes de TiO_2


Nota. En la figura 188 se aprecia el gráfico de Índice de degradación con diferentes porcentajes de TiO_2 .

5.4.2.1. Análisis estadístico de actividad fotocatalítica Prueba de la rodamina B a las 4 horas (R-4) en f'c 280 kgf/cm²

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de las variables del índice de decoloración a las 4 horas (R-4). Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO_2 . Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 211

Información del factor índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 211 se aprecia la información del factor índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 212

Análisis de Varianza índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Factor	3	8744.51	2914.84	1006.67	0.000
Error	20	57.91	2.90		
Total	23	8802.42			

Nota. En la tabla 212 se aprecia el análisis de Varianza índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 213

Resumen del modelo índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4

S	R- cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
1.70162	99.34%	99.24%	99.05%

Nota. En la tabla 213 se aprecia el resumen del modelo índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 214

Medias índices de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	6	11.210	0.549	(9.761; 12.659)
3% TiO ₂	6	33.303	2.335	(31.854; 34.752)
6% TiO ₂	6	56.080	2.317	(54.631; 57.529)
9% TiO ₂	6	58.045	0.678	(56.596; 59.494)

Nota. En la tabla 214 se aprecia que la Desv.Est. agrupada = 1.70162, tomado de Minitab Statistical Software 22

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

Tabla 215

Comparaciones en parejas de Tukey índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4

Factor	N	Media	Agrupación
9% TiO ₂	6	58.045	A
6% TiO ₂	6	56.080	A
3% TiO ₂	6	33.303	B
0% TiO ₂	6	11.210	C

Nota. En la tabla 215 se aprecia que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, tomado de Minitab Statistical Software 22.

Tabla 216

Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	3%	-22.09333*	.98281	<.001	-24.8441	-19.3425
	6%	-44.87000*	.98281	<.001	-47.6208	-42.1192
	9%	-46.83500*	.98281	<.001	-49.5858	-44.0842
3%	0%	22.09333*	.98281	<.001	19.3425	24.8441
	6%	-22.77667*	.98281	<.001	-25.5275	-20.0259
	9%	-24.74167*	.98281	<.001	-27.4925	-21.9909
6%	0%	44.87000*	.98281	<.001	42.1192	47.6208
	3%	22.77667*	.98281	<.001	20.0259	25.5275
	9%	-1.96500	.98281	.221	-4.7158	.7858
9%	0%	46.83500*	.98281	<.001	44.0842	49.5858
	3%	24.74167*	.98281	<.001	21.9909	27.4925
	6%	1.96500	.98281	.221	-.7858	4.7158

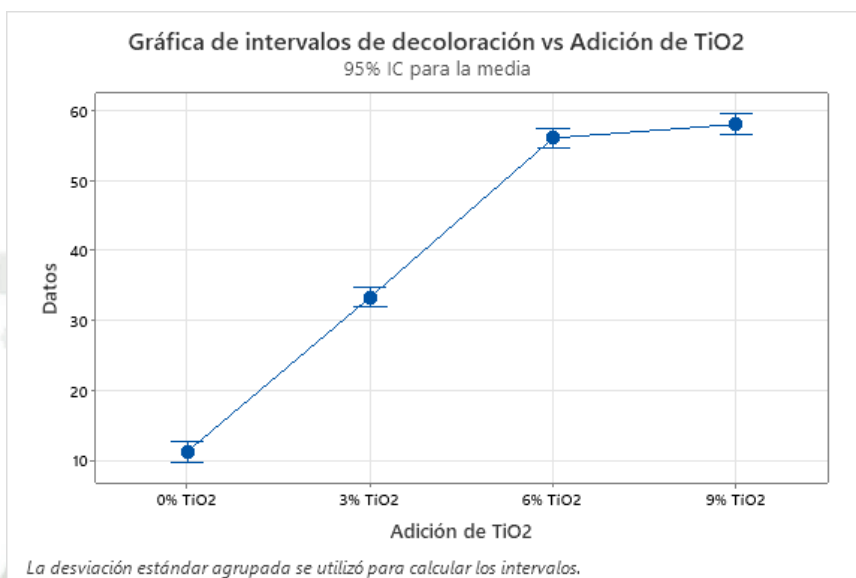
Nota. En la tabla 216 se aprecia los resultados en cuanto a las Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.00, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 6% y 9% de TiO_2 fueron similares, mientras que las adiciones de 0% y 3% de TiO_2 fueron diferentes con los demás.

Figura 189

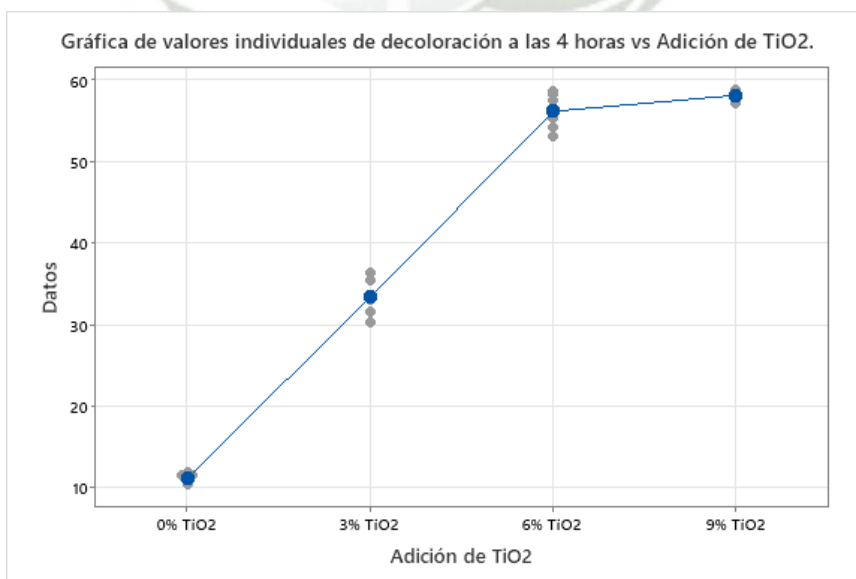
Gráfico de Intervalos índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4



Nota. En la figura 189 se aprecia el gráfico de intervalos índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de IBM SPSS Statistics

Figura 190

Valores individuales de índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4

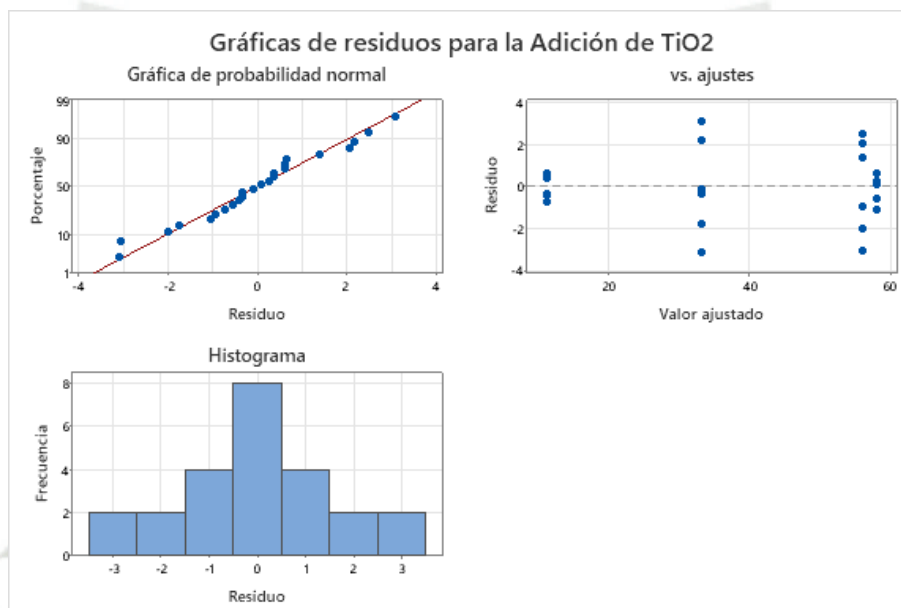


Nota. En la figura 190 se aprecia el gráfico de valores individuales de índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 4 horas R-4, tomado de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una coloración promedio a las 4 horas R-4 diferente, la adición de 0% de TiO_2 tuvo el menor índice de decoloración mientras que la adición de 9% de TiO_2 tuvo el mayor índice de decoloración. Se aprecia que mientras se aumenta la adición de TiO_2 el índice de decoloración aumenta.

Figura 191

Gráfico de residuos para el índice de decoloración f^c 280 kgf/cm^2 a las 4 horas R-4



Nota. En la figura 191 se aprecia el gráfico de residuos para el índice de decoloración f^c 280 kgf/cm^2 a las 4 horas R-4, imagen tomada de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 2 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.

5.4.2.2. Análisis estadístico de actividad fotocatalítica Prueba de la rodamina B a las 26 horas (R-26) en f'c 280 kgf/cm²

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), de la variable del índice de decoloración a las 26 horas (R-26). Así mismo se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey para determinar la diferencia la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos de TiO₂. Para el análisis de ANOVA y Tukey se utilizaron los softwares Minitab 22 y IBM SPSS, cuyos resultados se aprecian a continuación.

Método

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

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Tabla 217

Información del factor índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26

Factor	Niveles	Valores
Factor	4	0% TiO ₂ ; 3% TiO ₂ ; 6% TiO ₂ ; 9% TiO ₂

Nota. En la tabla 217 se aprecia la Información del factor índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 218

Análisis de Varianza índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Factor	3	11541.5	3847.16	5877.06	0.000
Error	20	13.1	0.65		
Total	23	11554.6			

Nota. En la tabla 218 se aprecia el Análisis de Varianza índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 219

Resumen del modelo índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.809077	99.89%	99.87%	99.84%

Nota. En la tabla 219 se aprecia el resumen del modelo índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de Minitab Statistical Software 22

Tabla 220

Medias índices de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0% TiO ₂	6	40.563	0.922	(39.874; 41.252)
3% TiO ₂	6	72.093	1.117	(71.404; 72.782)
6% TiO ₂	6	93.315	0.547	(92.626; 94.004)
9% TiO ₂	6	94.848	0.470	(94.159; 95.537)

Nota. En la tabla 220 se aprecia los resultados de Desv.Est. agrupada = 1.00040.

Tabla 221

Comparaciones en parejas de Tukey índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26

Factor	N	Media	Agrupación
9% TiO ₂	6	94.848	A
6% TiO ₂	6	93.315	B
3% TiO ₂	6	72.093	C
0% TiO ₂	6	40.563	D

Nota. En la tabla 221 se aprecia que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Tabla 222

Comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26

(I) Experimento	(J) Experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Lím. inferior	Lím. superior
0%	3%	-31.53000*	.46701	<.001	-32.8371	-30.2229
	6%	-52.75333*	.46701	<.001	-54.0605	-51.4462
	9%	-54.28500*	.46701	<.001	-55.5921	-52.9779
3%	0%	31.53000*	.46701	<.001	30.2229	32.8371
	6%	-21.22333*	.46701	<.001	-22.5305	-19.9162
	9%	-22.75500*	.46701	<.001	-24.0621	-21.4479
6%	0%	52.75333*	.46701	<.001	51.4462	54.0605
	3%	21.22333*	.46701	<.001	19.9162	22.5305
	9%	-1.53167*	.46701	.018	-2.8388	-.2245
9%	0%	54.28500*	.46701	<.001	52.9779	55.5921
	3%	22.75500*	.46701	<.001	21.4479	24.0621
	6%	1.53167*	.46701	.018	.2245	2.8388

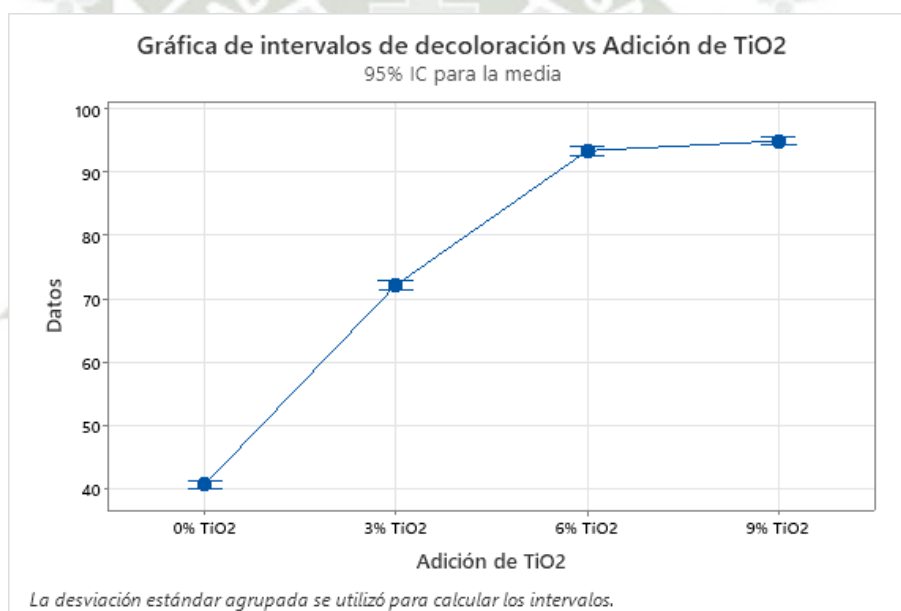
Nota. En la tabla 222 se aprecia los resultados para comparaciones múltiples HDS Tukey índice de decoloración f°c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de IBM SPSS Statistics

En el resultado de Análisis de Varianza (ANOVA), el valor de p es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula y fue de 0.00, al ser el valor de $p < 0.05$, nos indica que la resistencia a la compresión difirió cuando α es 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula “Todas las medias son iguales” y se acepta la alternativa que al menos una de las medias es diferente.

En los intervalos de confianza individual del 95% se observó que no todos los intervalos se superponen lo que nos indica que las medias fueron estadísticamente distintas. De acuerdo a la prueba de Tukey la adición de 0%, 3%, 6% y 9% de TiO_2 diferentes entre sí.

Figura 192

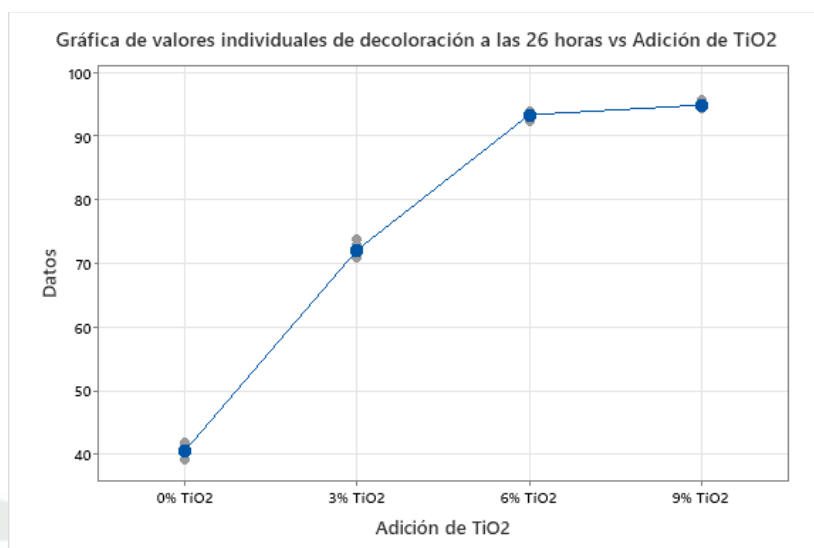
Gráfico de Intervalos índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26



Nota. En la figura 192 se aprecia el Gráfico de Intervalos índice de decoloración f'c 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de IBM SPSS Statistics

Figura 193

Valores individuales de índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26

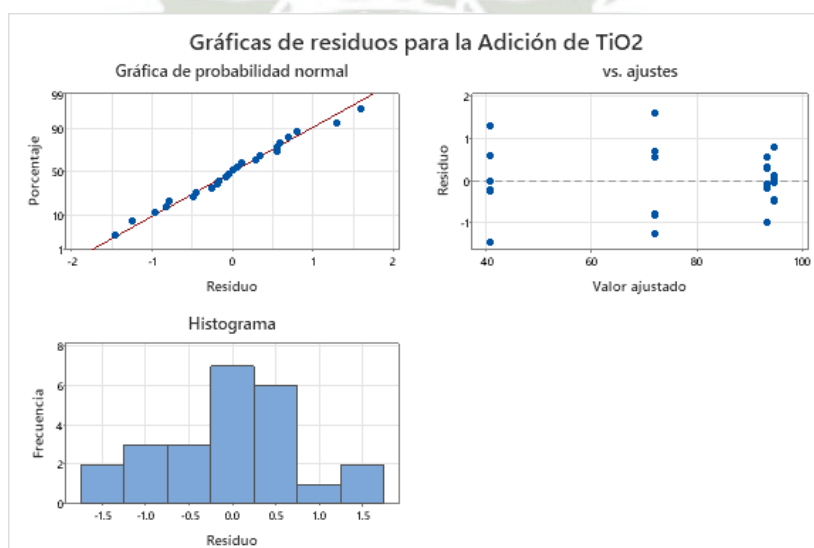


Nota. En la figura 193 se aprecia el gráfico de Valores individuales de índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de IBM SPSS Statistics

En el gráfico de valores individuales se observó que cada tratamiento tiene una coloración promedio a las 26 horas R-26 diferente, la adición de 0% de TiO₂ tuvo el menor índice de decoloración mientras que la adición de 9% de TiO₂ tuvo el mayor índice de decoloración. Se aprecia que mientras se aumenta la adición de TiO₂ el índice de decoloración aumenta.

Figura 194

Gráfico de residuos para el índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26



Nota. En la figura 194 se aprecia el gráfico de residuos para el índice de decoloración $f'c$ 280 kgf/cm² a las 26 horas R-26, tomado de IBM SPSS Statistics

De la gráfica de probabilidad normal podemos observar que los datos obtenidos están cerca de la línea de tendencia por lo que cumple con el requisito de normalidad, una línea que se aproxima a la rectitud indica que los residuos se distribuyeron de forma normal, con excepción de 2 datos que se consideraron como no normalidades. El gráfico de histograma de residuos indica los valores máximos, atípicos y no normalidades, el histograma fue simétrico y con forma de campana. El gráfico de residuos contra los valores ajustados nos indica varianzas no constantes, orden superior omitidos y valores atípicos, los residuos se dispersaron aleatoriamente en torno a 0.



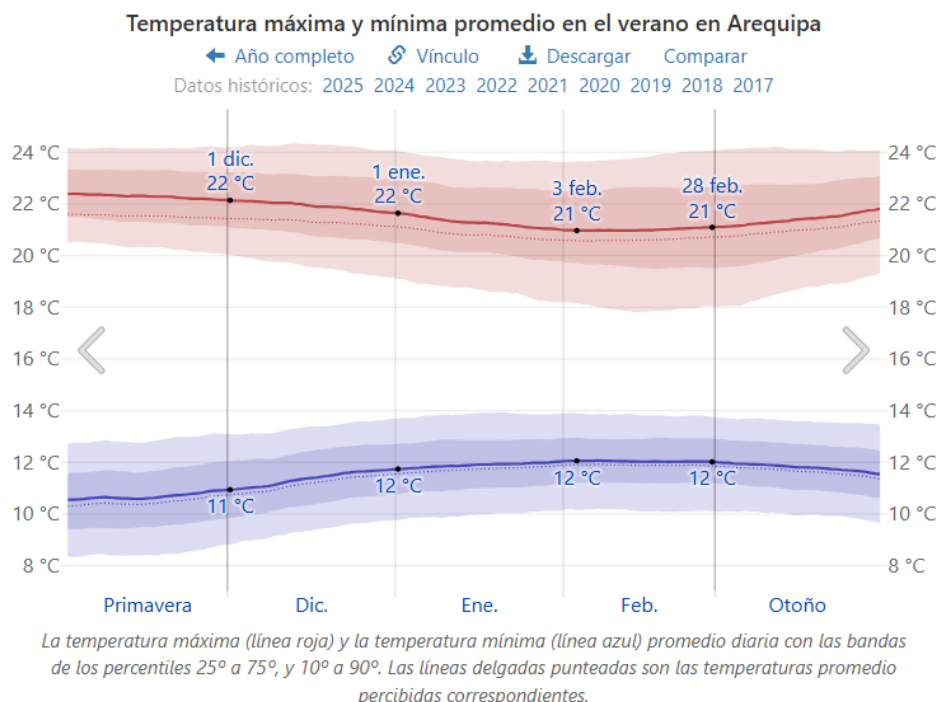
5.5. Ensayo de Intemperismo

Se utilizó paneles de concreto de 50cm x 40cm los cuales fueron expuestos a las condiciones climáticas reales por un plazo de 2 meses (60 días), en el laboratorio de suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María, al finalizar los 60 días de exposición, se cortaron las losas con ayuda de una cortadora de concreto, para ver el cambio interno y poder demostrar la compactación de los paneles endurecido y la distribución uniforme de los agregados para un acabado caravista.

Al momento de ver la distribución interna, también se aprecia el cambio de color de acuerdo a la dosificación del Dióxido de Titanio, teniendo un color más gris el concreto patrón sin adición de TiO_2 , mientras que a más Dióxido de Titanio se adicione a la mezcla el color tendrá un color más claro, el cambio se nota tanto en el concreto fresco como en el endurecido.

En esta investigación se optó por exponer las muestras a la radiación Ultravioleta (UV) de origen solar en condiciones ambientales naturales, en lugar de utilizar lámparas UV artificiales, ya que la radiación solar representa de manera más realista el ambiente al que se enfrenta el concreto en la práctica. De acuerdo a la norma (ASTM, 2018), la exposición natural a la intemperie constituye un método práctico y representativo para evaluar la durabilidad y envejecimiento de materiales no metálicos; ya que permite considerar el efecto conjunto de todos los agentes meteorológicos presentes en el ambiente.

A continuación, se presenta los datos meteorológicos (temperatura y densidad relativa) de los meses de enero y febrero en la ciudad de Arequipa.

Figura 195
Temperatura mínima y máxima en la ciudad de Arequipa en los meses de enero y febrero de 2025


Nota. En la figura 195 se aprecia la *Temperatura mínima y máxima en la ciudad de Arequipa en los meses de enero y febrero de 2025*, tomado de WEATHERSPARK

Figura 196
Temperatura mínima y máxima en la ciudad de Arequipa en los meses de enero y febrero de 2025
Resumen de condiciones meteorológicas máximas y mínimas para enero de 2025

	Temperatura	Humedad	Presión
Alto	21 °C (8 de enero, 15:00)	100% (1 de enero, 19:05)	1030 mbar (1 de enero, 19:05)
Bajo	9 °C (16 de enero, 6:00)	17% (9 de enero, 14:00)	1023 mbar (10 de enero, 15:00)
Promedio	16 °C	61%	1026 mbar

*Reportado el 1 de ene 6:00 — 31 de ene 22:00, Arequipa. Clima por CustomWeather, © 2025

Resumen de condiciones meteorológicas altas y bajas para febrero de 2025

	Temperatura	Humedad	Presión
Alto	22 °C (1 de febrero, 14:00)	100% (7 de feb., 21:00)	1030 mbar (7 de febrero, 21:00)
Bajo	11 °C (4 de feb., 6:00)	33% (2 de feb., 13:00)	1022 mbar (5 de febrero, 16:00)
Promedio	15 °C	83%	1026 mbar

* Reportado del 1 de febrero a las 6:00 p. m. al 28 de febrero a las 22:00 p. m., Arequipa. Clima por CustomWeather, © 2025

Fuente: En la figura se aprecia la temperatura mínima y máxima en la ciudad de Arequipa en los meses de enero y febrero de 2025, tomado de TIMEANDDATE

Figura 197

Vaciado de los paneles de concreto para resistencias 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm² con adición de distintos porcentajes de TiO₂



Nota. En la figura 197 se aprecia Vaciado de los paneles de concreto para resistencias 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm² con adición de distintos porcentajes de TiO₂.

Figura 198

Curado de los paneles de concreto para resistencias 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm² con adición de distintos porcentajes de TiO₂



En la figura 198 se aprecia el Curado de los paneles de concreto para resistencias 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm² con adición de distintos porcentajes de TiO₂.

Figura 199

Exposición de los paneles en el 5to piso del laboratorio de suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María.



Nota. En la figura 199 se aprecia la exposición de los paneles en el 5to piso del laboratorio de suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María.

Figura 200

Corte de los paneles de concreto en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María



Nota. En la figura 200 se aprecia el Corte de los paneles de concreto en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María.

- $f'c$ 210 kgf/cm² sin adición de TiO₂

Figura 201

Distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² +0% TiO₂



Nota. En la figura 201 se aprecia la Distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² +0% TiO₂.

- $f'c$ 210 kgf/cm² +3% de TiO₂

Figura 202

Distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² +3% TiO₂



Nota. En la figura 202 se aprecia la distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² +3% TiO₂

- $f'c$ 210 kgf/cm² +6% de TiO₂

Figura 203

Distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² +3% TiO₂



Nota. En la figura 203 se aprecia la distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² +3% TiO₂

- $f'c$ 210 kgf/cm² +9% de TiO₂

Figura 204

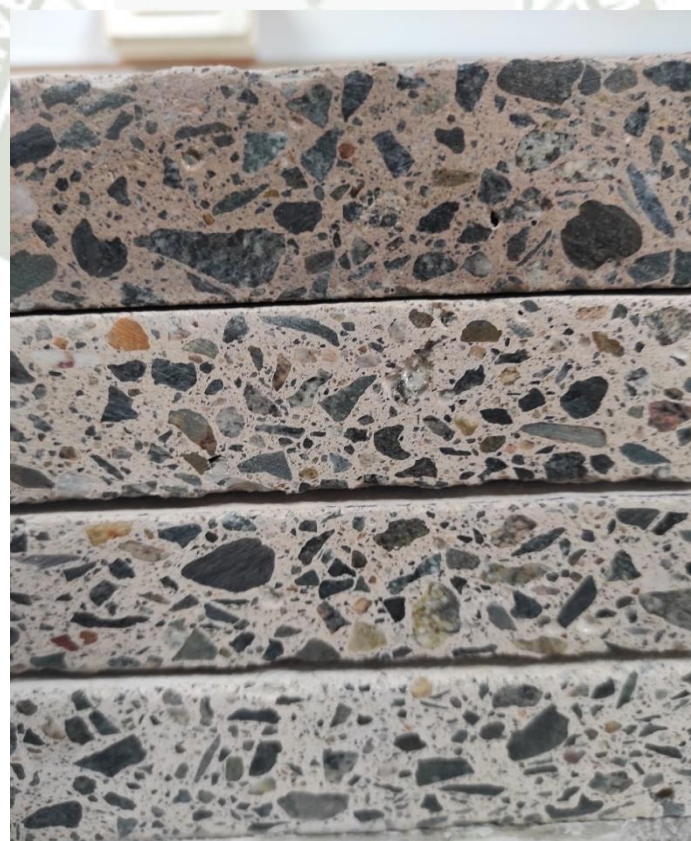
Distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² +9% TiO₂



Nota. En la figura 204 se aprecia la distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² +9% TiO₂

Figura 205

Comparación de la distribución interna de los paneles de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm²



0 % TiO₂

3 % TiO₂

6 % TiO₂

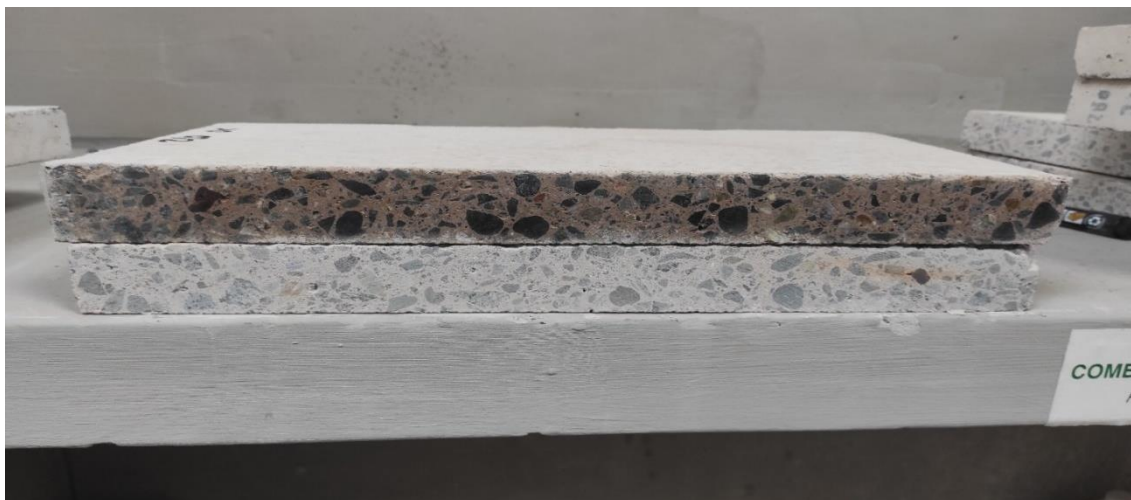
9 % TiO₂

Nota. En la figura 205 se aprecia la comparación de la distribución interna de los paneles de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm²

- $f'c$ 280 kgf/cm² +0% de TiO₂

Figura 206

Distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² +0% TiO₂



Nota. En la figura 208 se aprecia la distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² +0% TiO₂

- $f'c$ 280 kgf/cm² +3% de TiO₂

Figura 207

Distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² +3% TiO₂



Nota. En la figura 208 se aprecia la distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² +3% TiO₂

- $f'c$ 280 kgf/cm² +6% de TiO₂

Figura 208

Distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² +6% TiO₂



Nota. En la figura 208 se aprecia la distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² +6% TiO₂

- $f'c$ 280 kgf/cm² +9% de TiO₂

Figura 209

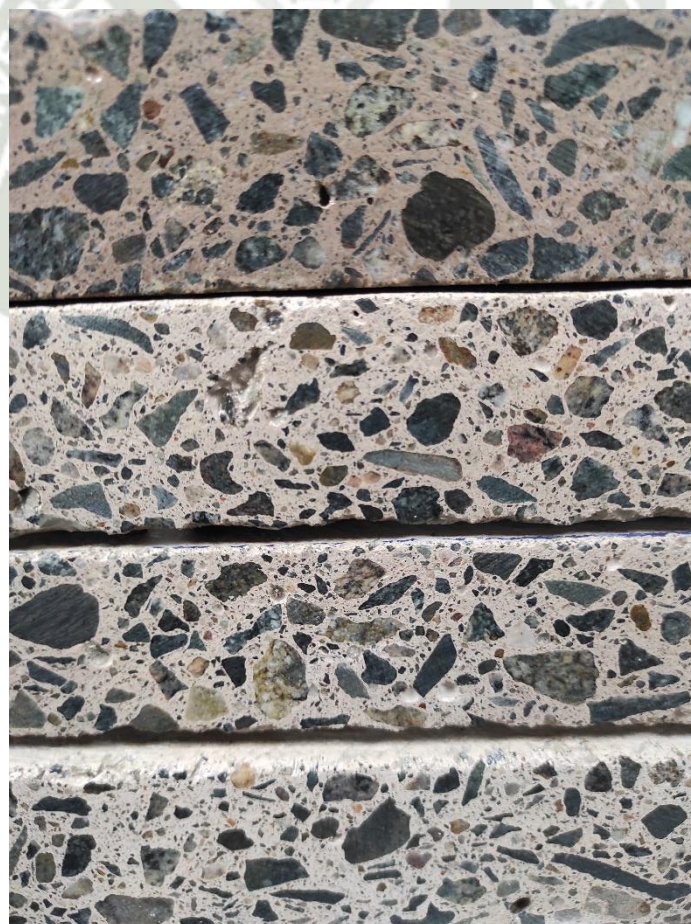
Distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² +9% TiO₂



Nota. En la figura 209 se aprecia la distribución interna del panel de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² +9% TiO₂

Figura 210

Comparación de la distribución interna de los paneles de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm²



0 % TiO₂

3 % TiO₂

6 % TiO₂

9 % TiO₂

Nota. En la figura 210 se aprecia Comparación de la distribución interna de los paneles de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm²

5.6. Análisis de costos

- $f'c$ 210 kgf/cm² + 0% de TiO₂

Tabla 223

Costo por m3 de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² + 0% de TiO₂

Material	Cantidad	Unidad	Cantidad comercial	Unidad comercial	Costo Unitario	Parcial
Agregado fino	775.82	kg/m3	0.534	m3	S/.45.00	S/.24.03
Agregado grueso	858.92	kg/m3	0.546	m3	S/.55.00	S/.30.03
Cemento	386.82	kg/m3	9.102	bolsas	S/.27.00	S/.245.74
Agua	253.82	L/m3	0.254	L	S/.5.21	S/.1.32
Dióxido de Titanio	0.00	kg/m3	0.00	kg	S/.8.83	S/.0.00
Costo por m3 de concreto =						S/.301.13

Nota. En la tabla 224 se aprecia el Costo por m3 de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² + 0% de TiO₂

- $f'c$ 210 kgf/cm² + 3% de TiO₂

Tabla 224

Costo por m3 de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² + 3% de TiO₂

Material	Cantidad	Unidad	Cantidad comercial	Unidad comercial	Costo Unitario	Parcial
Agregado fino	775.82	kg/m3	0.534	m3	S/.45.00	S/.24.03
Agregado grueso	858.92	kg/m3	0.546	m3	S/.55.00	S/.30.03
Cemento	386.82	kg/m3	9.102	bolsas	S/.27.00	S/.245.74
Agua	253.82	L/m3	0.254	L	S/.5.21	S/.1.32
Dióxido de Titanio	11.60	kg/m3	11.60	kg	S/.8.83	S/.102.43
Costo por m3 de concreto =						S/.403.55

Nota. En la tabla 224 se aprecia el Costo por m3 de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² + 3% de TiO₂

- $f'c$ 210 kgf/cm² + 6% de TiO₂

Tabla 225

Costo por m³ de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² + 6% de TiO₂

Material	Cantidad	Unidad	Cantidad comercial	Unidad comercial	Costo Unitario	Parcial
Agregado fino	775.82	kg/m ³	0.534	m ³	S/.45.00	S/.24.03
Agregado grueso	858.92	kg/m ³	0.546	m ³	S/.55.00	S/.30.03
Cemento	386.82	kg/m ³	9.102	bolsas	S/.27.00	S/.245.74
Agua	253.82	L/m ³	0.254	L	S/.5.21	S/.1.32
Dióxido de Titanio	23.21	kg/m ³	23.21	kg	S/.8.83	S/.204.85
Costo por m ³ de concreto =						S/.505.98

Nota. En la tabla 225 se aprecia el Costo por m³ de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² + 6% de TiO₂

- $f'c$ 210 kgf/cm² + 9% de TiO₂

Tabla 226

Costo por m³ de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² + 9% de TiO₂

Material	Cantidad	Unidad	Cantidad comercial	Unidad comercial	Costo Unitario	Parcial
Agregado fino	775.82	kg/m ³	0.534	m ³	S/.45.00	S/.24.03
Agregado grueso	858.92	kg/m ³	0.546	m ³	S/.55.00	S/.30.03
Cemento	386.82	kg/m ³	9.102	bolsas	S/.27.00	S/.245.74
Agua	253.82	L/m ³	0.254	L	S/.5.21	S/.1.32
Dióxido de Titanio	34.81	kg/m ³	34.81	kg	S/.8.83	S/.307.28
Costo por m ³ de concreto =						S/.608.41

Nota. En la tabla 226 se aprecia el Costo por m³ de concreto de diseño $f'c$ 210 kgf/cm² + 9% de TiO₂

- $f'c \text{ 280 kgf/cm}^2 + 0\% \text{ de TiO}_2$

Tabla 227

Costo por m3 de concreto de diseño $f'c \text{ 280 kgf/cm}^2 + 0\% \text{ de TiO}_2$

Material	Cantidad	Unidad	Cantidad comercial	Unidad comercial	Costo Unitario	Parcial
Agregado fino	677.90	kg/m3	0.466	m3	S/.45.00	S/.20.97
Agregado grueso	894.61	kg/m3	0.569	m3	S/.55.00	S/.31.30
Cemento	463.52	kg/m3	10.906	bolsas	S/.27.00	S/.294.47
Agua	250.65	L/m3	0.251	L	S/.5.21	S/.1.31
Dióxido de Titanio	0.00	kg/m3	0.00	kg	S/.8.83	S/.0.00
Costo por m3 de concreto =						S/.348.04

Nota. En la tabla 227 se aprecia el Costo por m3 de concreto de diseño $f'c \text{ 280 kgf/cm}^2 + 0\% \text{ de TiO}_2$

- $f'c \text{ 280 kgf/cm}^2 + 3\% \text{ de TiO}_2$

Tabla 228

Costo por m3 de concreto de diseño $f'c \text{ 280 kgf/cm}^2 + 3\% \text{ de TiO}_2$

Material	Cantidad	Unidad	Cantidad comercial	Unidad comercial	Costo Unitario	Parcial
Agregado fino	677.90	kg/m3	0.466	m3	S/.45.00	S/.20.97
Agregado grueso	894.61	kg/m3	0.569	m3	S/.55.00	S/.31.30
Cemento	463.52	kg/m3	10.906	bolsas	S/.27.00	S/.294.47
Agua	250.65	L/m3	0.251	L	S/.5.21	S/.1.31
Dióxido de Titanio	13.91	kg/m3	13.91	kg	S/.8.83	S/.122.74
Costo por m3 de concreto =						S/.470.78

Nota. En la tabla 228 se aprecia el Costo por m3 de concreto de diseño $f'c \text{ 280 kgf/cm}^2 + 3\% \text{ de TiO}_2$

- $f'c \text{ 280 kgf/cm}^2 + 6\% \text{ de TiO}_2$

Tabla 229

Costo por m3 de concreto de diseño $f'c \text{ 280 kgf/cm}^2 + 6\% \text{ de TiO}_2$

Material	Cantidad	Unidad	Cantidad comercial	Unidad comercial	Costo Unitario	Parcial
Agregado fino	677.90	kg/m3	0.466	m3	S/.45.00	S/.20.97
Agregado grueso	894.61	kg/m3	0.569	m3	S/.55.00	S/.31.30
Cemento	463.52	kg/m3	10.906	bolsas	S/.27.00	S/.294.47
Agua	250.65	L/m3	0.251	L	S/.5.21	S/.1.31
Dióxido de Titanio	27.81	kg/m3	27.81	kg	S/.8.83	S/.245.47
Costo por m3 de concreto =						S/.593.51

Nota. En la tabla 229 se aprecia el Costo por m3 de concreto de diseño $f'c \text{ 280 kgf/cm}^2 + 6\% \text{ de TiO}_2$

- $f'c$ 280 kgf/cm² + 9% de TiO₂

Tabla 230
Costo por m3 de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² + 9% de TiO₂

Material	Cantidad	Unidad	Cantidad comercial	Unidad comercial	Costo Unitario	Parcial
Agregado fino	677.90	kg/m3	0.466	m3	S/.45.00	S/.20.97
Agregado grueso	894.61	kg/m3	0.569	m3	S/.55.00	S/.31.30
Cemento	463.52	kg/m3	10.906	bolsas	S/.27.00	S/.294.47
Agua	250.65	L/m3	0.251	L	S/.5.21	S/.1.31
Dióxido de Titanio	41.72	kg/m3	41.72	kg	S/.8.83	S/.368.21
Costo por m3 de concreto =						S/.716.25

Nota. En la tabla 230 se aprecia el Costo por m3 de concreto de diseño $f'c$ 280 kgf/cm² + 9% de TiO₂

5.7. Discusión de resultados

- 1- En este estudio se realizó el diseño de mezcla de para el CONCRETO PATRÓN utilizando el método del módulo de fineza para la combinación de agregados, con el objetivo de obtener resistencias de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm², para el diseño 210 kgf/cm² las resistencias promedio fue 230 kgf/cm² a los 7 días, a los 14 días 264 kgf/cm² y a los 28 días 296 kgf/cm² y para 280 kgf/cm² las resistencias promedio fue 240 kgf/cm² a los 7 días, a los 14 días 295 kgf/cm² y a los 28 días 346 kgf/cm². La mejora es significativa, y las muestras más cercanas a los valores deseados sugieren que el diseño de mezcla es adecuado para las condiciones de curado empleadas. A pesar de que algunos valores fueron ligeramente inferiores a los 7 días para el concreto 280 kgf/cm², el comportamiento general de las muestras indica una tendencia de estabilización de las propiedades mecánicas con el tiempo, es importante notar que los resultados obtenidos son consistentes con las características esperadas para el diseño de mezclas con diferentes resistencias, los resultados muestran que la mezcla de concreto de mayor resistencia exhibe un mayor crecimiento de resistencia en el tiempo. Finalmente notamos que la resistencia a la compresión a los 28 días del concreto patrón sobrepasa la resistencia mínima requerida debido al factor de seguridad aplicada en el diseño de mezcla.
- 2- Los resultados obtenidos de las propiedades del concreto en estado fresco, expresados en función a diferentes concentraciones para resistencias de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm², en el ensayo de asentamiento para el diseño 210 kgf/cm² muestra una tendencia clara al incremento siendo los valores para el concreto patrón de 3.3" mientras que para las adiciones de 3%, 6% y 9% tenemos valores de 3.3", 4" y 4" respectivamente teniendo mayor valor en la adición de 6% y 9% de TiO₂; mientras que para el diseño 280 kgf/cm² los valores para el concreto patrón es 3.3" mientras que para las adiciones de 3%, 6% y 9% tenemos valores de 3.3", 3.7" y 3.6" obteniendo un mayor valor en la adición de 6% de TiO₂, concluyendo que para ambos diseños el SLUMP se encontró dentro de los rangos de diseño sin necesidad de la utilización de aditivos plastificantes. Para el análisis

de peso unitario para el diseño 210 kgf/cm² muestra valores para el concreto patrón de 2407.20 kg/cm³ mientras que para las adiciones de 3%, 6% y 9% tenemos valores de 2403.84 kg/cm³, 2465.83 kg/cm³ y 2475.01 kg/cm³ respectivamente donde podemos apreciar un incremento constante respecto al concreto patrón teniendo un mayor resultado en la adición de 9% de TiO₂, mientras que para el diseño 280 kgf/cm² los valores para el concreto patrón es 2411.26 kg/cm³ mientras que para las adiciones de 3%, 6% y 9% tenemos valores de 2464.24 kg/cm³, 2479.83 kg/cm³ y 2380.18 kg/cm³ obteniendo un mayor valor en la adición de 6% de TiO₂, teniendo un aumento en la fluidez para el diseño con adición de 6% de TiO₂ de 18%, este resultado es mayor a lo obtenido en el trabajo de investigación de (Bernuy & Flores, 2020), que obtuvo una disminución del 9.78% para un diseño de mortero de diseño óptimo de 10% de TiO₂,

- 3- El presente estudio tiene como objetivo analizar las propiedades mecánicas del concreto endurecido con capacidad autolimpiante, mediante la adición de TiO₂ (dióxido de titanio) en mezclas de concreto con resistencias de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm². El diseño de mezcla utilizado para este estudio se enfoca en la combinación de los agregados con el TiO₂, buscando obtener un concreto fotocatalítico que no solo cumpla con los requisitos estructurales, sino que también ofrezca propiedades adicionales como la autolimpieza para aplicaciones en acabados caravista en la ciudad de Arequipa. Los resultados obtenidos para el diseño 210 kgf/cm² y 0% de TiO₂ tuvo una resistencia a la compresión promedio de 198 kgf/cm² a los 7 días, 223 kgf/cm² a los 14 días y 264 kgf/cm² a los 28 días; para el diseño 210 kgf/cm² y 3% de TiO₂ tuvo una resistencia a la compresión promedio de 235 kgf/cm² a los 7 días, 288 kgf/cm² a los 14 días y 307 kgf/cm² a los 28 días. Para el diseño 210 kgf/cm² y 9% de TiO₂ tuvo una resistencia a la compresión promedio de 258 kgf/cm² a los 7 días, 271 kgf/cm² a los 14 días y 396 kgf/cm² a los 28 días. Los resultados obtenidos para el concreto con resistencia de diseño de 210 kgf/cm² y 6% de TiO₂ la a los 7 días de curado para la resistencia a la compresión promedio se encuentra en torno a los 241 kgf/cm², lo que sugiere que el concreto está alcanzando un desarrollo de resistencia adecuado en los primeros días de curado. Este comportamiento podría atribuirse a una mezcla bien dosificada y un adecuado proceso de curado, lo que genera una buena

consolidación del concreto desde sus primeras etapas. A los 14 días, la resistencia de las muestras de concreto mostró una mejora consistente, alcanzando un promedio cercano a los 274 kgf/cm². La progresión de la resistencia en este intervalo de tiempo indica que el concreto está madurando y ganando fuerza de manera significativa, con una tendencia de consolidación en los valores más altos. A los 28 días, los resultados de resistencia alcanzaron una media general de aproximadamente 307 kgf/cm². Estos valores son significativamente mayores que los obtenidos a los 7 y 14 días, y se acercan a los niveles especificados para la resistencia de diseño de 210 kgf/cm². Este comportamiento demuestra que el concreto sigue ganando resistencia con el tiempo, alcanzando su máxima capacidad mecánica en el ciclo estándar de curado. Aunque los resultados presentados corresponden al concreto con 6% de TiO₂, es relevante mencionar que la adición de TiO₂ en el concreto fotocatalítico generalmente no debería afectar negativamente las propiedades mecánicas, sino que puede ofrecer beneficios adicionales, como la mejora de la capacidad de autolimpieza y resistencia a la contaminación. Los resultados de la resistencia a la tracción promedio para el diseño 210 kgf/cm² y 0% de TiO₂ es 24 kgf/cm² a los 7 días, 22 kgf/cm² a los 14 días y 24 kgf/cm² a los 28 días, la resistencia a la tracción promedio para el diseño 210 kgf/cm² y 3% de TiO₂ es 21 kgf/cm² a los 7 días, 26 kgf/cm² a los 14 días y 28 kgf/cm² a los 28 días, la resistencia a la tracción promedio para el diseño 210 kgf/cm² y 6% de TiO₂ es 21 kgf/cm² a los 7 días, 23 kgf/cm² a los 14 días y 23 kgf/cm² a los 28 días y la resistencia a la tracción promedio para el diseño 210 kgf/cm² y 9% de TiO₂ es 26 kgf/cm² a los 7 días, 24 kgf/cm² a los 14 días y 27 kgf/cm² a los 28 días, también observamos que la resistencia tiende al crecimiento en el diseño 210 kgf/cm² y 3% de TiO₂ y es el diseños que tiene los mejores resultados y observando una tendencia clara al incremento a los 7 días, 14 días y 28 días,.

- 4- Los resultados obtenidos para el diseño 280 kgf/cm² y 0% de TiO₂ tuvo una resistencia a la compresión promedio de 289 kgf/cm² a los 7 días, 308 kgf/cm² a los 14 días y 379 kgf/cm² a los 28 días; para el diseño 280 kgf/cm² y 3% de TiO₂ tuvo una resistencia a la compresión promedio de 315 kgf/cm² a los 7 días, 356 kgf/cm² a los 14 días y 382 kgf/cm² a los 28 días. Para el diseño 280 kgf/cm² y

9% de TiO_2 tuvo una resistencia a la compresión promedio de 335 kgf/cm^2 a los 7 días, 354 kgf/cm^2 a los 14 días y 378 kgf/cm^2 a los 28 días. Los resultados obtenidos para el concreto con resistencia de diseño de 280 kgf/cm^2 y 6% de TiO_2 la a los 7 días de curado para la resistencia a la compresión promedio se encuentra en torno a los 322 kgf/cm^2 , lo que sugiere que el concreto está alcanzando un desarrollo de resistencia adecuado en los primeros días de curado. Este comportamiento podría atribuirse a una mezcla bien dosificada y un adecuado proceso de curado, lo que genera una buena consolidación del concreto desde sus primeras etapas. A los 14 días, la resistencia de las muestras de concreto mostró una mejora consistente, alcanzando un promedio cercano a los 346 kgf/cm^2 . La progresión de la resistencia en este intervalo de tiempo indica que el concreto está madurando y ganando fuerza de manera significativa, con una tendencia de consolidación en los valores más altos. A los 28 días, los resultados de resistencia alcanzaron una media general de aproximadamente 396 kgf/cm^2 . Estos valores son significativamente mayores que los obtenidos a los 7 y 14 días, y se acercan a los niveles especificados para la resistencia de diseño de 280 kgf/cm^2 . Este comportamiento demuestra que el concreto sigue ganando resistencia con el tiempo, alcanzando su máxima capacidad mecánica en el ciclo estándar de curado. Aunque los resultados presentados corresponden al concreto con 6% de TiO_2 , es relevante mencionar que la adición de TiO_2 en el concreto fotocatalítico generalmente no debería afectar negativamente las propiedades mecánicas, sino que puede ofrecer beneficios adicionales, como la mejora de la capacidad de autolimpieza y resistencia a la contaminación. Los resultados de la resistencia a la tracción promedio para el diseño 280 kgf/cm^2 y 0% de TiO_2 es 27 kgf/cm^2 a los 7 días, 28 kgf/cm^2 a los 14 días y 34 kgf/cm^2 a los 28 días, la resistencia a la tracción promedio para el diseño 280 kgf/cm^2 y 3% de TiO_2 es 26 kgf/cm^2 a los 7 días, 29 kgf/cm^2 a los 14 días y 27 kgf/cm^2 a los 28 días, la resistencia a la tracción promedio para el diseño 280 kgf/cm^2 y 6% de TiO_2 es 29 kgf/cm^2 a los 7 días, 29 kgf/cm^2 a los 14 días y 28 kgf/cm^2 a los 28 días y la resistencia a la tracción promedio para el diseño 280 kgf/cm^2 y 9% de TiO_2 es 27 kgf/cm^2 a los 7 días, 24 kgf/cm^2 a los 14 días y 30 kgf/cm^2 a los 28 días, también observamos que la resistencia en el diseño 280 kgf/cm^2 y 0% de TiO_2 y tiene mejor resultado teniendo

como resistencia 34 kgf/cm² a los 28 días mientras que en los demás diseños se observa que el diseño 280 kgf/cm² y 9% de TiO₂ tiene las mejores resistencias.

- 5- La resistencia a la compresión del concreto sin adición (210 kgf/cm² y 0 % de TiO₂) fue de 264 kgf/cm² a los 28 días, mientras que con la incorporación de un 6 % de TiO₂ alcanzó 307 kgf/cm², lo que representa un incremento significativo del 16.13 % en su capacidad resistente; de manera similar, para el concreto de 280 kgf/cm² sin adición se obtuvo un valor de 378.51 kgf/cm², incrementándose a 396.21 kgf/cm² con 6 % de TiO₂ (equivalente a un aumento del 4.68 %), resultados que evidencian el efecto positivo del dióxido de titanio en la mejora de las propiedades mecánicas y que contrastan con los hallazgos de (Chirinos, 2019), quien reportó una disminución del 26.16 % al emplear un 10 % de TiO₂ en morteros; así como con los resultados de (Bernuy & Flores, 2020) quienes observaron reducciones del 4.76 %, 15.24 % y 24.76 % al utilizar 5 %, 7.5 % y 10 % de TiO₂, respectivamente; además de los resultados de (Najar S. , 2021), que encontró un aumento del 2.48 % con 3 %, pero disminuciones del 0.96 % y 4 % con 5 % y 12 % de TiO₂; y finalmente (Vásquez, 2016), quien reportó incrementos más modestos del 2.31 % y 0.78 % con 0 % y 3 %, así como una disminución del 0.75 % con 6 % y aumentos del 2.11 % y 2.33 % con 9 % y 12 % de TiO₂, respectivamente, destacando así la efectividad de la dosificación óptima propuesta en el presente estudio frente a los valores reportados en investigaciones previas.
- 6- Los resultados obtenidos del índice de decoloración, expresados en función de las diferentes concentraciones de TiO₂, muestran una tendencia clara en cuanto a la capacidad de autolimpieza del concreto con adición de este material. 0% de TiO₂: En la mezcla de diseño **210 kgf/cm²** sin adición de TiO₂, el índice de decoloración a las 4 horas (R-4) es de 6.32% y a las 26 horas (R-26) es de 31.93%. Este valor indica que el concreto no presenta ninguna capacidad autolimpiante sin el uso de TiO₂ al ser menor al 20% a las 4 horas y al 50% a las 26 horas, establecido para considerarse un material fotocatalítico. Es importante destacar que el concreto convencional, sin la adición de materiales fotocatalíticos, tiende a mantener su apariencia sin mejoras en la autolimpieza. El 3% de TiO₂: Con la adición del 3%

de TiO_2 , el índice de decoloración (R-26) aumenta a 67.86%, lo que representa un incremento en la capacidad de autolimpieza en comparación con el concreto sin TiO_2 , muestra que la incorporación de TiO_2 comienza a tener un efecto notable en la mejora de la capacidad fotocatalítica, lo que favorece la reducción de la suciedad adherida a la superficie del concreto. El 6% de TiO_2 : Al incrementar la cantidad de TiO_2 a un 6%, el índice de decoloración (R-26) sube a 92.36%, lo que refleja una mejora adicional en la capacidad de autolimpieza. Este aumento en el índice sugiere que el TiO_2 tiene un efecto acumulativo en la mejora de la capacidad fotocatalítica, promoviendo una mayor descomposición de contaminantes y partículas que afectan la apariencia del concreto. El 9% de TiO_2 : Finalmente, con el 9% de TiO_2 , el índice de decoloración (R-26) alcanza 93.06%. Este valor es el más alto registrado, lo que indica que a mayores concentraciones de TiO_2 , el concreto fotocatalítico exhibe una capacidad autolimpiante significativamente superior. Este comportamiento es consistente con la naturaleza de los materiales fotocatalíticos, que requieren una cantidad adecuada de TiO_2 para optimizar su acción en la limpieza de la superficie, especialmente en ambientes urbanos con altos niveles de contaminación. Los resultados del índice de decoloración demuestran que la adición de TiO_2 en mezclas de concreto tiene un impacto significativo en la mejora de la capacidad autolimpiante, especialmente cuando se alcanzan concentraciones de 6% y 9% de TiO_2 . En la mezcla de diseño **280 kgf/cm²** sin adición de TiO_2 , el índice de decoloración a las 4 horas (R-4) es de 11.21% y a las 26 horas (R-26) es de 40.56%. Este valor indica que el concreto no presenta ninguna capacidad autolimpiante sin el uso de TiO_2 al ser menor al 20% a las 4 horas y al 50% a las 26 horas, establecido para considerarse un material fotocatalítico. Es importante destacar que el concreto convencional, sin la adición de materiales fotocatalíticos, tiende a mantener su apariencia sin mejoras en la autolimpieza. El 3% de TiO_2 : Con la adición del 3% de TiO_2 , el índice de decoloración (R-26) aumenta a 72.09%, lo que representa un incremento en la capacidad de autolimpieza en comparación con el concreto sin TiO_2 , muestra que la incorporación de TiO_2 comienza a tener un efecto notable en la mejora de la capacidad fotocatalítica, lo que favorece la reducción de la suciedad adherida a la superficie del concreto. El 6% de TiO_2 : Al incrementar la cantidad de TiO_2 a un 6%, el índice de decoloración (R-26) sube a 93.32%, lo que

refleja una mejora adicional en la capacidad de autolimpieza. Este aumento en el índice sugiere que el TiO_2 tiene un efecto acumulativo en la mejora de la capacidad fotocatalítica, promoviendo una mayor descomposición de contaminantes y partículas que afectan la apariencia del concreto. El 9% de TiO_2 : Finalmente, con el 9% de TiO_2 , el índice de decoloración (R-26) alcanza 94.85%. Este valor es el más alto registrado, lo que indica que a mayores concentraciones de TiO_2 , el concreto fotocatalítico exhibe una capacidad autolimpiante significativamente superior. Este comportamiento es consistente con la naturaleza de los materiales fotocatalíticos, que requieren una cantidad adecuada de TiO_2 para optimizar su acción en la limpieza de la superficie, especialmente en ambientes urbanos con altos niveles de contaminación. Los resultados del índice de decoloración demuestran que la adición de TiO_2 en mezclas de concreto tiene un impacto significativo en la mejora de la capacidad autolimpiante, especialmente cuando se alcanzan concentraciones de 6% y 9% de TiO_2 . Este comportamiento es crucial para aplicaciones de acabados caravista en la ciudad de Arequipa, donde las superficies de concreto están expuestas a la contaminación atmosférica.

- 7- Los resultados obtenidos para el índice de decoloración en el concreto fotocatalítico con la adición del 6 % de TiO_2 fueron de 92.36 % para el diseño con resistencia de 210 kgf/cm² y de 93.32 % para el diseño con 280 kgf/cm², lo que evidencia una excelente actividad fotocatalítica al superar ampliamente el umbral mínimo de referencia del 50 % de decoloración, considerado indicador de eficiencia en la degradación de contaminantes orgánicos. Además, estos valores son superiores a los reportados en estudios anteriores, como el de (Chirinos, 2019) , quien obtuvo un índice de decoloración de 77.79 % en morteros con adición óptima del 10 % de TiO_2 , y el de (Bernuy & Flores, 2020), quienes alcanzaron un 84.19 % en morteros con la misma proporción de adición. Por su parte, (Najar S. , 2021) concluyó que la adición del 7 % de TiO_2 fue la más adecuada en su estudio, mientras que la adición del 12 % no mostró un desempeño eficiente, posiblemente debido a la saturación de partículas y la disminución de la efectividad de la luz sobre la superficie activa. Asimismo, (Vásquez, 2016) determinó que el rango óptimo de adición se encontraba entre el 3 % y el 6 % de TiO_2 , alcanzando índices

de decoloración de 59 % y 71.20 %, respectivamente, valores que, si bien son aceptables, resultan inferiores a los obtenidos en el presente estudio. En conjunto, estos resultados destacan la efectividad del concreto fotocatalítico propuesto, evidenciando su potencial para aplicaciones urbanas con beneficios ambientales significativos, como la reducción de contaminantes y la mejora de la calidad del aire.

- 8- El comportamiento de la resistencia del concreto en las distintas edades de curado muestra una tendencia de crecimiento consistente a medida que pasa el tiempo, lo cual es común en los concretos con un diseño de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm², alcanzando los niveles más altos de resistencia hacia el final del periodo de curado. Este aumento progresivo en la resistencia es esperado y refleja la capacidad del concreto para desarrollar su resistencia interna con el tiempo, lo cual es crucial para evaluar la interacción de TiO₂ en el concreto. Aunque las resistencias fueron consistentes y relativamente estables durante el periodo de prueba, la comparación entre las diferentes edades puede ayudar a determinar el momento óptimo para evaluar la eficiencia del TiO₂ en la mejora de la autolimpieza. Las propiedades mecánicas del concreto sin TiO₂ reflejan un buen desempeño en términos de resistencia a compresión, que es fundamental para asegurar la durabilidad y seguridad de las estructuras. Las resistencias promedio alcanzadas en las pruebas de compresión para las edades de 7, 14 y 28 días indican que el concreto se comporta de acuerdo a lo esperado para un diseño de 210 kgf/cm² y 210 kgf/cm². Sin embargo, para aplicaciones en las que la autolimpieza es crucial (como el acabado caravista en áreas urbanas), la incorporación de TiO₂ podría ser un factor clave para mejorar la funcionalidad del material a largo plazo. En el ensayo del Intemperismo pudimos observar que el concreto fotocatalítico tuvo una gran resistencia a los efectos del Intemperismo, conservando sus propiedades físicas a pesar de la exposición prolongada a ciclos de humedad, temperatura y radiación solar, también observamos un mínimo de deterioro superficial lo que indica una adecuada durabilidad del concreto frente a las condiciones ambientales. El análisis de costos indico el costo para 1m³ de concreto de diseño **210 kgf/cm²** y 0% de TiO₂ es de S/.301.13, con la adición del 3% de TiO₂ el costo es de S/.403.55 incrementando un 34.01%, con la adición del

6% de TiO_2 el costo es de S/.505.98 incrementando un 68.03%, con la adición del 9% de TiO_2 el costo es de S/.608.41 incrementando un 102.04% respecto al costo de concreto sin adición de TiO_2 . Por lo tanto se deduce que el mejor tratamiento para el diseño 210 kgf/cm^2 es la adición de 6% de TiO_2 por sus alta resistencia a la tracción y compresión, su alto índice de decoloración y su costo frente a las demás adiciones de TiO_2 . Para el concreto de diseño **280 kgf/cm^2** y 0% de TiO_2 es de S/.348.04, con la adición del 3% de TiO_2 el costo es de S/.470.78 incrementando un 35.26%, con la adición del 6% de TiO_2 el costo es de S/.593.51 incrementando un 70.53%, con la adición del 9% de TiO_2 el costo es de S/.716.25 incrementando un 105.79% respecto al costo de concreto sin adición de TiO_2 . Por lo tanto, se deduce que el mejor tratamiento para el diseño 280 kgf/cm^2 es la adición de 6% de TiO_2 por su alta resistencia a la tracción y compresión, su alto índice de decoloración y su costo frente a las demás adiciones de TiO_2 .

CONCLUSIONES

- 1- En el diseño de la mezcla de concreto empleando el método de módulo de finesa de la combinación de agregados para resistencias $f'c$ de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm², se logró establecer un comportamiento significativo de los diferentes lotes de mezcla. Se observó que las muestras con una resistencia de 280 kgf/cm², a medida que avanzaron en el tiempo de curado (7, 14 y 28 días), presentaron incrementos notables en la resistencia a la compresión, alcanzando valores máximos de 346 kgf/cm² a los 28 días. Este comportamiento indica que el concreto diseñado con la combinación de agregados según el método de módulo de finesa tiene una buena capacidad de adaptación para lograr resistencias superiores en el tiempo, lo cual es crucial para aplicaciones estructurales que requieren alta resistencia. Por otro lado, el concreto diseñado con $f'c$ de 210 kgf/cm² mostró resultados más altos los primeros días, con valores máximos alcanzando los 230 kgf/cm² a los 7 días, y estabilizándose alrededor de 296 kgf/cm² en los 28 días. Estos valores, aunque menores en comparación con el diseño de mayor resistencia, aún evidencian la adecuación del diseño para aplicaciones donde se requieren altas resistencias y una durabilidad y desempeño aceptables en términos de la relación de trabajo, tiempo de curado y consistencia de la mezcla.

- 2- El estudio de las propiedades mecánicas del concreto endurecido con capacidad autolimpiante, específicamente el concreto fotocatalítico con adición de TiO₂, para resistencias $f'c$ de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm², ha demostrado un comportamiento favorable en términos de resistencia a la compresión en diversas etapas de curado (7, 14 y 28 días), Según los análisis de ANOVA y Tukey, en el diseño de 210 kgf/cm², la adición de 6% de TiO₂ tuvo el mayor desempeño siendo su resistencia media 307 kgf/cm², mientras que para el diseño 280 kgf/cm², la adición de 6% de TiO₂ tuvo el mayor desempeño siendo su resistencia media 396 kgf/cm², El uso de TiO₂ como aditivo en la mezcla no sólo favorece la resistencia mecánica, sino que también potencialmente contribuye a la capacidad autolimpiante del concreto, lo cual es un valor añadido, especialmente en proyectos de acabados caravista en la ciudad de Arequipa, donde las condiciones

climáticas pueden afectar el mantenimiento de las superficies expuestas. La mezcla con 0% de TiO_2 también mostró un buen desempeño, evidenciando que las propiedades mecánicas del concreto no se ven comprometidas incluso sin la adición de este compuesto, lo que sugiere la viabilidad del concreto para diferentes aplicaciones, incluidos acabados arquitectónicos con requisitos de resistencia. Sin embargo, se espera que la inclusión de TiO_2 brinde mayores beneficios en términos de durabilidad y funcionalidad a largo plazo.

- 3- El estudio sobre el índice de decoloración en la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 para resistencias f'_c de 210 kgf/cm^2 y 280 kgf/cm^2 ha mostrado resultados prometedores, evidenciando una relación directa entre la cantidad de TiO_2 añadido y el grado de decoloración observado. Se observó que con el incremento de TiO_2 (0%, 3%, 6%, 9%), Según los análisis de ANOVA y Tukey, en el diseño de 210 kgf/cm^2 , la adición de 6% de TiO_2 tuvo el mayor desempeño siendo el índice de decoloración promedio a las 4 horas (R-4) 58.21 y su índice de decoloración a las 26 horas (R-26) de 92.36, mientras que para el diseño 280 kgf/cm^2 , la adición de 6% de TiO_2 tuvo el mayor desempeño siendo el índice de decoloración promedio R-4 56.08 y su índice de decoloración R-26 de 93.31. La adición de TiO_2 al concreto tuvo un impacto significativo en el comportamiento fotocatalítico, mejorando su capacidad autolimpiante, lo que es crucial para los acabados caravista en la ciudad de Arequipa, dada su exposición a la radiación solar intensa y a la contaminación atmosférica. A medida que el porcentaje de TiO_2 incrementó, también lo hizo la capacidad de decoloración del concreto, lo que sugiere que el material tiene el potencial de reducir los efectos de suciedad y manchas en las superficies expuestas. Además, el concreto con TiO_2 mostró una capacidad de autolimpieza mejorada, lo cual es una ventaja significativa en términos de mantenimiento a largo plazo de las estructuras, especialmente para aplicaciones de acabados arquitectónicos en condiciones climáticas desafiantes. El uso de TiO_2 en el concreto fotocatalítico mejora tanto sus propiedades mecánicas como su funcionalidad autolimpiante, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en acabados caravista en la ciudad de Arequipa, donde las condiciones ambientales pueden causar la acumulación de suciedad en las superficies expuestas. Sin embargo, la relación entre la cantidad

de TiO_2 y la decoloración debe ser cuidadosamente manejada para balancear la estética y la durabilidad del material.

- 4- La evaluación del efecto de la incorporación del fotocatalizador dióxido de titanio (TiO_2) en la capacidad de autolimpieza del concreto, con una resistencia f'_c de 210 kgf/cm^2 , ha mostrado resultados positivos en cuanto a su funcionalidad autolimpiante, sin que esto afecte significativamente las propiedades mecánicas del concreto. En los diferentes tiempos de curado (7, 14 y 28 días), se observó que el concreto con adición de TiO_2 mantuvo una resistencia suficiente para sus aplicaciones. A medida que aumentó el tiempo de curado, la resistencia se incrementó progresivamente, mostrando que el TiO_2 no solo tiene un efecto fotocatalítico, sino que también puede contribuir al fortalecimiento gradual del concreto. El efecto de autolimpieza observado en las mezclas con TiO_2 es especialmente relevante para aplicaciones arquitectónicas en condiciones ambientales de la ciudad de Arequipa, donde la exposición a la contaminación y a los factores climáticos puede afectar la estética de las superficies de concreto. El TiO_2 , en las proporciones estudiadas, parece mejorar la capacidad de autolimpieza del concreto sin comprometer significativamente sus propiedades mecánicas, lo que sugiere que el uso de este material en la construcción de superficies caravista podría ser beneficioso tanto en términos de funcionalidad como en durabilidad. En resumen, la incorporación de TiO_2 en el concreto no solo potencia su capacidad de autolimpieza, sino que también mantiene un buen rendimiento mecánico, lo que hace a este material una opción viable para aplicaciones arquitectónicas sostenibles en ambientes urbanos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear el método del módulo de fineza de la combinación de agregados como una estrategia eficaz para el diseño de mezclas de concreto, especialmente en aplicaciones estructurales que exijan altas resistencias mecánicas y durabilidad a largo plazo. En particular, para obras que requieren un $f'c \geq 280 \text{ kgf/cm}^2$, este método ha demostrado permitir una ganancia progresiva de resistencia durante el curado, alcanzando valores significativamente superiores al diseño inicial. Asimismo, para estructuras con requerimientos moderados ($f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$), el método sigue siendo adecuado, mostrando un comportamiento estable y eficiente desde los primeros días. Por lo tanto, se sugiere adoptar este enfoque tanto en obras de infraestructura como en edificaciones civiles, asegurando un control adecuado del curado y de la dosificación de materiales para maximizar los beneficios estructurales y de durabilidad del concreto.
- Se recomienda fomentar el uso de concreto fotocatalítico con adición de dióxido de titanio (TiO_2) en proyectos de construcción urbana, especialmente en edificaciones con acabados caravista o superficies expuestas a agentes contaminantes, como los ubicados en la ciudad de Arequipa. La adición de TiO_2 no solo mejora la resistencia mecánica del concreto en etapas tempranas y a largo plazo, sino que también aporta una capacidad autolimpiante, reduciendo los costos de mantenimiento y prolongando la estética y funcionalidad de las superficies. Asimismo, dado que las mezclas sin TiO_2 también presentaron un desempeño adecuado, se sugiere ajustar la dosificación del aditivo según las necesidades específicas del proyecto, priorizando su uso en zonas de alto impacto visual o expuestas a contaminación ambiental, con el fin de optimizar los recursos sin comprometer la calidad estructural del concreto.
- Se recomienda incorporar dióxido de titanio (TiO_2) en el diseño de mezclas de concreto destinadas a acabados arquitectónicos caravista, especialmente en entornos urbanos como la ciudad de Arequipa, donde las condiciones climáticas y la contaminación atmosférica favorecen la acumulación de suciedad en las

superficies expuestas. El estudio demuestra que el aumento del contenido de TiO_2 mejora significativamente la capacidad autolimpiante del concreto, evidenciado por un mayor índice de decoloración. Por ello, se sugiere utilizar proporciones de entre 3% y 9% de TiO_2 , evaluando cada caso según el grado de exposición y el requerimiento estético del proyecto. Sin embargo, es fundamental equilibrar la cantidad de aditivo para no comprometer la durabilidad ni los costos del material, por lo que se recomienda realizar ensayos previos en condiciones reales para determinar la dosificación óptima que maximice tanto la funcionalidad fotocatalítica como el rendimiento mecánico y estético del concreto.

- Se recomienda la incorporación de dióxido de titanio (TiO_2) como aditivo en mezclas de concreto destinadas a acabados arquitectónicos caravista en entornos urbanos como Arequipa, donde las condiciones climáticas y la contaminación ambiental afectan significativamente la estética de las superficies expuestas. Los resultados indican que el TiO_2 mejora la capacidad autolimpiante del concreto sin comprometer su resistencia mecánica, incluso en mezclas con f'_c de 210 kgf/cm². Por ello, su uso es particularmente ventajoso para proyectos que buscan reducir los costos de mantenimiento y prolongar la vida útil visual y funcional del material. Se recomienda, no obstante, realizar una evaluación técnica previa para determinar la proporción óptima de TiO_2 , asegurando un balance adecuado entre el desempeño fotocatalítico, el costo del material y las exigencias estructurales del proyecto. Esta estrategia contribuye a promover construcciones sostenibles y de bajo mantenimiento en zonas urbanas de alta exposición ambiental.

REFERENCIAS

- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Bernuy, G., & Flores, H. (2020). *Evaluación de las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiable del mortero c/a 1:5 de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂) en la ciudad de Lima*. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicada.
- Camelo, D., & Segura, D. (2019). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de prefabricados para obras de infraestructura vial en concreto adicionado con dióxido de titanio (TiO₂)*. Girardot, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Carazas, C., & Palomino, N. (2020). *Evaluación de las propiedades físico- mecánicas y fotocatalíticas del mortero patrón del cemento respecto al mortero del cemento adicionado con dióxido de titanio al 3%, 5% y 7%- Cusco 2020*. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco.
- Chirinos, K. (2019). *Mortero fotocatalítico con TiO₂ para la reducción de la contaminación del aire por emisiones procedentes*. Lima, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Fernández, M., & Huaman, F. (2022). *Evaluación de las Propiedades Físicas, Mecánicas y Resistencia del Concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ Adicionando Fibra de Caucho Reciclado, Chepen-2022*. Lima, Perú: Universidad César Vallejo.
- Fernández, J. (2023). Influencia Del Dióxido De Titanio En El Concreto Permeable Con Efecto Fotocatalizador. *Dióxido de Titanio en concreto Fotocatalítico*.
- Fernández, R. (10 de junio de 2020). *Fotocatálisis: Qué es y qué beneficios tiene*. Obtenido de <https://www.marinclimatizacion.com/fotocatálisis-que-es-beneficios-tiene/>
- Grupo Neumann. (2022). *Dióxido de titanio*. Obtenido de [https://www.gab-neumann.com/Aplicaciones/\\$/Di%C3%B3xido-de-titanio/153](https://www.gab-neumann.com/Aplicaciones/$/Di%C3%B3xido-de-titanio/153)
- Guo, Z., Huang, C., & Chen, Y. (2020). Experimental study on photocatalytic degradation efficiency of mixed crystal nano-TiO₂ concrete. *Nanotechnology Review*, 219-229. doi:10.1515/ntrev-2020-0019

- Heraldo. (22 de septiembre de 2020). *¿Qué causa la contaminación del aire?* Obtenido de <https://www.heraldo.es/branded/causas-de-la-contaminacion-del-aire/#:~:text=Las%20principales%20causas%20de%20la,y%20del%20transporte%20por%20carretera.>
- Hernández, E. (2022). *El dióxido de titanio, un material estrella*. Obtenido de <https://www.ugto.mx/investigacionyposgrado/eugreka/index.php/contribuciones/387-el-dioxido-de-titanio-un-material-estrella>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México.
- León, M. (16 de mayo de 2013). *Concreto caravista*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/MauricioJavierLeonTejada/concreto-caravista>
- López, R. (23 de junio de 2018). *Materiales de Construcción - Acabados caravista y enlucido*. Obtenido de <https://prezi.com/p/3ei3xctajsiv/materiales-de-construccion-acabados-caravista-y-enlucido/>
- Maldonado, D. (12 de abril de 2023). *Dióxido de titanio sigue en el ojo del huracán: ¿qué alternativas hay?* Obtenido de <https://www.revistaalimentos.com/es/noticias/dioxido-de-titanio-sigue-en-el-ojo-del-huracan-que-alternativas-hay>
- Meng, C., Dong, P., Tian, H., Cheng, T., Li, J., Liu, Y., . . . Chen, X. (2020). Adoquín de hormigón fotocatalítico reforzado con nanotubos de TiO₂ para la eliminación de NO. *Revista de ciencia de materiales*, 14280-14291. doi:10.1007/s10853-020-05048-w
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2006). *Contaminación Atmosférica*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20es%20la,encuentran%20expuestas%20a%20dicho%20ambiente.>
- Najar, S. (2021). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de adoquines para obras de infraestructura vial adicionado con TiO₂ (Dióxido de titanio) en la ciudad de Arequipa 2021*. Arequipa, Perú: Universidad Católica San Pablo.

- NTP 339.034. (2015). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Lima.
- NTP 339.035. (2009). *Método para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland*. Lima.
- NTP 339.046. (2008). *Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón(concreto)*. Lima.
- NTP 339.084. (2022). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. Lima.
- NTP 339.183. (2013). *Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*. Lima.
- NTP 339.184. (2021). *Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo*. Lima.
- NTP 339.185. (2002). *Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregado por secado*. Lima.
- NTP 400.012. (2018). *Análisis granulométrico del agregado grueso, fino y global*. Lima.
- NTP 400.017. (2011). *Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado*. Lima.
- NTP 400.017. (2011). *Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado*. Lima.
- NTP 400.018. (2013). *Método del ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ g (N° 200) por lavado en agregados*. Lima.
- NTP 400.021. (2013). *Método de ensayo normalizado para densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción de agregado grueso*. Lima.
- NTP 400.022. (2013). *Método de ensayo normalizado para densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción de agregado fino*. Lima.

OIKOS Constructora. (Agosto de 2021). *¿Cómo se inicia un proyecto de construcción?*

Obtenido de <https://www.oikos.com.co/constructora/noticias-constructora/como-iniciar-un-proyecto-de-construccion>

Pérez, M. (2018). *Concreto Fotocatalítico*. Obtenido de <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/326-numero-38/592-concreto-fotocatalitico.html>

Ramírez, A. (2006). Fotocatálisis de TiO₂ para crear Materiales de Construcción más durables. *Fotocatálisis con TiO₂*, 12-17.

Silva, O. (2023). *Concreto Fotocatalítico ofreciendo ventajas importantes en la construcción*. Obtenido de Concreto Fotocatalítico: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-fotocatalitico/>

Toro, M. (11 de junio de 2019). *Qué es la contaminación del aire*. Obtenido de <https://www.upb.edu.co/es/central-blogs/sostenibilidad/contaminacion-del-aire-causas-y-soluciones>

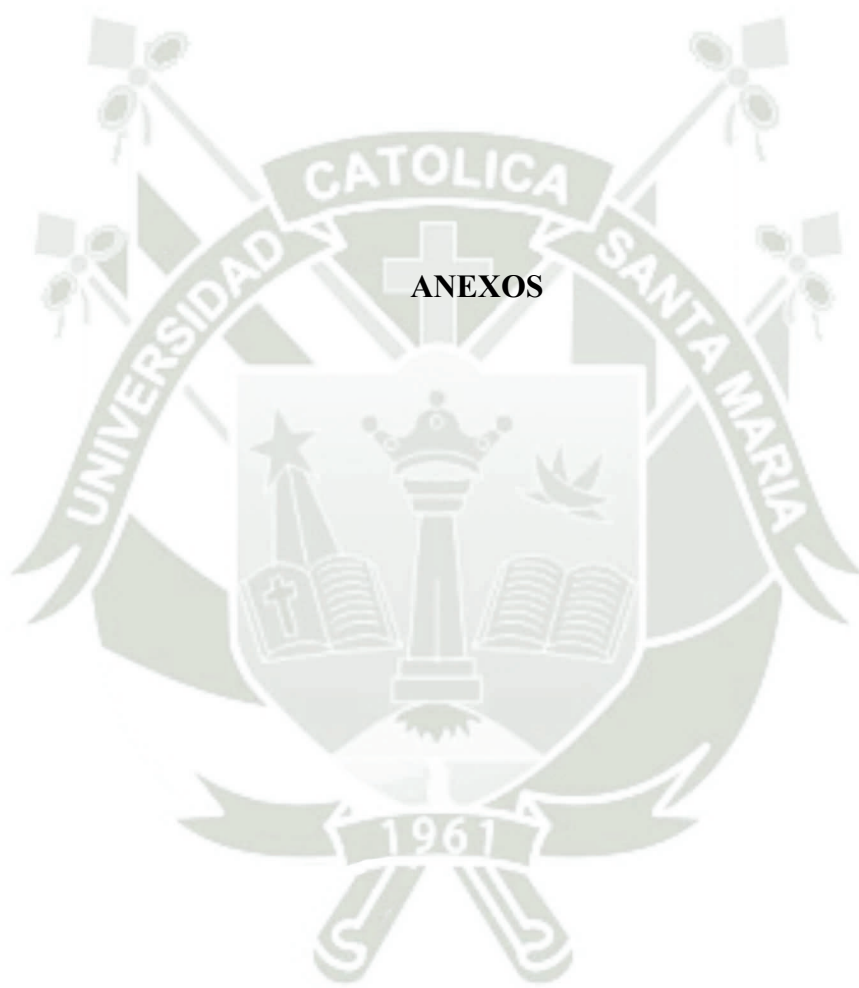
Torres, A. (2021). *La gestión de riesgos y el éxito de los proyectos de construcción de Lima Metropolitana, 2019*. Lima, Perú.

UNI 11259-8: 2016. (2016). *UNI 11259-8: 2016 stabilisce un metodo per valutare l'attività fotocatalitica dei leganti idraulici, utilizzando un metodo colorimetrico (Rodamina B)*. Italia: Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI).

Vásquez, M. (2016). *Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en la propiedad autolimpiable del concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$* . Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

Zhou, Y., Elchalakani, M., Du, P., & Sun, C. (2021). Cleaning up oil pollution in the ocean with photocatalytic concrete marine structures. *Journal of cleaner production*, 329. Obtenido de <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000730138500002>

ANEXOS



ANEXO 1: Matriz de consistencia

MATRÍZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CAPACIDAD AUTOLIMPIANTE DEL CONCRETO FOTOCATALÍTICO CON ADICIÓN DE TiO_2 CON RESISTENCIA $f'c$ 210 KG/CM² Y 280 KG/CM² PARA ACABADOS CARAVISTA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General				
¿En qué consiste la evaluación de las propiedades mecánicas y la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 considerando la resistencia $f'c$ 210 kg/cm ² y 280 kg/cm ² para acabados caravista en la ciudad de Arequipa?	Evaluar las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² para acabados caravista en la ciudad de Arequipa.	La evaluación de las propiedades mecánicas del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 influye positivamente en la resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² para acabados caravista en la ciudad de Arequipa.			Características fotocatalíticas (Energía solar, energía química, oxidación y reducción)	Tipo de investigación Aplicada
Problemas específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Concreto Fotocatalítico con TiO_2	Características físicas y mecánicas		
1- ¿Cuál es el diseño de mezcla de concreto empleando el método de Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados para las resistencias $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² ?	1- Realizar el diseño de mezcla de concreto empleando el método de Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados para las resistencias $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² .	1- El uso adecuado del método de Modulo de Fineza de la Combinación de Agregados permite obtener mezclas de concreto que cumplan con las resistencias $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² .			Resistencia y durabilidad	Diseño de investigación Experimental
2- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas del concreto endurecido con	2- Determinar las propiedades mecánicas del concreto endurecido	2- La resistencia a tracción y compresión del concreto endurecido influye			Tracción directa y decoloración	Enfoque de investigación Cuantitativo

capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² para acabados caravista en la ciudad de Arequipa?	con adición de TiO_2 , evaluando su capacidad autolimpiante	significativamente con la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² para acabados caravista en la ciudad de Arequipa	Resistencia y durabilidad	
3- ¿Cuál es el índice de decoloración en la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² para acabados caravista en la ciudad de Arequipa?	3-Evaluar el índice de decoloración en la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² para acabados caravista en la ciudad de Arequipa.	3- Es factible determinar el índice de decoloración en la capacidad autolimpiante del concreto fotocatalítico con adición de TiO_2 con resistencia $f'c$ 210 kgf/cm ² y $f'c$ 280 kgf/cm ² para acabados caravista en la ciudad de Arequipa.	Propiedades mecánicas y capacidad autolimpiante	Resistencia a la compresión, tracción e impermeabilidad
4- ¿Cuál es el efecto de la incorporación del fotocatalizador Dióxido de Titanio en la capacidad de autolimpieza del concreto y en su resistencia a la compresión?	4- Determinar el efecto de la incorporación del fotocatalizador Dióxido de Titanio en la capacidad de autolimpieza del concreto y en su resistencia a la compresión.	4- Es favorable determinar el efecto de la incorporación del fotocatalizador Dióxido de Titanio en la capacidad de autolimpieza del concreto y en su resistencia a la compresión.	Compatibilidad	Muestra 432 probetas cilíndricas

ANEXO 2: Ensayo de los materiales

a) Análisis granulométrico del agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

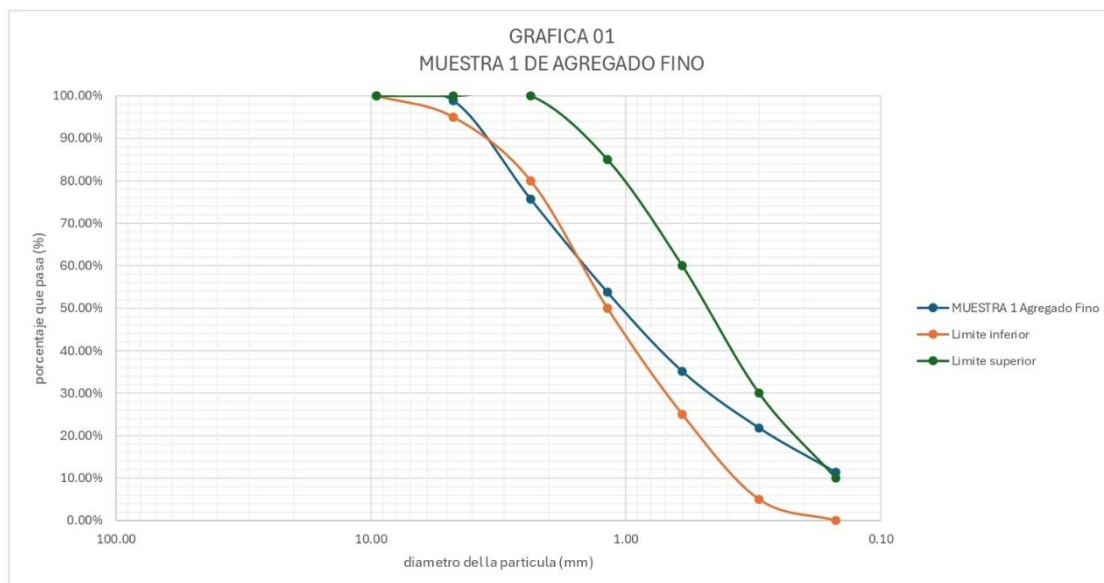
M-1

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
3/8"	9.50	127.48	517.19	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75	127.48	491.64	3.47	1.13%	1.13%	98.87%
Nº 8	2.36	127.48	502.24	71.07	23.21%	24.35%	75.65%
Nº 16	1.18	127.48	461.94	67.08	21.91%	46.26%	53.74%
Nº 30	0.60	127.48	423.20	57.00	18.62%	64.88%	35.12%
Nº 50	0.30	127.48	392.26	40.79	13.32%	78.20%	21.80%
Nº 100	0.15	127.48	377.54	31.93	10.43%	88.63%	11.37%
Nº 200	0.08	127.48	343.73	21.64	7.07%	95.70%	4.30%
FONDO		127.48	373.29	13.17	4.30%	100.00%	0.00%
TOTAL				306.15	100%		

$W_{inicial\ total} =$	306.15 g
$Perdida =$	0 g

MF=	3.03
$2.3 < MF < 3.1$	

$$MF = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulado (Nº4, Nº8, Nº16, Nº30, Nº50, Nº100)}}{100 \%}$$



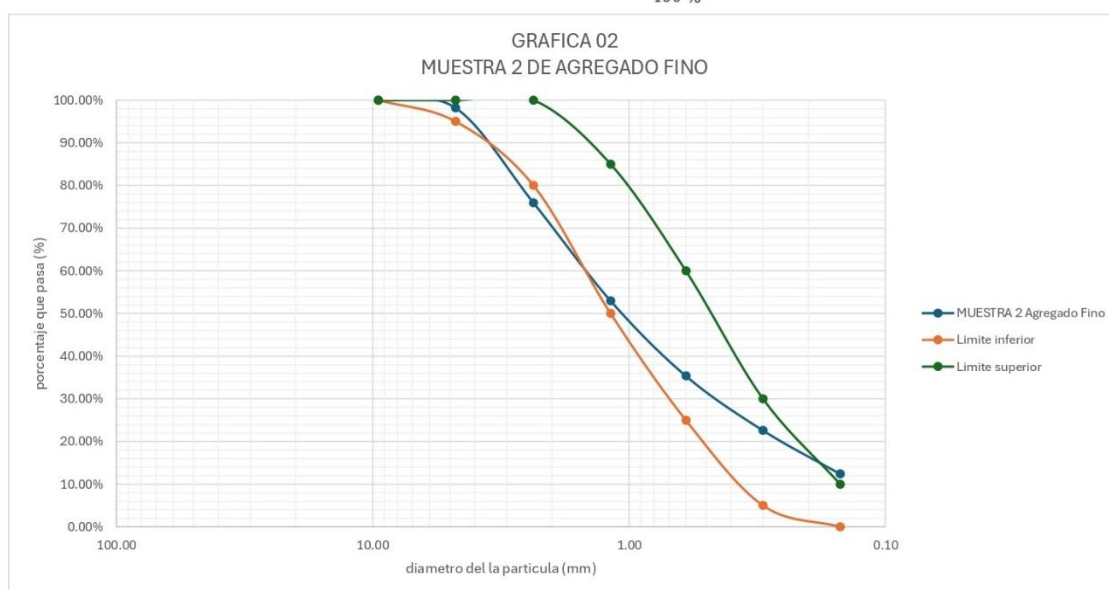
M-2

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
3/8"	9.50	249.96	517.19	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75	249.96	491.94	5.82	1.84%	1.84%	98.16%
N° 8	2.36	249.96	506.19	70.38	22.22%	24.06%	75.94%
N° 16	1.18	249.96	465.41	72.81	22.99%	47.04%	52.96%
N° 30	0.60	249.96	422.66	55.78	17.61%	64.65%	35.35%
N° 50	0.30	249.96	391.11	40.49	12.78%	77.43%	22.57%
N° 100	0.15	249.96	375.56	32.30	10.20%	87.63%	12.37%
N° 200	0.08	249.96	344.10	26.90	8.49%	96.12%	3.88%
FONDO		249.96	372.68	12.29	3.88%	100.00%	0.00%
TOTAL				316.77	100%		

$W_{inicial\ total} =$	316.77 g
$Perdida =$	0 g

MF=	3.03
2.3 < MF < 3.1	

$$MF = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulado (} N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50, N^{\circ} 100 \text{)}}{100 \%}$$



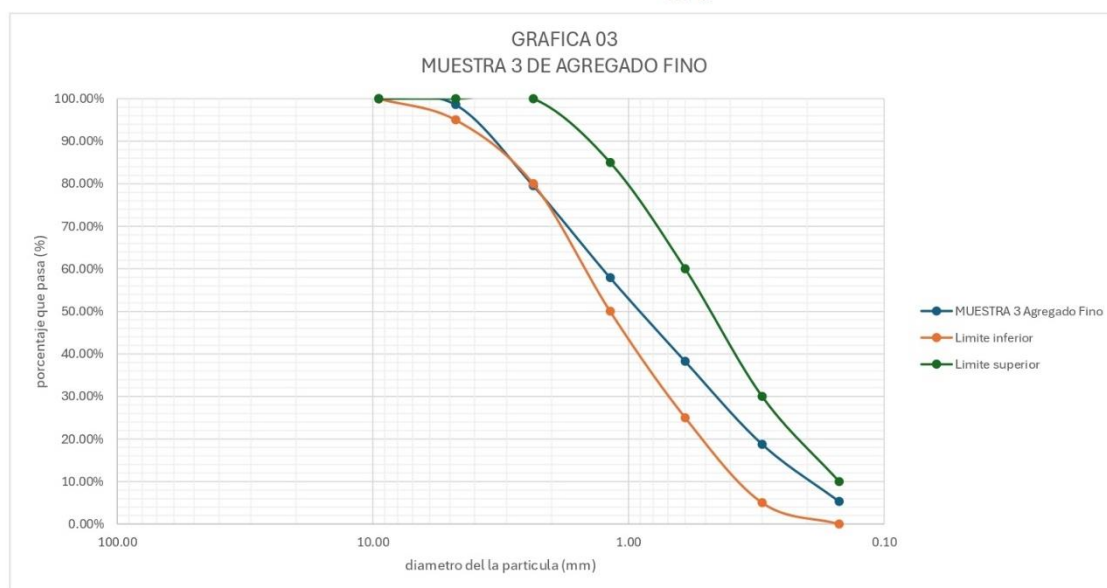
M-3

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
3/8"	9.50	250.00	517.19	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75	250.00	492.41	4.48	1.42%	1.42%	98.58%
Nº 8	2.36	250.00	501.15	60.00	19.05%	20.47%	79.53%
Nº 16	1.18	250.00	465.83	68.18	21.65%	42.12%	57.88%
Nº 30	0.60	250.00	424.56	61.97	19.67%	61.79%	38.21%
Nº 50	0.30	250.00	392.41	61.31	19.46%	81.25%	18.75%
Nº 100	0.15	250.00	380.28	42.38	13.45%	94.71%	5.29%
Nº 200	0.08	250.00	344.79	14.77	4.69%	99.40%	0.60%
FONDO	0.00	250.00	366.93	1.90	0.60%	100.00%	0.00%
TOTAL				314.99	100%		

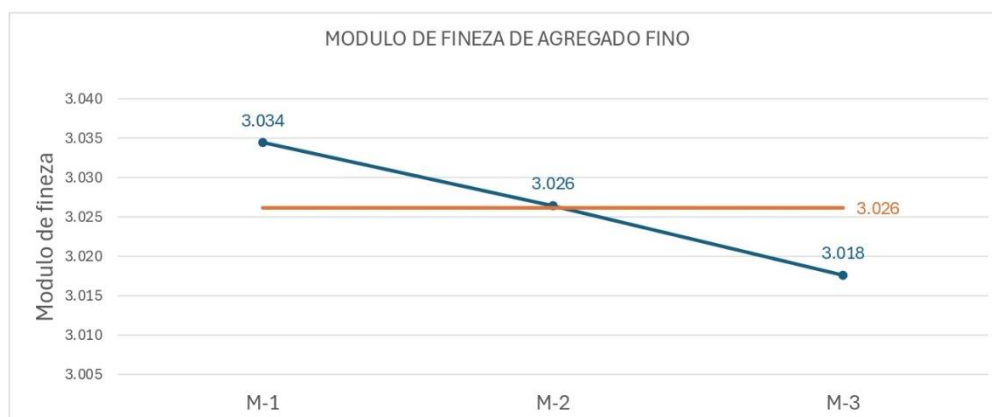
$W_{inicial\ total} =$	314.99 g
$Perdida =$	0 g

MF=	3.02
2.3 < MF < 3.1	

$$MF = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulado} (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100 \%}$$



	M-1	M-2	M-3
M.F.	3.034	3.026	3.018
Prom	3.026	3.026	3.026



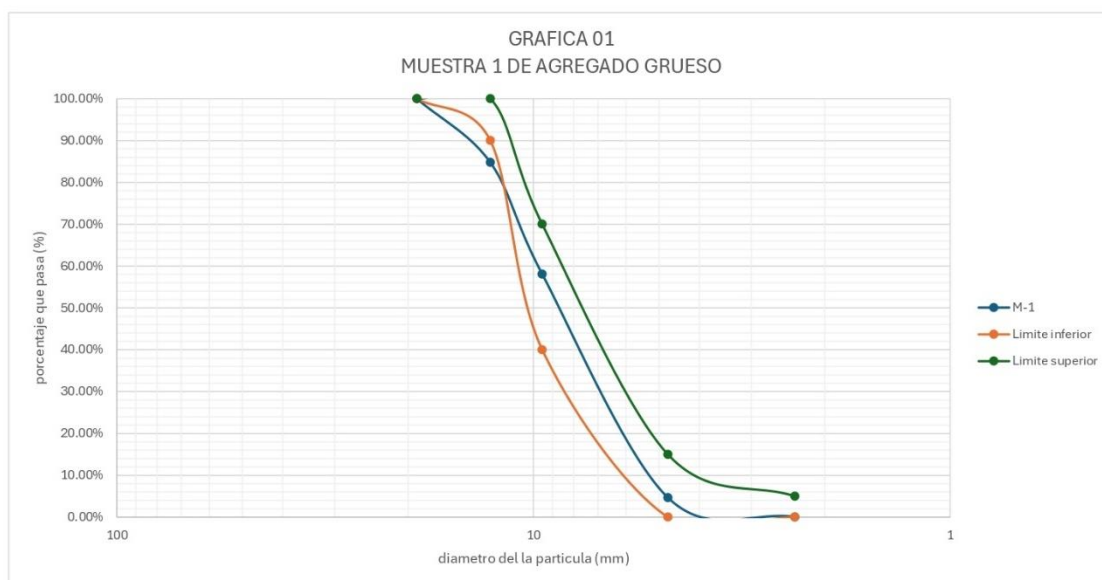
b) Análisis granulométrico del agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

M-1

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
1 1/2"	37.5	127.43	127.43	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	127.43	127.43	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	127.43	127.43	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	127.43	462.29	334.86	15.22%	15.22%	84.78%
3/8"	9.53	127.43	714.72	587.29	26.70%	41.92%	58.08%
N° 4	4.76	127.43	1302.36	1174.93	53.41%	95.33%	4.67%
N° 8	2.36	127.43	228.99	101.56	4.62%	99.95%	0.05%
FONDO		127.43	128.61	1.18	0.05%	100.00%	0.00%
TOTAL				2199.82	100%		

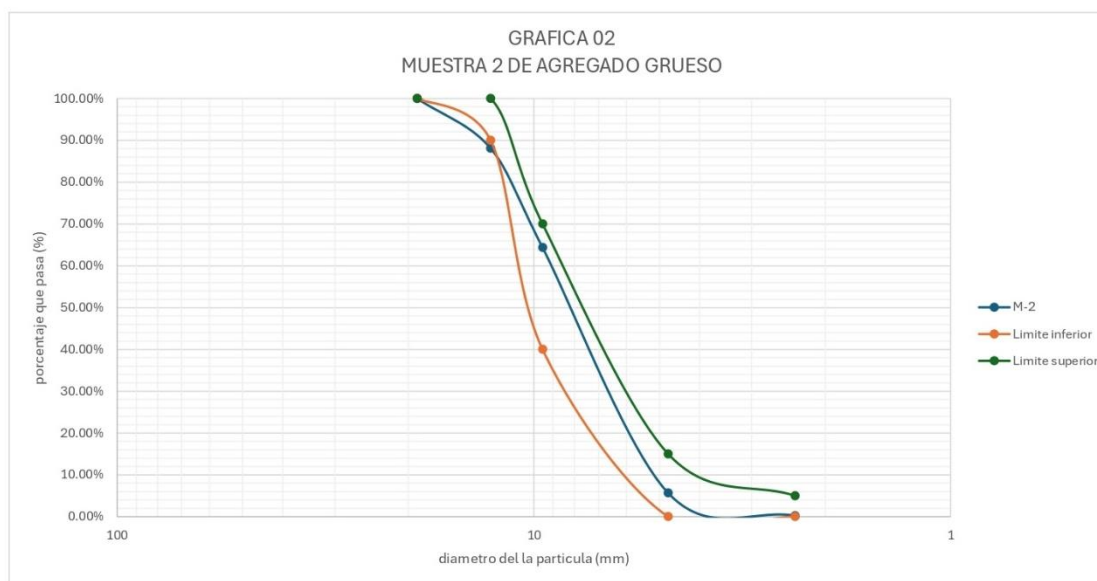
$W_{inicial\ total} =$	2199.82 g	$MF =$	6.37	TM=	3/4"
$Perdida =$	0 g	$7.3 < MF < 8.9$		TMN=	1/2" < 5%



M-2

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
1 1/2"	37.5	121.94	121.94	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	121.94	121.94	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	121.94	121.94	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	121.94	362.59	240.65	11.91%	11.91%	88.09%
3/8"	9.53	121.94	601.49	479.55	23.73%	35.64%	64.36%
N° 4	4.76	121.94	1308.14	1186.20	58.71%	94.35%	5.65%
N° 8	2.36	121.94	231.62	109.68	5.43%	99.78%	0.22%
FONDO		121.94	126.40	4.46	0.22%	100.00%	0.00%
TOTAL				2020.54	100%		

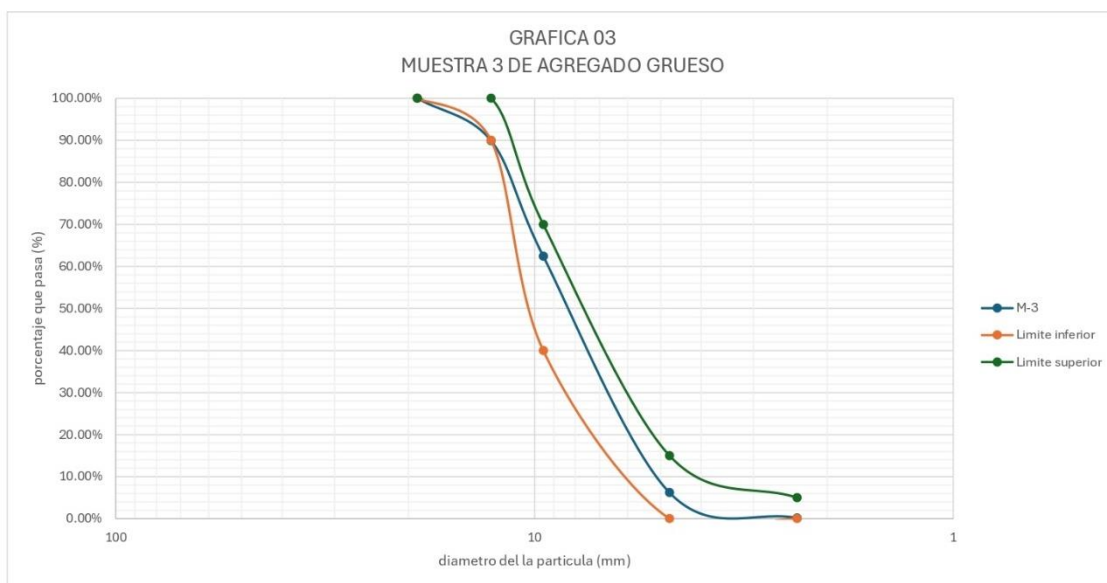
$W_{inicial\ total} =$	2020.54 g	MF=	6.30	TM=	3/4"
Perdida =	0 g		$7.3 < MF < 8.9$	TMN=	1/2" < 5%



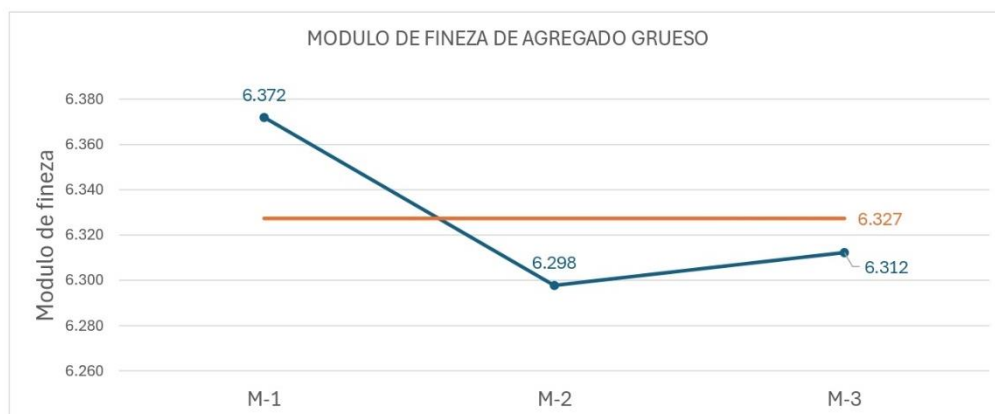
M-3

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + Muestra (g)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
1 1/2"	37.5	121.99	121.99	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	121.99	121.99	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	121.99	121.99	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.7	121.99	325.44	203.45	10.09%	10.09%	89.91%
3/8"	9.53	121.99	676.35	554.36	27.49%	37.58%	62.42%
Nº 4	4.76	121.99	1255.97	1133.98	56.23%	93.81%	6.19%
Nº 8	2.36	121.99	243.75	121.76	6.04%	99.84%	0.16%
FONDO		121.99	125.15	3.16	0.16%	100.00%	0.00%
TOTAL				2016.71	100%		

$W_{inicial\ total} =$	2016.71 g	MF=	6.31	TM=	3/4"
$Perdida =$	0 g		$7.3 < MF < 8.9$	TMN=	1/2" < 5%



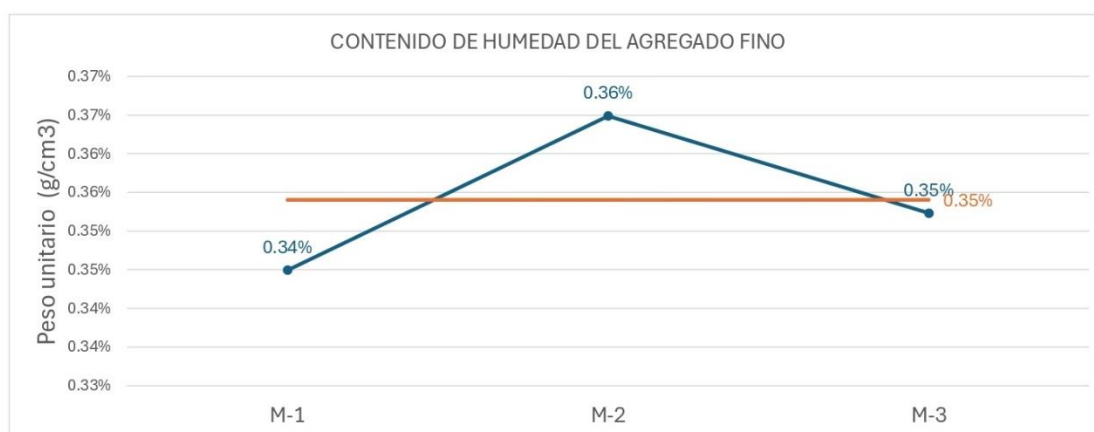
	M-1	M-2	M-3
M.F.	6.372	6.298	6.312
Prom	6.327	6.327	6.327



c) Contenido de humedad del agregado fino

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

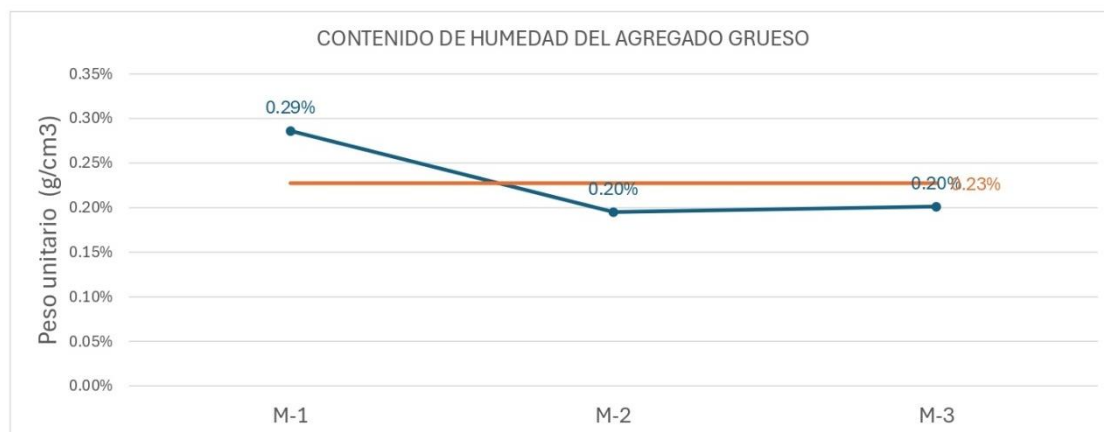
	N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
(1)	Peso de la bandeja	g	118.86	114.16	111.76
(2)	Peso de la bandeja + Muestra Humeda	g	639.59	636.79	630.17
(3)=(2)-(1)	Peso de Muestra Humeda	g	520.73	522.63	518.41
(4)	Peso de la bandeja + Muestra Seca	g	637.80	634.89	628.35
(5)=(4)-(1)	Peso de la Muestra Seca	g	518.94	520.73	516.59
(6)=(5)-(3)	Peso del Agua	g	1.79	1.90	1.82
(7)=100*((3)-(5))/(5)	Contenido de Humedad Parcial	%	0.34%	0.36%	0.35%
	Contenido de Humedad Promedio	%	0.35%		



d) Contenido de humedad del agregado grueso

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

	N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
(1)	Peso de la bandeja	g	104.20	137.00	104.38
(2)	Peso de la bandeja + Muestra Humeda	g	2834.10	2185.71	2161.19
(3)=(2)-(1)	Peso de Muestra Humeda	g	2050.10	2048.71	2056.81
(4)	Peso de la bandeja + Muestra Seca	g	2148.45	2181.72	2157.06
(5)=(4)-(1)	Peso de la Muestra Seca	g	2044.25	2044.72	2052.68
(6)=(5)-(3)	Peso del Agua	g	5.85	3.99	4.13
(7)=100*((3)-(5))/(5)	Contenido de Humedad Parcial	%	0.29%	0.20%	0.20%
	Contenido de Humedad Promedio	%	0.23%		

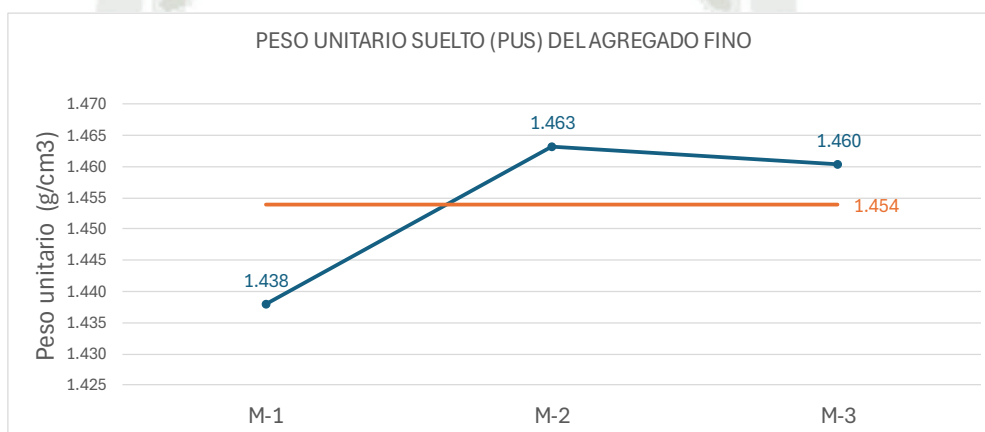


e) Peso unitario del agregado fino

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

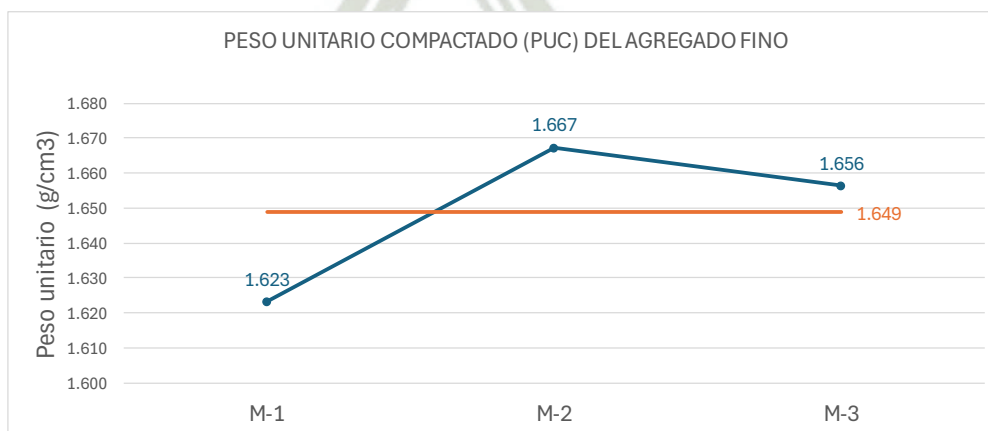
PESO UNITARIO SUELTO (PUS) DEL AGREGADO FINO

	N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
(1)	Peso del Molde + Peso de la Muestra	g	5722.00	5793.50	5785.50
(2)	Peso del Molde	g	1650.50	1650.50	1650.50
(3)=(2)-(1)	Peso de la Muestra	g	4071.50	4143.00	4135.00
(4)	Volumen del Molde	cm ³	2831.30	2831.30	2831.30
(5)=(3)/(4)	Densidad	g/cm ³	1.438	1.463	1.460
	P.U.S.	g/cm ³	1.454		



PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) DEL AGREGADO FINO

	N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
(1)	Peso del Molde + Peso de la Muestra	g	6246.00	6371.00	6340.00
(2)	Peso del Molde	g	1650.50	1650.50	1650.50
(3)=(2)-(1)	Peso de la Muestra	g	4595.50	4720.50	4689.50
(4)	Volumen del Molde	cm ³	2831.30	2831.30	2831.30
(5)=(3)/(4)	Densidad	g/cm ³	1.623	1.667	1.656
	P.U.C.	g/cm ³	1.649		

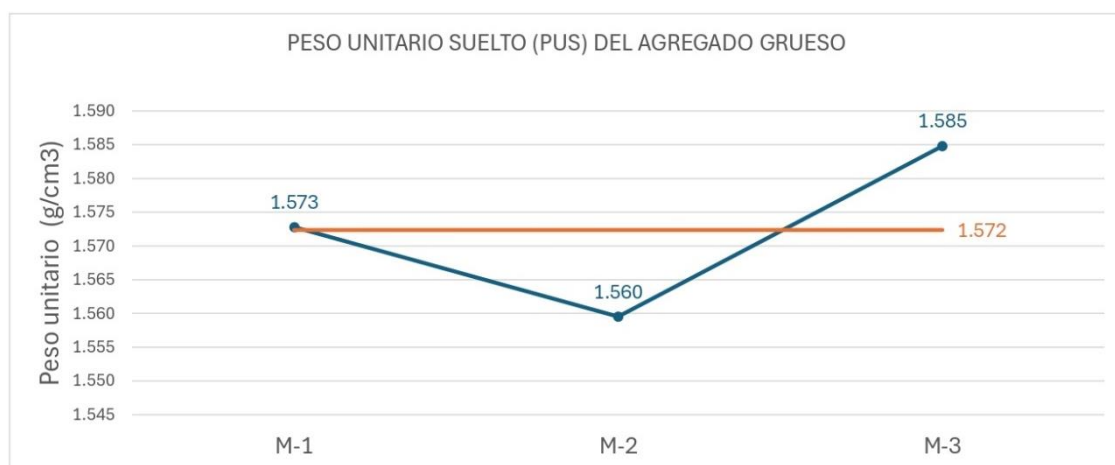


f) Peso unitario del agregado grueso

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

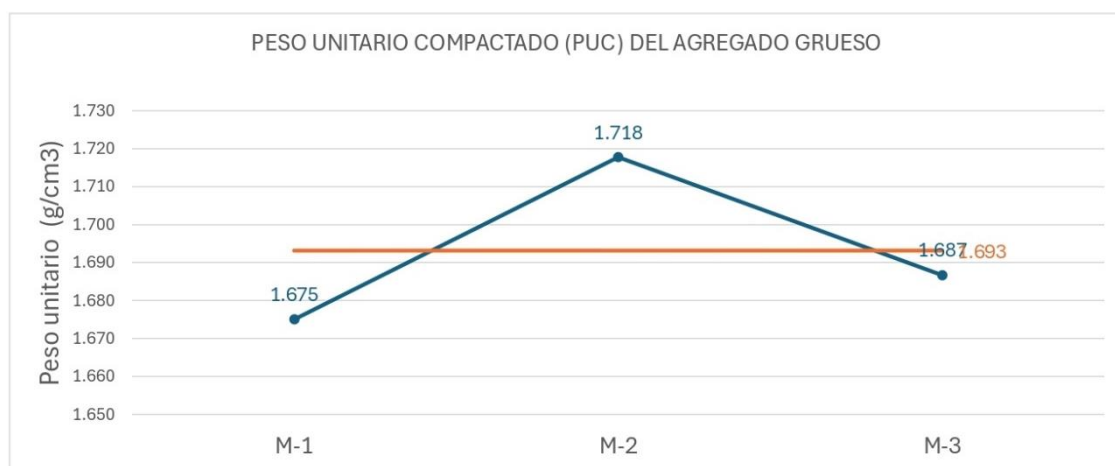
PESO UNITARIO SUELTO (PUS) DEL AGREGADO GRUESO

	N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
(1)	Peso del Molde + Peso de la Muestra	g	6103.50	6066.00	6137.50
(2)	Peso del Molde	g	1650.50	1650.50	1650.50
(3)=(2)-(1)	Peso de la Muestra	g	4453.00	4415.50	4487.00
(4)	Volumen del Molde	cm ³	2831.30	2831.30	2831.30
(5)=(3)/(4)	Densidad	g/cm ³	1.573	1.560	1.585
	P.U.S.	g/cm ³	1.572		



PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) DEL AGREGADO GRUESO

	N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
(1)	Peso del Molde + Peso de la Muestra	g	6393.00	6514.00	6426.00
(2)	Peso del Molde	g	1650.50	1650.50	1650.50
(3)=(2)-(1)	Peso de la Muestra	g	4742.50	4863.50	4775.50
(4)	Volumen del Molde	cm ³	2831.30	2831.30	2831.30
(5)=(3)/(4)	Densidad	g/cm ³	1.675	1.718	1.687
	P.U.C.	g/cm ³	1.693		

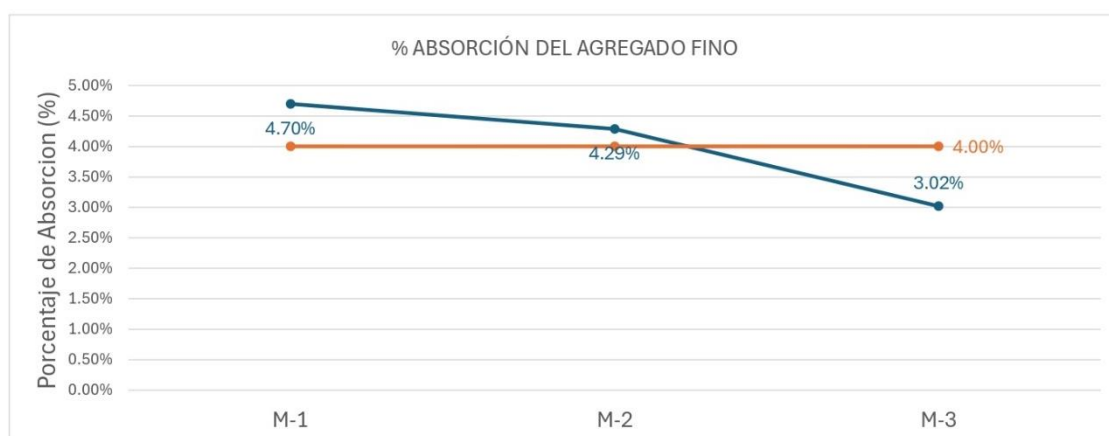
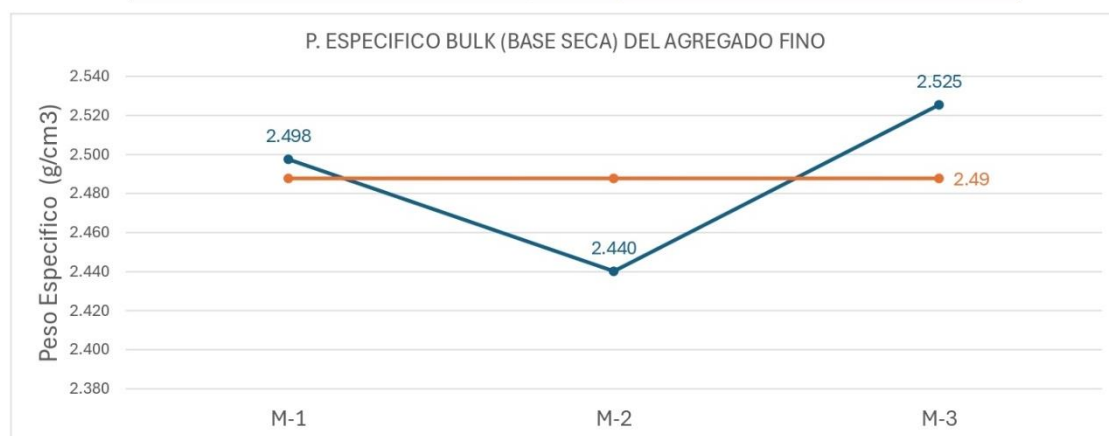


g) Peso específico y absorción del agregado fino

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS DE AGREGADO FINO

N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
(1) Peso Superficialmente Seco (SSS)	g	500.70	500.11	500.80
Peso de la Fiola	g	281.58	281.58	281.58
(2) Peso de la Fiola + Agua	g	1280.61	1280.61	1280.61
(3) Peso de la Fiola +Peso material SSS + Agua	g	1589.83	1584.20	1588.92
(5)=(1)+(2)-(3) Volumen de la Masa + Volumen de Vacios	cm ³	191.48	196.52	192.49
(4) Peso Seco	g	478.23	479.55	486.12
(6)=(5)-(1)-(4) Volumen de la Masa	cm ³	169.01	175.96	177.81
(7)=(4)/(5) P. Especifico Bulk (Base Seca)	g/cm ³	2.498	2.440	2.525
		2.488		
(8)=(1)/(5) P. Especifico Bulk (Base Saturada)	g/cm ³	2.615	2.545	2.602
		2.587		
(9)=(4)/(6) P. Especifico Aparente (Base Seca)	g/cm ³	2.830	2.725	2.734
		2.763		
(10)=((1)-(4))/(4)* 100 Absorción	%	4.70%	4.29%	3.02%
Absorción Promedio	%	4.00%		

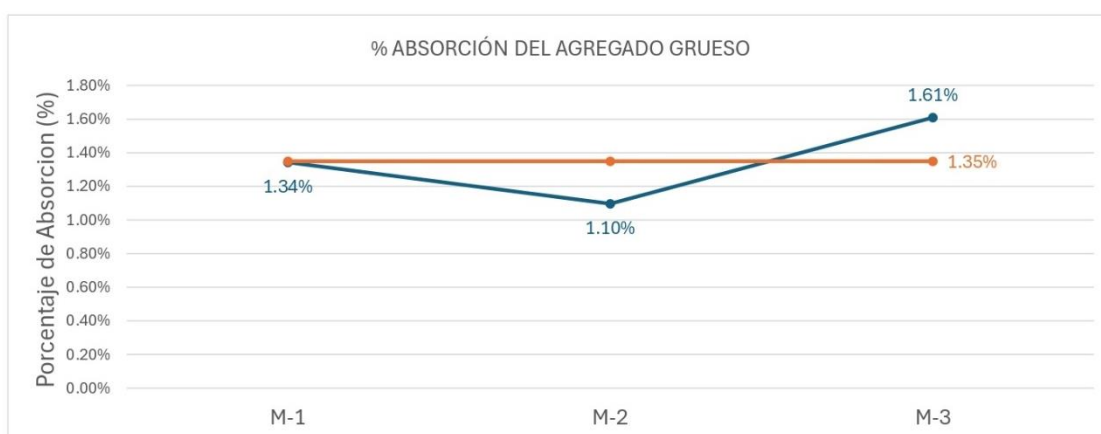
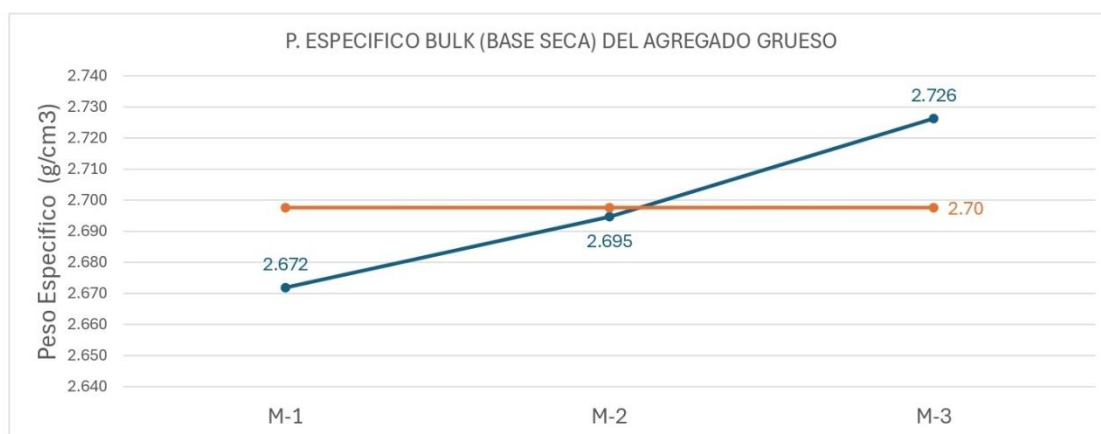


h) Peso específico y absorción del agregado grueso

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS DE AGREGADO GRUESO

N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
(1) Peso Superficialmente Seco (SSS)	g	2075.50	2074.50	2084.50
(2) Peso de la Canastilla Sumergida	g	887.00	887.00	887.00
(3) Peso de la Canastilla + Material Sumergida	g	2196.00	2200.00	2219.00
(4)=(3)-(2) Peso del Material Sumergida	g	1309.00	1313.00	1332.00
(5)=(1)-(4) Volumen de la Masa + Volumen de Vacios	cm ³	766.50	761.50	752.50
6) Peso Seco	g	2048.00	2052.00	2051.50
(7)=(5)-((1)-(6)) Volumen de la Masa	cm ³	739.00	739.00	719.50
(8)=(4)/(5) P. Especifico Bulk (Base Seca)	g/cm ³	2.672	2.695	2.726
		2.698		
(9)=(1)/(5) P. Especifico Bulk (Base Saturada)	g/cm ³	2.708	2.724	2.770
		2.734		
(10)=(4)/(6) P. Especifico Aparente (Base Seca)	g/cm ³	2.771	2.777	2.851
		2.800		
(11)=((1)-(4))/(4)*100 Absorción	%	1.34%	1.10%	1.61%
Absorción Promedio	%	1.35%		

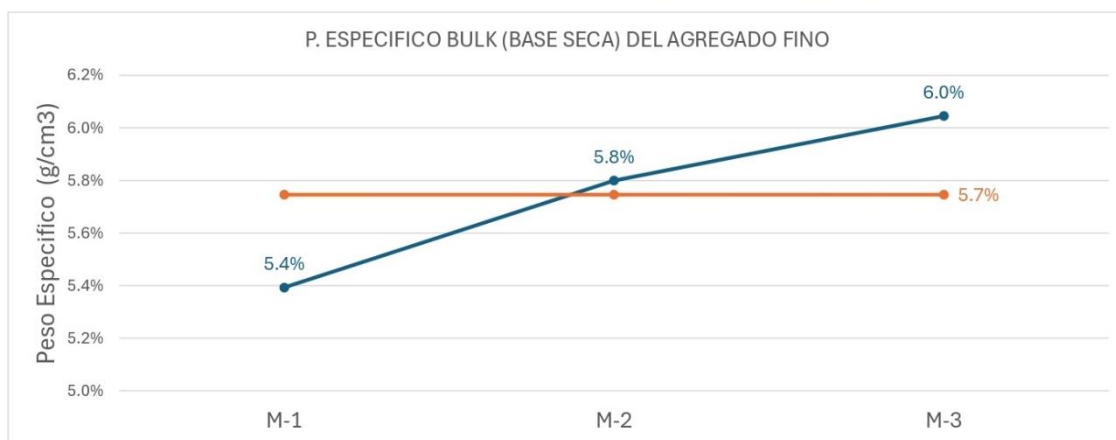


i) Pasante de la malla 200

PASANTE DE LA MALLA 200

PASANTE DE LA MALLA 200 DE AGREGADO FINO

	N° DE MUESTRA	UNIDAD	M-1	M-2	M-3
(1)	Peso Muestra Seca antes del lavado	g	324.68	325.52	329.35
(2)	Peso Muestra Seca despues del lavado	g	307.17	306.64	309.44
(3)=(1)-(2)	Peso Suelo Seco pasante de la malla N° 200	g	17.51	18.88	19.91
(4)=(3)/(1)	Porcentaje de Material mas fino que pasa la malla N° 200	g	5.4%	5.8%	6.0%
			5.7%		



ANEXO 3: Diseño de mezcla y constancia de uso de laboratorio de la UCSM

DISEÑO DE MEZCLA METODO MODULO DE FINEZA $f'c$ 210 kgf/cm²

$f'c$	210	kgf/cm ²
D_s	0	kgf/cm ²
Consistencia	Plastica	
Lugar	Arequipa	
Sulfato	Despreciable	
Asentamiento	de 3 a 4 plg	

Cemento	Yura tipo He	
P específico	2.95	g/cm ³
Agua	Potable	
Agregados	Angular	

Agregado Fino		
P específico	2.49	g/cm ³
% Absorción	4.00	%
% Humedad	0.35	%
M. F.	3.03	

Agregado Grueso		
P específico	2.7	g/cm ³
% Absorción	1.35	%
% Humedad	0.23	%
TMN	1/2"	
M. F.	6.33	

1° PASO Calcular la resistencia requerida

Caso 1: Sin datos de desviación estándar

Resistencia a la compresión promedio		
$f'c$	$f'cr$	
$f'c < 210$	$f'c +$	70
$210 < f'c < 350$	$f'c +$	84
$f'c < 350$	$f'c +$	98
$f'cr =$	294	kgf/cm ²

Caso 2: Con datos de desviación estándar

$D_s =$ 23.64

$$f'cr = f'c + 1.33 * D_s$$

$$f'cr = f'c + 2.33 * D_s - 35$$

$f'cr =$	241.4412	kgf/cm ²
$f'cr =$	230.0812	kgf/cm ²

Se escoge la mayor resistencia

$f'cr =$	294.00	kgf/cm ²
----------	--------	---------------------

2° PASO Determinación del Tamaño Máximo Nominal

T.M.N.	1/2"
--------	------

3° PASO Seleccionamos el Asentamiento

Consistencia	Asentamiento	
Seca	0 a 2 pulg	0 - 50 mm
Plastica	3 a 4 pulg	75 - 100 mm
Fluido	5 pulg a mas	> 125 mm

Slump	3 a 4 pulg
-------	------------

4° PASO Determinar el Volumen Unitario de Agua

Agua en L/m ³ para los TMNs de Agregado Grueso y consistencia indicados								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto Sin Aire Incorporado								
1 a 2 pulg	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4 pulg	228	216	205	193	181	169	145	124
5 pulg a mas	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto Con Aire Incorporado								
1 a 2 pulg	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4 pulg	202	193	184	175	165	157	133	119
5 pulg a mas	216	205	197	184	174	166	154	-
	216	L/m ³						

$$\text{Incidencia del } A_f (rf) = \frac{MF_G - M}{MF_G - MF_F} \times 100$$

$$\text{Incidencia del } A_g (rg) = 100 \% - A_f \%$$

rf =	49.45%
------	--------

rg =	50.55%
------	--------

11° PASO Volumenes Absolutos de los agregados

$$\text{Vol. Absoluto A. F.} = rf \times \text{Vol. Absoluto Global}$$

Vol. Absoluto A. F. =	0.31 m3
-----------------------	---------

$$\text{Vol. Absoluto A. G.} = rg \times \text{Vol. Absoluto Global}$$

Vol. Absoluto A. G. =	0.32 m3
-----------------------	---------

12° PASO Peso Seco de los Agregados

$$\text{Peso Seco A. F.} = \text{Vol. Absoluto A. F.} \times P \text{ específico A. F.}$$

Peso seco A. F. =	773.11 kgf/m3
-------------------	---------------

$$\text{Peso Seco A. G.} = \text{Vol. Absoluto A. G.} \times P \text{ específico A. G.}$$

Peso seco A. G. =	856.94 kgf/m3
-------------------	---------------

13° PASO Valores de Diseño de Mezcla

Agregado Fino Seco =	773.11 kgf/m3
----------------------	---------------

Agregado Grueso Seco =	856.94 kgf/m3
------------------------	---------------

Cemento =	386.82 kgf/m3
-----------	---------------

Agua =	216.00 L/m3
--------	-------------

14° PASO Correccion por Humedad del Agregado

a) Agregado Fino

W %	0.35 %
Peso Humedo A. F.	775.82 kgf/m3

b) Agregado Grueso

W %	0.23 %
Peso Humedo A. F.	858.92 kgf/m3

c) Humedad Superficial de los Agregados

$$\text{Humedad Superficial del A. F.} = W \% - \text{Absorcion } \%$$

Humedad Superficial A. F. =	-3.65 %
-----------------------------	---------

$$\text{Humedad Superficial del A. G.} = W \% - \text{Absorcion } \%$$

Humedad Superficial A. G. =	-1.12 %
-----------------------------	---------

d) Aporte de Humedad de los Agregados

$$\text{Aporte de Humedad Superficial del A. F.} = \text{A. F. seco} \times \text{Humedad superficial A. F.}$$

Aporte de Humedad Superficial del A. F. =	-28.22 L/m3
---	-------------

$$\text{Aporte de Humedad Superficial del A. G.} = \text{A. G. seco} \times \text{Humedad superficial A. G.}$$

Aporte de Humedad Superficial del A. G. =	-9.60 L/m3
---	------------

Σ	-37.82 L/m3
---	-------------

e) Agua Efectiva

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Vol. Unitario de Agua} - \sum \text{Aporte de Humedad}$$

Agua Efectiva =	253.82	L/m ³
-----------------	--------	------------------

f) Peso de Materiales Corregidos por Humedad

Agregado Fino Humedo =	775.82	kg/m ³
Agregado Grueso Humedo =	858.92	kg/m ³
Cemento =	386.82	kg/m ³
Agua de diseño =	253.82	L/m ³

15° PASO

Proporcion de Pesos

Agregado Fino Humedo =	2.01
Agregado Grueso Humedo =	2.22
Agua de diseño =	0.66

Relacion a/c Diseño =	0.56
Relacion a/c Corregido =	0.66

Cemento	A. FINO	A. GRUESO	AGUA
1.0	2.0	2.2	0.7

16° PASO

Adicion de Aditivo

1) Adicion de 0 % de Cemento por TiO₂ - 210 kgf/cm²

Agregado Fino Humedo =	775.82	kg/m ³
Agregado Grueso Humedo =	858.92	kg/m ³
Cemento =	386.82	kg/m ³
Agua de diseño =	253.82	L/m ³
TiO ₂ (0 %) =	0.00	kg/m ³

Proporcion de Pesos

Agregado Fino Humedo =	2.01
Agregado Grueso Humedo =	2.22
Agua de diseño =	0.66
TiO ₂ =	0.00

Relacion a/c Diseño =	0.56
Relacion a/c Corregido =	0.66

A. FINO	A. GRUESO	AGUA	Cemento	TiO ₂ (0%)
2.0	2.2	0.7	1.0	0.0

2) Adicion de 3 % de Cemento por TiO₂ - 210 kgf/cm²

Agregado Fino Humedo =	775.82	kg/m ³
Agregado Grueso Humedo =	858.92	kg/m ³
Cemento =	386.82	kg/m ³
Agua de diseño =	253.82	L/m ³
TiO ₂ (3 %) =	11.60	kg/m ³

Proporcion de Pesos

Agregado Fino Humedo = 2.01

Agregado Grueso Humedo = 2.22

Agua de diseño = 0.66

TiO2 (3 %) = 0.03

Relacion a/c Diseño =	0.56
Relacion a/c Corregido =	0.66

A. FINO	A. GRUESO	AGUA	Cemento	TiO2 (3%)
2.0	2.2	0.7	1.0	0.03

3) Adicion de 6 % de Cemento por TiO2 - 210 kgf/cm2

Agregado Fino Humedo = 775.82 kg/m3

Agregado Grueso Humedo = 858.92 kg/m3

Cemento = 386.82 kg/m3

Agua de diseño = 253.82 L/m3

TiO2 (6 %) = 23.21 kg/m3

Proporcion de Pesos

Agregado Fino Humedo = 2.01

Agregado Grueso Humedo = 2.22

Agua de diseño = 0.66

TiO2 (6 %) = 0.06

Relacion a/c Diseño =	0.56
Relacion a/c Corregido =	0.66

A. FINO	A. GRUESO	AGUA	Cemento	TiO2 (6%)
2.0	2.2	0.7	1.0	0.06

4) Adicion de 9 % de Cemento por TiO2 - 210 kgf/cm2

Agregado Fino Humedo = 775.82 kg/m3

Agregado Grueso Humedo = 858.92 kg/m3

Cemento = 386.82 kg/m3

Agua de diseño = 253.82 L/m3

TiO2 (9 %) = 34.81 kg/m3

Proporcion de Pesos

Agregado Fino Humedo = 2.01

Agregado Grueso Humedo = 2.22

Agua de diseño = 0.66

TiO2 (9 %) = 0.09

Relacion a/c Diseño =	0.56
Relacion a/c Corregido =	0.66

A. FINO	A. GRUESO	AGUA	Cemento	TiO2 (9%)
2.0	2.2	0.7	1.0	0.09

16° PASO Proporción de Pesos

PROBETAS 10x20cm (TRACCION Y COMPRESION)

r= 10 cm
h= 20 cm
N° PROB. 27
Volum. Prob. 0.0015708 m³

Agregado Fino Humedo = 50.34 kg/m³

Agregado Grueso Humedo = 55.73 kg/m³

Cemento = 25.10 kg/m³

Agua de diseño = 16.47 L/m³

	CANTIDAD
Agregado Fino Humedo =	50.34
Agregado Grueso Humedo =	55.73
Cemento =	25.10
Agua de diseño =	16.47

	0%	3%	6%	9%	TOTAL
Compresion	0	0.75	1.51	2.26	4.52
Traccion	0	0.75	1.51	2.26	4.52

Agregado Fino	402.74	kg	10.07	bolsas
Agregado Grueso	445.88	kg	11.15	bolsas
Cemento	200.80	kg	4.72	bolsas
Agua	131.76	Lts		
TiO ₂	9.04	kg		

MUESTRAS 10x10x2 cm para Rodamina

H 10 cm
L= 10 cm
E= 2 cm
N° PROB. 6
Volum. Prob. 0.0002 m³

Agregado Fino Humedo = 1.42 kg/m³

Agregado Grueso Humedo = 1.58 kg/m³

Cemento = 0.71 kg/m³

Agua de diseño = 0.47 L/m³

	CANTIDAD
Agregado Fino Humedo =	1.42
Agregado Grueso Humedo =	1.58
Cemento =	0.71
Agua de diseño =	0.47

	0%	3%	6%	9%	TOTAL
DECOLORACION	0	0.02	0.04	0.06	0.12

Agregado Fino	5.70	kg	0.14	bolsas
Agregado Grueso	6.31	kg	0.16	bolsas
Cemento	2.84	kg	0.07	bolsas
Agua	1.86	Lts		
TiO2	0.12	kg		

PANELES 40x40x4 cm para Intemperismo

H 40 cm
L= 40 cm
E= 4 cm
N° PROB. 1
Volum. Prob. 0.0064 m3

Agregado Fino Humedo = 7.60 kg/m3

Agregado Grueso Humedo = 8.41 kg/m3

Cemento = 3.79 kg/m3

Agua de diseño = 2.49 L/m3

	CANTIDAD
Agregado Fino Humedo =	7.60
Agregado Grueso Humedo =	8.41
Cemento =	3.79
Agua de diseño =	2.49

	0%	3%	6%	9%	TOTAL
Compresion	0	0.1	0.2	0.3	0.68

Agregado Fino	30.39	kg	0.76	bolsas
Agregado Grueso	33.64	kg	0.84	bolsas
Cemento	15.15	kg	0.36	bolsas
Agua	9.94	Lts		
TiO2	0.68	kg		

TOTAL TiO2	9.84
-------------------	-------------

Agregado Fino	438.83	kg	10.97	bolsas
Agregado Grueso	485.83	kg	12.15	bolsas
Cemento	218.80	kg	5.15	bolsas
Agua	143.57	Lts		
TiO2	9.84	kg		

DISEÑO DE MEZCLA METODO MODULO DE FINEZA $f'c$ 280 kgf/cm²

$f'c$	280	kgf/cm ²
D_s	0	kgf/cm ²
Consistencia	Plastica	
Lugar	Arequipa	
Sulfato	Despreciable	
Asentamiento	de 3 a 4 plg	

Cemento	Yura tipo He	
Pespecifico	2.95	g/cm ³
Agua	Potable	
Agregados	Angular	

Agregado Fino		
Pespecifico	2.49	g/cm ³
% Absorción	4.00	%
% Humedad	0.35	%
M. F.	3.03	

Agregado Grueso		
Pespecifico	2.7	g/cm ³
% Absorción	1.35	%
% Humedad	0.23	%
TMN	1/2"	
M. F.	6.33	

1° PASO Calcular la resistencia requerida

Caso 1: Sin datos de desviación estándar

Resistencia a la compresión promedio		
$f'c$	$f'cr$	
$f'c < 210$	$f'c +$	70
$210 < f'c < 350$	$f'c +$	84
$f'c < 350$	$f'c +$	98
$f'cr =$	364	kgf/cm ²

Caso 2: Con datos de desviación estándar

$D_s =$ 20.37

$$f'cr = f'c + 1.33 \cdot D_s$$

$$f'cr = f'c + 2.33 \cdot D_s - 35$$

$f'cr =$	307.0921	kgf/cm ²
$f'cr =$	292.4621	kgf/cm ²

Se escoge la mayor resistencia

$f'cr =$	364.00	kgf/cm ²
----------	--------	---------------------

2° PASO Determinación del Tamaño Máximo Nominal

T.M.N.	1/2"
--------	------

3° PASO Seleccionamos el Asentamiento

Consistencia	Asentamiento	
Seca	0 a 2 pulg	0 - 50 mm
Plastica	3 a 4 pulg	75 - 100 mm
Fluido	5 pulg a mas	> 125 mm
Slump	3 a 4 pulg	

4° PASO Determinar el Volumen Unitario de Agua

Agua en L/m ³ para los TMNs de Agregado Grueso y consistencia indicados								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto Sin Aire Incorporado								
1 a 2 pulg	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4 pulg	228	216	205	193	181	169	145	124
5 pulg a mas	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto Con Aire Incorporado								
1 a 2 pulg	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4 pulg	202	193	184	175	165	157	133	119
5 pulg a mas	216	205	197	184	174	166	154	-
	216	L/m ³						

5° PASO Selección del contenido de Aire atrapado

Contenido de Aire	
T.M.N.	%
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
6"	0.2

2.5 %

6° PASO Relacion Agua/Cemento A/C

a) Relacion Agua Cemento por Resistencia

f'cr a los 28 días	Relacion a/c de diseño de peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

LI	400	→	0.43
LS	364.00	→	0.48
	350	→	0.48

a/c= 0.47 0.46

7° PASO Determinacion del Factor Cemento

$$\text{Factor Cemento} = \frac{\text{Vol. de Agua}}{\text{Relacion a/c}}$$

FC=	463.52	kgf/m3
FC=	10.9	bolsas/m3

8° PASO Determinacion del Volumen Absoluto de Pasta

$$\text{Vol. Cemento} = \frac{\text{Factor Cemento}}{\text{P específico Cemento}}$$

$$\text{Vol. Agua} = \frac{\text{Vol. Agua}}{\text{P específico Agua}}$$

$$\text{Vol. de Aire} = \text{Contenido de Aire}$$

Cemento = 0.16 m3

Agua = 0.22 m3

Aire = 0.03 m3

Σ Vol. Pasta= 0.40 m3

9° PASO Calculo del Volumen Absoluto Global y Volumen Absoluto de Pasta

$$\text{Vol. Absoluto Global} = 1\text{m}^3 - \sum \text{Vol. Absoluto de Pasta}$$

Vol. Absoluto Global = 0.60 m3

10° PASO Calculo del Valor de M y Grado de Incidencia del Agregado Fino y Grueso

TMN del Agregado Grueso	Modulo de Finura de la Combinacion de Agregados, el cual da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en saco por metro cubico indicados.			
	6.00	7.00	8.00	9.00
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.36	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39
MFF	3.03	MFG	6.33	

LI	9	→	4.69
	10.9	→	
LS	8	→	4.61

M = 4.84

$$\text{Incidencia del } A_f (\text{rf}) = \frac{MF_G - M}{MF_G - MF_F} \times 100$$

$$\text{Incidencia del } A_g (\text{rg}) = 100 \% - A_f \%$$

rf =	45.08%
------	--------

rg =	54.92%
------	--------

11° PASO Volúmenes Absolutos de los agregados

$$\text{Vol. Absoluto A. F.} = \text{rf} \times \text{Vol. Absoluto Global}$$

Vol. Absoluto A. F. =	0.27 m ³
-----------------------	---------------------

$$\text{Vol. Absoluto A. G.} = \text{rg} \times \text{Vol. Absoluto Global}$$

Vol. Absoluto A. G. =	0.33 m ³
-----------------------	---------------------

12° PASO Peso Seco de los Agregados

$$\text{Peso Seco A. F.} = \text{Vol. Absoluto A. F.} \times P \text{ específico A. F.}$$

Peso seco A. F. =	675.53 kgf/m ³
-------------------	---------------------------

$$\text{Peso Seco A. G.} = \text{Vol. Absoluto A. G.} \times P \text{ específico A. G.}$$

Peso seco A. G. =	892.56 kgf/m ³
-------------------	---------------------------

13° PASO Valores de Diseño de Mezcla

Agregado Fino Seco =	675.53 kgf/m ³
----------------------	---------------------------

Agregado Grueso Seco =	892.56 kgf/m ³
------------------------	---------------------------

Cemento =	463.52 kgf/m ³
-----------	---------------------------

Agua =	216.00 L/m ³
--------	-------------------------

14° PASO Corrección por Humedad del Agregado

a) Agregado Fino

W %	0.35 %
Peso Humedo A. F.	677.90 kgf/m ³

b) Agregado Grueso

W %	0.23 %
Peso Humedo A. F.	894.61 kgf/m ³

c) Humedad Superficial de los Agregados

$$\text{Humedad Superficial del A. F.} = W \% - \text{Absorción } \%$$

Humedad Superficial A. F. =	-3.65 %
-----------------------------	---------

$$\text{Humedad Superficial del A. G.} = W \% - \text{Absorción } \%$$

Humedad Superficial A. G. =	-1.12 %
-----------------------------	---------

d) Aporte de Humedad de los Agregados

$$\text{Aporte de Humedad Superficial del A. F.} = \text{A. F. seco} \times \text{Humedad superficial A. F.}$$

Aporte de Humedad Superficial del A. F. =	-24.66 L/m ³
---	-------------------------

$$\text{Aporte de Humedad Superficial del A. G.} = \text{A. G. seco} \times \text{Humedad superficial A. G.}$$

Aporte de Humedad Superficial del A. G. =	-10.00 L/m ³
---	-------------------------

Σ	-34.65 L/m ³
---	-------------------------

e) Agua Efectiva

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Vol. Unitario de Agua} - \sum \text{Aporte de Humedad}$$

Agua Efectiva =	250.65 L/m3
-----------------	-------------

f) Peso de Materiales Corregidos por Humedad

Agregado Fino Humedo =	677.90 kgf/m3
------------------------	---------------

Agregado Grueso Humedo =	894.61 kgf/m3
--------------------------	---------------

Cemento =	463.52 kgf/m3
-----------	---------------

Agua de diseño =	250.65 L/m3
------------------	-------------

15° PASO Proporción de Pesos

Agregado Fino Humedo =	1.46
------------------------	------

Agregado Grueso Humedo =	1.93
--------------------------	------

Agua de diseño =	0.54
------------------	------

Relacion a/c Diseño =	0.47
Relacion a/c Corregido =	0.54

Cemento	A. FINO	A. GRUESO	AGUA
1.0	1.5	1.9	0.5

16° PASO Adición de Aditivo

1) Adición de 0 % de Cemento por TiO₂ - 280 kgf/cm²

Agregado Fino Humedo =	677.90 kgf/m3
------------------------	---------------

Agregado Grueso Humedo =	894.61 kgf/m3
--------------------------	---------------

Cemento =	463.52 kgf/m3
-----------	---------------

Agua de diseño =	250.65 L/m3
------------------	-------------

TiO ₂ (0 %) =	0.00 kgf/m3
--------------------------	-------------

Proporción de Pesos

Agregado Fino Humedo =	1.46
------------------------	------

Agregado Grueso Humedo =	1.93
--------------------------	------

Agua de diseño =	0.54
------------------	------

TiO ₂ =	0.00
--------------------	------

Relacion a/c Diseño =	0.47
Relacion a/c Corregido =	0.54

A. FINO	A. GRUESO	AGUA	Cemento	TiO ₂ (0%)
1.5	1.9	0.5	1.0	0.0

2) Adición de 3 % de Cemento por TiO₂ - 280 kgf/cm²

Agregado Fino Humedo =	677.90 kgf/m3
------------------------	---------------

Agregado Grueso Humedo =	894.61 kgf/m3
--------------------------	---------------

Cemento =	463.52 kgf/m3
-----------	---------------

Agua de diseño =	250.65 L/m3
------------------	-------------

TiO ₂ (3 %) =	13.91 kgf/m3
--------------------------	--------------

Proporcion de Pesos

Agregado Fino Humedo =	1.46
Agregado Grueso Humedo =	1.93
Agua de diseño =	0.54
TiO2 (3 %) =	0.03

Relacion a/c Diseño =	0.47
Relacion a/c Corregido =	0.54

A. FINO	A. GRUESO	AGUA	Cemento	TiO2 (3%)
1.5	1.9	0.5	1.0	0.03

3) Adicion de 6 % de Cemento por TiO2 - 280 kgf/cm2

Agregado Fino Humedo =	677.90	kg/m3
Agregado Grueso Humedo =	894.61	kg/m3
Cemento =	463.52	kg/m3
Agua de diseño =	250.65	L/m3
TiO2 (6 %) =	27.81	kg/m3

Proporcion de Pesos

Agregado Fino Humedo =	1.46
Agregado Grueso Humedo =	1.93
Agua de diseño =	0.54
TiO2 (6 %) =	0.06

Relacion a/c Diseño =	0.47
Relacion a/c Corregido =	0.54

A. FINO	A. GRUESO	AGUA	Cemento	TiO2 (6%)
1.5	1.9	0.5	1.0	0.06

4) Adicion de 9 % de Cemento por TiO2 - 280 kgf/cm2

Agregado Fino Humedo =	677.90	kg/m3
Agregado Grueso Humedo =	894.61	kg/m3
Cemento =	463.52	kg/m3
Agua de diseño =	250.65	L/m3
TiO2 (9 %) =	41.72	kg/m3

Proporcion de Pesos

Agregado Fino Humedo =	1.46
Agregado Grueso Humedo =	1.93
Agua de diseño =	0.54
TiO2 (9 %) =	0.09

Relacion a/c Diseño =	0.47
Relacion a/c Corregido =	0.54

A. FINO	A. GRUESO	AGUA	Cemento	TiO2 (9%)
1.5	1.9	0.5	1.0	0.09

16° PASO Proportion de Pesos

PROBETAS 10x20cm (TRACCION Y COMPRESION)

r= 10 cm
h= 20 cm
N° PROB. 27
Volum. Prob. 0.0015708 m³

Agregado Fino Humedo = 43.99 kg/m³

Agregado Grueso Humedo = 58.05 kg/m³

Cemento = 30.08 kg/m³

Agua de diseño = 16.26 L/m³

	CANTIDAD
Agregado Fino Humedo =	43.99
Agregado Grueso Humedo =	58.05
Cemento =	30.08
Agua de diseño =	16.26

	0%	3%	6%	9%	TOTAL
Compresion	0	0.9	1.8	2.71	5.41
Traccion	0	0.9	1.8	2.71	5.41

Agregado Fino	351.91	kg	8.8	bolsas
Agregado Grueso	464.41	kg	11.61	bolsas
Cemento	240.62	kg	5.66	bolsas
Agua	130.12	Lts		
TiO ₂	10.82	kg		

MUESTRAS 10x10x2 cm para Rodamina

H 10 cm
L= 10 cm
E= 2 cm
N° PROB. 6
Volum. Prob. 0.0002 m³

Agregado Fino Humedo = 1.24 kg/m³

Agregado Grueso Humedo = 1.64 kg/m³

Cemento = 0.85 kg/m³

Agua de diseño = 0.46 L/m³

	CANTIDAD
Agregado Fino Humedo =	1.24
Agregado Grueso Humedo =	1.64
Cemento =	0.85
Agua de diseño =	0.46

	0%	3%	6%	9%	TOTAL
DECOLORACION	0	0.03	0.05	0.08	0.16

Agregado Fino	4.98	kg	0.12	bolsas
Agregado Grueso	6.57	kg	0.16	bolsas
Cemento	3.40	kg	0.08	bolsas
Agua	1.84	Lts		
TiO2	0.16	kg		

PANELES 40x40x4 cm para Intemperismo

H 40 cm
L= 40 cm
E= 4 cm
N° PROB. 1
Volum. Prob. 0.0064 m3

Agregado Fino Humedo = 6.64 kg/m3

Agregado Grueso Humedo = 8.76 kg/m3

Cemento = 4.54 kg/m3

Agua de diseño = 2.45 L/m3

	CANTIDAD
Agregado Fino Humedo =	6.64
Agregado Grueso Humedo =	8.76
Cemento =	4.54
Agua de diseño =	2.45

	0%	3%	6%	9%	TOTAL
Compresion	0	0.14	0.27	0.41	0.82

Agregado Fino	26.55	kg	0.66	bolsas
Agregado Grueso	35.04	kg	0.88	bolsas
Cemento	18.16	kg	0.43	bolsas
Agua	9.82	Lts		
TiO2	0.82	kg		

Agregado Fino	383.44	kg	9.59	bolsas
Agregado Grueso	506.02	kg	12.65	bolsas
Cemento	262.18	kg	6.17	bolsas
Agua	141.78	Lts		
TiO2	11.80	kg		

TOTAL AGR. FINO	822.26	kg	21.00	bolsas
TOTAL AGR. GRUESO	991.84	kg	25.00	bolsas
TOTAL CEMENTO	480.98	kg	12.00	bolsas
TOTAL AGUA	285.34	kg		
TOTAL TiO2	21.64	kg		



Universidad Católica
de Santa María

AREQUIPA-PERU

☎ (51 54) 382038

🌐 <http://www.ucsm.edu.pe>

📘 [facebook.com/ucsm.edu.pe/](https://www.facebook.com/ucsm.edu.pe/)

CONSTANCIA **ID-011362**

El que suscribe, Mgter. Ing. RUBEN FRANCISCO GAMARRA TUCO, Coordinador de los Laboratorios FAICA, de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

HACE CONSTAR

Que el (los) Señor(es) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:

JOMAR EVER ZARATE MAMANI

(DNI – 73853813)

Ha realizado los ensayos en los Laboratorios de Ingeniería Civil, correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada:

"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CAPACIDAD AUTOLIMPIANTE DEL CONCRETO FOTOCATALÍTICO CON ADICIÓN DE TiO_2 CON RESISTENCIA $\text{F}'\text{C}$ 210 KG/CM^2 Y 280 KG/CM^2 PARA ACABADOS CARAVISTA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA"

Los ensayos efectuados en el laboratorio se detallan en el Anexo 1 del presente, se llevaron a cabo el 24/07/2024 al 24/03/2025.

El total resultante según el tarifario 2025 como DERECHO USO LABORATORIO POR TESIS, se categoriza con descuento en la opción "3", de acuerdo a la autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil se dispone:

USO DE EQUIPOS TESIS		TOTAL A PAGAR POR TESIS S/	COMPROBANTE DE PAGO
TOTAL RESULTANTE S/	OPCIÓN "3" SE COBRA EL PORCENTAJE SEGÚN TOTAL RESULTANTE DE LA TABLA COSTO TESIS	967.05	B017-00003394
2763.00	35%		

Se expide la presente constancia para los fines convenientes.

Arequipa, 16 de setiembre del 2025.



Mgter. Ing. Rubén Francisco Gamarra Toco
Ponente Responsable de los Laboratorios FAICA y Coordinador de la
Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Arequipa - Perú
rgamarrat@ucsm.edu.pe



Universidad Católica
de Santa María

AREQUIPA-PERU

(51 54) 382038

http://www.ucsm.edu.pe

facebook.com/ucsm.edu.pe/

ANEXO 1

ITEM	ENSAYO	CANT.	C.U. al 25%	PARCIAL S/
ENSAYOS EN AGREGADOS				
1	Análisis Granulométrico de Agregados Finos - Incluye Módulo de Fineza	3	10.00	30.00
2	Análisis Granulométrico de agregado grueso	3	10.00	30.00
3	Contenido de Humedad de Agregados	2	5.00	10.00
4	Material Mas Fino que el Tamiz 75 μ M (N.º 200)	3	10.00	30.00
5	Peso Específico y Absorción de Agregado Fino	3	12.00	36.00
6	Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso	3	12.00	36.00
7	Peso Unitario del Agregado Fino (suelto y varillado)	3	13.00	39.00
8	Peso Unitario del Agregado Grueso (suelto y varillado)	3	15.00	45.00
ENSAYOS EN CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND				
9	Compresión de Probetas de Concreto de 4" y 6"	377	3.00	1131.00
10	Tracción indirecta en probetas de concreto de 4" y 6"	210	4.00	840.00
11	Elaboración de Mezcla de concreto	36	8.00	288.00
12	Asentamiento del concreto de cemento portland (slump)	16	1.00	16.00
13	Peso unitario del concreto en estado fresco	16	3.00	48.00
14	Temperatura del concreto en estado fresco	16	1.00	16.00
ENSAYOS ESPECIALES				
15	Corte de especímenes de concreto por cara	8	1.00	8.00
ENSAYOS NUEVOS				
16	Prueba de Rodamina por 6 muestras	8	11.00	88.00
17	Prueba de Intemperismo	8	9.00	72.00
			TOTAL	2763.00



Mtro. Rubén Francisco Gamonal Tappa
Instituto de Ingeniería y Construcción
Calle San José 100, Arequipa, Perú
www.ucsm.edu.pe

ANEXO 4: Ficha técnica de los materiales

TRONOX

Technical Data Sheet

Tronox® CR-828

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

Applications

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

Typical Properties¹

TiO ₂ content, %	95
Density	
Specific gravity	4.1
Bulk	0.8 kg/L or 50 lbs/cu.ft.
Oil absorption.....	17
pH	7.4
Specific Resistance, Kohms-cm	8
Average particle size ² , µm	0.19
Specification	
ASTM D476.....	Type II, III, VI, VII
ISO 591-1:2000	R2

Please send queries regarding food contact applications to ChemProdSteward@tronox.com

¹Typical properties not to be construed as specifications

²By electron microscope

Plant Locations:

Botlek, The Netherlands
Mississippi, U.S
Kwinana, Australia

Sales Offices:

Oklahoma City 1 800 654 3911
Singapore +65 6255 0098
Shanghai, China +86-21-6422-8955
Perth, Australia +61 8 9411-1444
Botlek, The Netherlands +31 181 246600

06/17

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

263 Tresser Boulevard, Suite 1100 • Stamford, CT 06901

www.tronox.com

CEMENTO
CON MENOR
HUELLA
DE CARBONO

FICHA TÉCNICA 2024 / V.1

IP CEMENTO MULTI-PROPÓSITO
ALTA DURABILIDAD

CEMENTO
YURA™



DESCRIPCIÓN

El cemento Multi-propósito de Alta durabilidad Yura IP es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO₂, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado con Clinker Tipo I de alta calidad y adición de puzolana natural de origen volcánico y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado ISO 9001, de gestión ambiental ISO 14001 y de gestión de la seguridad y salud en el trabajo ISO 45001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

DURABILIDAD

"Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil".

SOSTENIBILIDAD

Somos la primera cementera en conseguir 2 estrellas en la certificación de **Huella de Carbono** otorgada por el Ministerio del Ambiente.

Certificación de "Huella de Carbono Perú" Nivel 2 por calcular y verificar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero utilizando la herramienta **Huella de Carbono Perú**

Yura también ha recibido el certificado "Quality Carbon Footprint" que evidencia el cálculo de la Huella de Carbono Producto, de tres de nuestros tipos de cemento, cumpliendo los estándares reconocidos internacionalmente.



INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A.
certifica que este producto cumple con los requisitos descritos en el DS Nº 001-2002 - PRODUCTOS, "Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General"







MINISTERIO DEL AMBIENTE
VERIFICACIÓN 2023



MINISTERIO DEL AMBIENTE
VERIFICACIÓN 2022



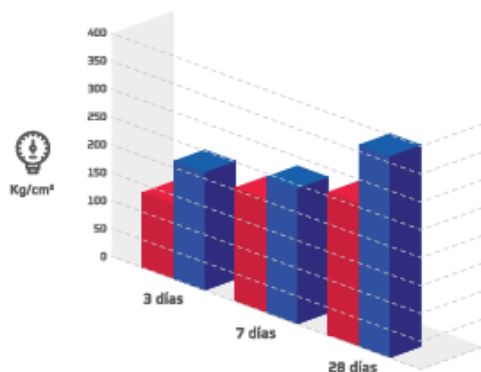
FICHA TÉCNICA 2024 / V.1



CEMENTO
MULTI-PROPOSITO

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS		Requisitos	CEMENTO YURA
REQUISITOS QUÍMICOS		Norma Técnica Peruana 334.090-2020 y Norma Americana ASTM C595/C595M-20 CEMENTO TIPO IP	MULTI-PROPOSITO TIPO IP
Óxido de magnesio (MgO)	%	máximo 5.0	1.5 a 3.0
Trióxido de azufre (SO ₃)	%	máximo 4.0	1.5 a 3.0
Pérdida de Ignición	%	máximo 5.0	1.5 a 4.0
REQUISITOS FÍSICOS			
Densidad	g/cm ³	-	2.70 a 2.8
Contracción / Expansión en Autoclave	%	-0.20 a 0.80	-0.09 a 0.05
Tiempo de fraguado inicial Vicat	minutos	45 a 420	140 a 260
Contenido de aire	%	máximo 12	3 a 8
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
3 días	kgf/cm ²	mínimo 133	150 a 210
7 días	kgf/cm ²	mínimo 204	210 a 240
28 días	kgf/cm ²	mínimo 255	290 a 360
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
Expansión a 6 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0.05	< 0.05
Expansión a 12 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0.10	< 0.07



COMPARACIÓN RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN

CEMENTO YURA MULTI-PROPOSITO TIPO IP VS
REQUISITOS NORMAS TECNICAS NTP 334.090

- Cemento Tipo IP
Norma técnica
NTP 334.090 (ASTM C595)
- Cemento Multi-Propósito
Yura Tipo IP

OTRAS PROPIEDADES



Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, hace que el CEMENTO MULTIPROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a otros tipos de cemento.

Los silicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

/CementoYuraPeru

CEMENTO
YURA™

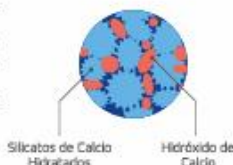
FICHA TÉCNICA 2024 / V.1



IP CEMENTO
MULTI-PROPÓSITO

CON CEMENTO TIPO I

El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio hidratados que generan resistencia a la compresión, el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

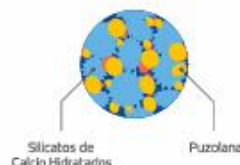


CON CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP



Hidróxido de calcio
reacciona con la puzolana

Reacción puzolánica
produce más Silicatos
de Calcio Hidratados



La puzolana que contiene el cemento MULTI-PROPÓSITO YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más Silicatos de Calcio Hidratados, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros logrando un concreto más resistente e impermeable.

02

RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS



El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio que genera una expansión del 18% y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Yura para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP es resistente a los sulfatos, cloruros y al ataque químico de otros iones agresivos.

03

MAYOR IMPERMEABILIDAD



EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los silicatos de la puzolana con los hidróxido de calcio producidos en la hidratación del cemento disminuyendo la porosidad, así el concreto se hace más impermeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.



BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor emisión de gases de efecto invernadero durante su fabricación.
- Cemento fabricado con menor emisión de CO₂.

04

CONTRARRESTA LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO



EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP ha demostrado en ensayos de laboratorio la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos de mala calidad y los álcalis del cemento.

05

MENOR CALOR DE HIDRATACIÓN

La reacción química de hidratación del cemento genera calor, calentando la mezcla de concreto, lo que la expande y cuando esta reacción termina, se enfría y contrae, generando fisuras y grietas. El cemento multi-propósito YURA Tipo IP, debido al contenido de puzolana reduce el calor generado en la reacción, disminuyendo la expansión térmica, evitando la presentación de fisuras en el concreto e impidiendo el ingreso de agentes externos dañinos.

f in y o /CementoYuraPeru

CEMENTO
YURA

FICHA TÉCNICA 2024 / V.1



IP CEMENTO
MULTI-PROPÓSITO

RECOMENDACIONES DE USO



- Curado adecuado con abundante agua.
- Mantener húmeda la superficie para lograr la mayor resistencia y evitar fisuramiento por excesivo secado.
- Tomar precauciones para el adecuado curado en vaciados cuando se presentan bajas temperaturas.
- Asesorarse siempre con un profesional de la construcción/Ingeniero civil.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.
- En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.
- En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.
- Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:



Botas impermeables



Protección respiratoria



Guantes impermeables



Protección ocular

ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:



- Almacenar en recinto seco, bajo techo, separado de piso y paredes, protegido de la intemperie.



- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.



- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.



- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

PRESENTACIONES DISPONIBLES

BOLSAS DE 25 KG	Ergonómico. Ideal para proyectos pequeños y pocas áreas de almacenamiento.
BOLSAS DE 42.5 KG	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
BIG BAG 1.5 TM	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
GRANEL	Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

NORMAS TÉCNICAS

NORMA DE PAÍS	NORMA	DENOMINACIÓN
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.090	Cemento Portland Pozzolánico TIPO IP
NORMA CHILENA OFICIAL	NCh 148 OF.68	Cemento Pozzolánico GRADO CORRIENTE
NORMA AMERICANA	ASTM C595	Portland Pozzolan Cement TYPE IP
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Pozzolánico TIPO P-30
NORMA TÉCNICA ECUATORIANA	NTE INEN 490	Cemento Portland Pozzolánico TIPO IP
NORMA BRASILEIRA	NBR 16697	Cimento Portland Pozolânico TIPO CP IV-25 RS
NORMA TÉCNICA COLOMBIANA	NTC 121	Cemento Hidráulico uso general TIPO UG



EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP es un Cemento Portland Pozzolánico, que cumple con la Norma Técnica Peruana NTP 334.090 y la Norma Americana ASTM C595, según lo señalado en el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General (DS N° 001-2022-PRODUCE)



DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la Fecha de Fabricación, utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de la Fecha Recomendada de Uso que se indica en el envase.

Cuidemos juntos el MEDIO AMBIENTE



Big Bag:
Se sugiere reciclar el envase



Bolsas:
Se sugiere reciclar el envase

YURA S.A. RUC: 20312372895
Planta: Carretera a Yura km. 26 (Estación Yura)
Yura - Arequipa
Tel: (054) 49 5060
www.yura.com.pe

[f](#) [in](#) [v](#) [@](#) /CementoYuraPeru

HECHO EN PERÚ





FICHA TECNICA COLOR RODAMINA B

NOMBRE DEL PRODUCTO / DESCRIPCION

Color Rodamina B. Polvo soluble en agua (150 g/l a 20°C), dando solución rosada, esta disolución se vuelve rosado intenso en medio alcalino, es poco soluble en etanol (0.1 g/l) con regular estabilidad a la oxidación, y a pH 3, pH 7, pH 8.

COMPOSICION

Rodamina B (Pureza 85% mín., 15% Cloruros y Sulfatos),

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y MICROBIOLOGICAS

Aspecto:	Polvo
Color:	Verde oscuro
Olor:	Inodoro
Pureza	85 % Mín.
Materia insoluble en agua	0.2 % Max.
Metales pesados (como Plomo)	40 ppm Máx.
Arsénico (As)	3 ppm Máx.
Plomo (Pb)	2 ppm Máx.

MICROBIOLOGICO: NO APLICA

TRATAMIENTO DE CONSERVACION

NO APLICA

PRESENTACION - ENVASES - EMBALAJES

Tambores por 25 kg., con polietileno interior, bolsas de polietileno



INSTRUCCIONES DE USO

Colorante, especialmente para alimentos, siempre y cuando se declare en la lista de ingredientes el uso de este color; fármacos y cosméticos.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

El Colorante, se debe almacenar herméticamente sellados en ambientes secos y frescos

VIDA UTIL

2 años.

CONTENIDO DEL ROTULADO

Nombre del producto, número de lote, Fecha de fabricación, fecha de vencimiento, número de lote.

GREEN INSUQUIMICA SAC

La Calidad es lo Primero

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

Email: ventas@insuquimica.com / Web site: www.insuquimica.com