

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto de las propiedades físico-mecánicas y
químicas del mortero convencional adicionado
con dióxido de titanio para el sector construcción
en la provincia y región de Arequipa,
julio - diciembre 2020**

Marco Antonio Huamani Mollo
Stephany Solis Guerra

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Arequipa, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Rafael Christian Ojeda Yauri

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a Dios, a mis adorados padres, a mis hermanos y sobre todo a mi hija Adriana Lorena, pilar fundamental en mi vida. Por su apoyo incondicional en mi vida, por ser mi impulso, para que me convierta en una mejor persona y me desarrolle siempre profesionalmente. Los amo familia mía.

Marco Antonio Huamani Mollo

A Dios que me dio una oportunidad más de tener a mis padres a mí lado, a ellos, que siempre me apoyan en todo mi camino, a mi abuela que desde el cielo siempre me guía, a mi pareja por el apoyo incondicional en cada paso que doy y a todas aquellas amistades inolvidables que alimentaron mi alma en el proceso de la construcción de la presente tesis.

Stephany Solis Guerra

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial para:

- La empresa H&M INGENIERÍA, TOPOGRAFÍA Y CONSTRUCCIÓN SRL, por el apoyo y colaboración, para hacer posible la culminación del presente trabajo de investigación.
- A nuestro asesor, Rafael Christian Ojeda Yauri, por brindarnos su conocimiento y ayudarnos a realizar las diversas actividades necesarias para culminar la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

ASESOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Problema General	2
1.2.2 Problemas Específicos	2
1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	2
1.5 HIPÓTESIS.....	3
1.6 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	3
1.7 METODOLOGÍA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.8 VARIABLES	3
1.8.1 Variables Dependientes	3
1.8.2 Variables Independientes.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	4
2.1.1 Antecedentes Nacionales	4
2.1.2 Antecedentes Internacionales	5
2.1.3 Antecedentes Regionales	6
2.2 BASES TEÓRICAS	7
2.2.1 Contaminación Atmosférica	7
2.2.1.1 Efectos de la contaminación atmosférica	10
2.2.1.2 Métodos de eliminación de Compuestos Orgánicos Volátiles [COVs]	14
2.2.2 Fotocatálisis.....	15

2.2.3	Dióxido de Titanio [TiO ₂]	17
2.2.3.1	Propiedades del Dióxido de Titanio [TiO ₂]	18
2.2.3.2	Aplicaciones del Dióxido de Titanio [TiO ₂]	19
2.2.3.3	Efectos del Dióxido de Titanio [TiO ₂]	21
2.2.4	Mortero	23
2.2.4.1	Materiales Constituyentes del Mortero	23
2.2.4.2	Tipos de Mortero para Mampostería	28
2.2.4.3	Propiedades del Mortero	31
2.2.5	Antecedentes de la Mezcla Mortero - Dióxido de Titanio [TiO ₂]	32
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	34
CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES		36
3.1	CEMENTO	36
3.1.1	Características químicas y físicas	36
3.2	AGREGADO FINO	37
3.2.1	Análisis Granulométrico (NTP-400.012) (NTP-400.037) (ASTM-C136) (ASTM-C33)	37
3.2.2	Propiedades Físicas de los Agregados	39
3.2.2.1	Módulo de Fineza (NTP-400.012) (ASTM-C136)	39
3.2.2.2	Peso Específico Superficialmente Seco (NTP 400.021) (NTP-400.017)	39
3.2.2.3	Peso específico (NTP 400.021) (ASTM C 138)	42
3.2.2.4	Porcentaje de Absorción (NTP 400.021) (ASTM-C128)	42
3.2.2.5	Peso Unitario (NTP-400.017) (ASTM-C29)	43
3.2.2.6	Contenido de Humedad (NTP-339.185) (ASTM-C566)	47
3.2.2.7	Porcentaje Malla < N° 200 (ASTM-C117) (NTP 400.018)	47
3.3	AGUA	49
3.4	ADITIVOS (ASTM-C494)	50
3.4.1	Propiedades del Dióxido de Titanio	50
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO		52
4.1	DISEÑO MUESTRAL	52
4.2	POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS	52
4.3	TIPOS DE TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	53
4.4	PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	54
4.5	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	55

CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS AL MORTERO	56
5.1 DISEÑO DE MEZCLA.....	56
5.1.1 Pasos a Seguir.....	57
5.1.2 Diseño de Mezcla Patrón y con Adición.....	58
5.2 ENSAYOS REALIZADOS.....	68
5.2.1 Ensayo de Absorción (NTP 399.631)	68
5.2.2 Ensayo de Fluidez (NTP 334.057).....	73
5.2.3 Resistencia a la Compresión (NTP 334.051)	75
5.2.4 Ensayo de Rodamina B (UNI 11259)	81
5.2.5 Intemperismo.....	85
5.2.6 Comportamiento Autolimpiante	85
5.2.7 Análisis de Costos	86
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	88
6.1 ENSAYOS REALIZADOS.....	88
6.1.1 Ensayo de Absorción	88
6.1.1.1 Análisis ANOVA (Análisis de la Varianza con un Factor).....	89
6.1.2 Ensayo de Fluidez.....	95
6.1.2.1 Análisis ANOVA.....	96
6.1.3 Resistencia a la Compresión.....	98
6.1.3.1 Control de Calidad.....	99
6.1.4 Ensayo de Rodamina B.....	134
6.1.4.1 Análisis ANOVA.....	135
6.1.5 Intemperismo.....	138
6.1.6 Comportamiento Autolimpiante	147
6.1.7 Análisis de Costos	149
6.1.7.1 Análisis beneficios-costos	150
CONCLUSIONES	154
RECOMENDACIONES	156
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
ANEXOS	168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Origen de los COVs atmosféricos.	9
Tabla 2.	Estándares Nacionales de Calidad de Aire Perú. D.S. 03 – 2017.....	12
Tabla 3.	Propiedades físicas del TiO ₂	18
Tabla 4.	Especificación por propiedades para morteros de cemento y cal preparados en laboratorio.	28
Tabla 5.	Especificación por proporciones, para morteros de cemento y cal.	29
Tabla 6.	Usos del mortero según su dosificación.....	31
Tabla 7.	Propiedades Físicas y Químicas del Cemento YURA Tipo I – Noviembre 2020	36
Tabla 8.	Análisis Granulométrico del Agregado Fino.	38
Tabla 9.	Densidad del Agua (ASTM C29)	44
Tabla 10.	Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.....	45
Tabla 11.	Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.....	46
Tabla 12.	Propiedades del Agregado Fino.....	49
Tabla 13.	Límites químicos opcionales para el agua de mezcla.....	49
Tabla 14.	Certificado de Análisis del TiO ₂	51
Tabla 15.	Población Muestral del Análisis del TiO ₂	53
Tabla 16.	Tiempo mínimo de mezclado recomendado	57
Tabla 17.	Fluidez recomendada para mortero.....	58
Tabla 18.	Resistencia de Morteros según su proporción en volumen.	58
Tabla 19.	Propiedades de los Componentes del Mortero.....	59
Tabla 20.	Proporciones en Volumen y Peso del Patrón.	62
Tabla 21.	Proporciones en Volumen y Peso del Patrón Ajustado.	64
Tabla 22.	Diseño de Mezcla Patrón del Mortero (ACI 211) (Rivera L., 2015).....	65
Tabla 23.	Diseño de Mezcla Patrón Ajustada del Mortero (ACI 211) (Rivera L., 2015).....	65
Tabla 24.	Diseño de Mezcla con Adición de 3% de Dióxido de Titanio (ACI 211) (Rivera L., 2015)	66
Tabla 25.	Diseño de Mezcla con Adición de 6% de Dióxido de Titanio (ACI 211) (Rivera L., 2015)	66
Tabla 26.	Diseño de Mezcla con Adición de 9% de Dióxido de Titanio (ACI 211) (Rivera L., 2015)	67
Tabla 27.	Influencia del aditivo TiO ₂ en el ensayo de absorción a 0.25 horas.....	70
Tabla 28.	Influencia del aditivo TiO ₂ en el ensayo de absorción a 1.4 horas.....	71
Tabla 29.	Influencia del aditivo TiO ₂ en el ensayo de absorción a 24 horas.....	72

Tabla 30.	Influencia del aditivo TiO ₂ en el ensayo de fluidez.	74
Tabla 31.	Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de un día.	76
Tabla 32.	Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de tres días.	77
Tabla 33.	Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de siete días.	78
Tabla 34.	Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de catorce días.	79
Tabla 35.	Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de veintiocho días.	80
Tabla 36.	Ensayo de Rodamina B con una exposición a cuatro horas (UNI 11259).....	83
Tabla 37.	Ensayo de Rodamina B con una exposición a veintiséis horas (UNI 11259).....	84
Tabla 38.	Costo de los Precios Unitarios para la producción de morteros.	86
Tabla 39.	Costo Unitario para 1m ³ de mortero para cada diseño, Arequipa – Diciembre 2020.	87
Tabla 40.	Tasa de Absorción de agua en función al tiempo.....	88
Tabla 41.	Datos para el ANOVA a las 0.25h de ser sumergidos.	91
Tabla 42.	Tabla ANOVA para Ensayo de Absorción por Diseño de Mezcla a las 0.25h.....	91
Tabla 43.	Datos para el ANOVA a las 1.4h de ser sumergidos.	92
Tabla 44.	Tabla ANOVA para Ensayo de Absorción por Diseño de Mezcla a las 1.4h.....	93
Tabla 45.	Datos para el ANOVA a las 24h de ser sumergidos.	94
Tabla 46.	Tabla ANOVA para Ensayo de Absorción por Diseño de Mezcla a las 24h.....	94
Tabla 47.	Datos para el ANOVA del Ensayo de Fluidez.....	96
Tabla 48.	Tabla ANOVA para Ensayo de Fluidez por Diseño de Mezcla.	97
Tabla 49.	Resistencia a la Compresión para cada Diseño de Mezcla.....	98
Tabla 50.	Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero.....	101
Tabla 51.	Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al primer día (ACI 214 - 2011).....	101
Tabla 52.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al primer día (ACI 214 - 2011).....	102
Tabla 53.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO ₂ al primer día (ACI 214 - 2011).....	103
Tabla 54.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO ₂ al primer día (ACI 214 - 2011).....	104
Tabla 55.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al primer día (ACI 214 - 2011).....	105
Tabla 56.	Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al tercer día (ACI 214 - 2011).....	106
Tabla 57.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al tercer día (ACI 214 - 2011).....	107

Tabla 58.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO ₂ al tercer día (ACI 214 - 2011)	108
Tabla 59.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO ₂ al tercer día (ACI 214 - 2011)	109
Tabla 60.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al tercer día (ACI 214 - 2011)	110
Tabla 61.	Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al séptimo día (ACI 214 - 2011)	111
Tabla 62.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón –0% al séptimo día (ACI 214 - 2011).....	111
Tabla 63.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO ₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011).....	113
Tabla 64.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO ₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011).....	114
Tabla 65.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011).....	115
Tabla 66.	Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al catorceavo día (ACI 214 - 2011).....	116
Tabla 67.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al catorceavo día (ACI 214 - 2011)	116
Tabla 68.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO ₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011)	118
Tabla 69.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO ₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011)	119
Tabla 70.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011)	120
Tabla 71.	Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011).....	121
Tabla 72.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)	121
Tabla 73.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO ₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)	123
Tabla 74.	Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO ₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)	124

Tabla 75. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)	125
Tabla 76. Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Primer día.	127
Tabla 77. Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a un día por Diseño de Mezcla. .	127
Tabla 78. Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Tercer día.....	128
Tabla 79. Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a tres días por Diseño de Mezcla.....	129
Tabla 80. Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Séptimo día.	130
Tabla 81. Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a siete días por Diseño de Mezcla.	130
Tabla 82. Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Catorceavo día.	131
Tabla 83. Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a catorce días por Diseño de Mezcla.	132
Tabla 84. Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Veintiochoavo día.	133
Tabla 85. Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a veintiocho días por Diseño de Mezcla.	133
Tabla 86. Ensayo de Rodamina para cada Diseño de Mezcla.....	134
Tabla 87. Datos para el ANOVA del factor R4 obtenidos del Ensayo de Rodamina.....	136
Tabla 88. Tabla ANOVA para factor R4 por Diseño de Mezcla.	136
Tabla 89. Datos para el ANOVA del factor R26 obtenidos del Ensayo de Rodamina.....	137
Tabla 90. Tabla ANOVA para factor R26 por Diseño de Mezcla.	138
Tabla 91. Temperatura Máxima, Mínima y Humedad Relativa de la provincia y región de Arequipa, Mes de Noviembre 2020	140
Tabla 92. Temperatura Máxima, Mínima y Humedad Relativa de la provincia y región de Arequipa, Mes de Diciembre 2020	142
Tabla 93. Temperatura Máxima, Mínima y Humedad Relativa de la provincia y región de Arequipa, Mes de Enero 2021	144
Tabla 94. Temperatura Máxima, Mínima y Humedad Relativa de la provincia y región de Arequipa, Mes de Febrero 2021	146
Tabla 95. Costo por 1m ² , limpieza de fachadas superficiales.	150
Tabla 96. Costo de mezcla de mortero en 1m ² de aplanado.....	150
Tabla 97. Análisis de Flujo Económico en Morteros con y sin adición de TiO ₂	152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Contaminación Atmosférica.....	8
Figura 2.	Fuentes, tipos de contaminantes, procesos y efectos generales en contaminación atmosférica.....	9
Figura 3.	Efectos de los contaminantes del aire en la Salud Humana.....	10
Figura 4.	Pérdida de carbono indirecta causada por fuego O ₃ y aerosoles.....	13
Figura 5.	Tecnologías de tratamiento de los efluentes gaseosos en función del flujo y la concentración de las corrientes con contaminantes.	15
Figura 6.	Proceso de detoxificación solar por vía fotocatalítica. Representación de una partícula del catalizador.	16
Figura 7.	Energías de banda prohibida y posición de las bandas de conducción y de valencia de diferentes semiconductores, junto con algunos potenciales redox.....	16
Figura 8.	Moléculas de agua.....	19
Figura 9.	La Iglesia de la Misericordia en Roma.....	21
Figura 10.	Sustancias que pueden reducirse por fotocatalisis.	22
Figura 11.	Clasificación general de las cales utilizadas en construcción.....	24
Figura 12.	Procesos de fraguado y endurecimiento del mortero.....	25
Figura 13.	Iglesia “Dives in Misericordia” Roma; “Cité de la Musique et des Meaux-Arts” Chambery; Túnel Vía Porpora, Milán.....	33
Figura 14.	Cemento Portland Tipo I.....	37
Figura 15.	Análisis Granulométrico del Agregado Fino.....	38
Figura 16.	Muestreo del Agregado Fino.....	39
Figura 17.	Sumersión en el agua del Agregado Fino.....	40
Figura 18.	Secado a la intemperie del Agregado Fino.....	40
Figura 19.	Cono de Absorción con el Agregado Fino.	41
Figura 20.	Fiola con Agregado Fino y Agua.	41
Figura 21.	Agregado Fino Seco luego de la Inmersión en Agua y Secado Superficial.	43
Figura 22.	Implementos para el ensayo de Peso Unitario Suelto.....	45
Figura 23.	Agregado Fino Compactado – Primera Capa.	46
Figura 24.	Lavado del Agregado Fino para malla N° 200.	48
Figura 25.	Comparativa del tamaño de partículas entre a) Pasta de cemento a 5µm y b) Dióxido de Titanio a 0.1µm.	51
Figura 26.	Resistencia a la compresión del mortero versus A/C.	59
Figura 27.	Secado, enfriado y pesado inicial de muestra de mortero para ensayo de absorción. ..	69

Figura 28.	Ensayo de absorción de los especímenes de mortero.	69
Figura 29.	Ensayo de Fluidez para las muestras de TiO ₂	74
Figura 30.	Ensayo de Resistencia a la Compresión para los diferentes morteros con TiO ₂	75
Figura 31.	Pintado de Probetas con Rodamina B.	82
Figura 32.	Exposición de Probetas a la luz UV – Ensayo de Rodamina B.	82
Figura 33.	Elaboración de Paneles con diferentes porcentajes de TiO ₂	85
Figura 34.	Mortero con diferentes pigmentos adheridos – Cero horas	86
Figura 35.	Paneles de TiO ₂ correspondiente al Primer mes.	139
Figura 36.	Paneles de TiO ₂ correspondiente al Segundo mes.	141
Figura 37.	Paneles de TiO ₂ correspondiente al Tercer mes.	143
Figura 38.	Paneles de TiO ₂ correspondiente al Cuarto mes.	145
Figura 39.	Morteros de TiO ₂ correspondiente a la Primera hora – 9:30 am.....	147
Figura 40.	Morteros de TiO ₂ correspondiente a la Segunda hora – 10:30 am.....	147
Figura 41.	Morteros de TiO ₂ correspondiente a la Tercera hora – 11:30 am.	148
Figura 42.	Morteros de TiO ₂ correspondiente a la Cuarta hora – 12:30 pm.	148
Figura 43.	Morteros de TiO ₂ correspondiente a la Quinta hora – 1:30 pm.	149
Figura 44.	Ventana Principal del programa Statgraphics Centurion.....	169
Figura 45.	Selección del nombre y tipo de la etiqueta.	170
Figura 46.	Introducción de Datos a la plataforma de Statgraphics Centurion.....	170
Figura 47.	Proceso del Análisis Estadístico a seleccionar	171
Figura 48.	Elección de la Variable Dependiente e Independiente.	171
Figura 49.	Elección de las Tablas y Gráficos a Utilizar.....	172
Figura 50.	Interpretación de los Datos según Tablas y Gráficos seleccionados.....	172

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva Granulométrica del Agregado Fino con Límites (ASTM C33).....	38
Gráfico 2. Ensayo de absorción versus Porcentaje de TiO_2 a 0.25 horas.....	70
Gráfico 3. Ensayo de absorción versus Porcentaje de TiO_2 a 1.4 horas.....	71
Gráfico 4. Ensayo de absorción versus Porcentaje de TiO_2 a 24 horas.....	72
Gráfico 5. Ensayo de Fluidez versus Porcentaje de TiO_2	74
Gráfico 6. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de un día.	76
Gráfico 7. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de tres días.	77
Gráfico 8. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de siete días.	78
Gráfico 9. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de catorce días.	79
Gráfico 10. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de veintiocho días.	80
Gráfico 11. Ensayo de Rodamina B con una exposición a cuatro horas (UNI 11259)	83
Gráfico 12. Ensayo de Rodamina B con una exposición a veintiséis horas (UNI 11259)	84
Gráfico 13. Tasa de Absorción versus Tiempo de Exposición.	89
Gráfico 14. Medias y 95% de Fisher LSD (Least Significant Difference) a las 0.25h de ser sumergido.	92
Gráfico 15. Medias y 95% de Fisher LSD a las 1.4h de ser sumergido.....	93
Gráfico 16. Medias y 95% de Fisher LSD a las 24h de ser sumergido.....	95
Gráfico 17. Porcentaje de Fluidez para Cada Diseño de Mezcla.	95
Gráfico 18. Medias y 95% de Fisher LSD para el Ensayo de Fluidez.	97
Gráfico 19. Resistencia a la Compresión versus Días.	98
Gráfico 20. Influencia de la Resistencia a la Compresión versus Diseños de Mezclas	99
Gráfico 21. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al primer día (ACI 214 - 2011)	102
Gráfico 22. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO_2 al primer día (ACI 214 - 2011)	103
Gráfico 23. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO_2 al primer día (ACI 214 - 2011)	104

Gráfico 24. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al primer día (ACI 214 - 2011)	105
Gráfico 25. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al tercer día (ACI 214 - 2011).....	107
Gráfico 26. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO ₂ al tercer día (ACI 214 - 2011).....	108
Gráfico 27. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO ₂ al tercer día (ACI 214 - 2011).....	109
Gráfico 28. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al tercer día (ACI 214 - 2011).....	110
Gráfico 29. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al séptimo día (ACI 214 - 2011)	113
Gráfico 30. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO ₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011)	114
Gráfico 31. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO ₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011)	115
Gráfico 32. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011)	116
Gráfico 33. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al catorceavo día (ACI 214 - 2011).....	117
Gráfico 34. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO ₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011).....	118
Gráfico 35. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO ₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011).....	119
Gráfico 36. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011).....	120
Gráfico 37. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011).....	122
Gráfico 38. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO ₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011).....	123
Gráfico 39. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO ₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011).....	124
Gráfico 40. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO ₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011).....	126
Gráfico 41. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a un día.	128

Gráfico 42. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a tres días.....	129
Gráfico 43. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a siete días.	131
Gráfico 44. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a catorce días. ...	132
Gráfico 45. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a veintiocho días.	134
Gráfico 46. Porcentaje de los factores R4 y R26 para Cada Diseño de Mezcla.....	135
Gráfico 47. Medias y 95% de Fisher LSD para el factor R4.	137
Gráfico 48. Medias y 95% de Fisher LSD para el factor R26.	138
Gráfico 49. Costo unitario de Mortero en Base al diseño con 0% de TiO ₂	149
Gráfico 50. Gastos a 10 años en diferentes Diseños de Mezclas.	153

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Módulo de Fineza.....	39
Ecuación 2.	Peso específico superficialmente seco	42
Ecuación 3.	Peso Específico Seco (PES)	42
Ecuación 4.	Porcentaje de Absorción.....	43
Ecuación 5.	Peso de la muestra	43
Ecuación 6.	Peso unitario suelto	43
Ecuación 7.	Peso unitario Compactado.....	46
Ecuación 8.	Contenido de Humedad	47
Ecuación 9.	Porcentaje de Malla < N° 200.....	48
Ecuación 10.	Ensayo de Absorción.....	68
Ecuación 11.	Ensayo de Fluidéz	73
Ecuación 12.	Factor R4 de Actividad Fotocatalítica	81
Ecuación 13.	Factor R26 de Actividad Fotocatalítica	81
Ecuación 14.	Desviación Estándar	100

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se realizó una descripción general sobre los fundamentos y aplicaciones del dióxido de titanio (TiO_2), respecto a su durabilidad y propiedades descontaminantes en el mortero.

Además, se explica experimentalmente la actividad fotocatalítica del mortero adicionado con dióxido de titanio (TiO_2) en fase anatasa, se realizaron pruebas con diferentes porcentajes de aditivos (0%, 3%, 6% y 9%), donde se evaluaron:

- Las propiedades fotocatalíticas a 0h, 4h y 26h mediante la medición de la degradación del colorante orgánico Rodamina B, utilizado para medir el rendimiento de autolimpieza y así obtener resultados cuantitativos; mediante la prueba de intemperismo y comportamiento autolimpiante, obtuvimos resultados cualitativos que nos permitieron observar visualmente el cambio de pigmentación a lo largo del tiempo.
- Las propiedades mecánicas, mediante ensayos de resistencia a la compresión a un día, tres días, siete días, catorce días y veintiocho días.
- Las propiedades físicas, mediante el ensayo de absorción a veintiocho días y el de fluidez.
- Costos unitarios, comparando el costo del mortero convencional con el mortero adicionado con TiO_2 .

Los resultados obtenidos fueron que la incorporación de dióxido de titanio, disminuyó la resistencia a la compresión y la tasa de absorción de agua a medida que se adicionaban en mayor proporción; la prueba de Rodamina B dio como resultado que el único mortero sin actividad fotocatalítico fue el que no contenía TiO_2 , ya que no cumplía con los factores de fotodegradación mínimos requeridos R4 y R26. Se ha verificado con el ensayo a la intemperie y el ensayo de comportamiento autolimpiante al estar en contacto con el sol, cumple su propiedad fotocatalítica y esto permite que no se adhieran partículas contaminantes y que se active su propiedad autolimpiante.

Finalmente, analizando los estudios realizados, se concluyó que el tratamiento adecuado para la ejecución del mortero, es el que tiene 3% de contenido de TiO_2 debido a que el efecto en las propiedades mecánicas del mortero son favorables, manteniendo su trabajabilidad y reduciendo su tasa de absorción de agua para mejorar la durabilidad del mismo, es fotocatalítico y autolimpiante; y además, presenta un costo beneficio a futuro.

Palabras Clave: Fotocatálisis, Autolimpiante, Rodamina B, Dióxido de Titanio, Propiedades Mecánicas, Mortero.

ABSTRACT

In this research work, a general description was made of the fundamentals and applications of titanium dioxide (TiO₂), regarding its durability and decontaminating properties in mortar.

Besides, the photocatalytic activity of the mortar added with titanium dioxide (TiO₂) in the anatase phase is experimentally explained, tests were carried out with different percentages of additives (0%, 3%, 6% and 9%), where they were evaluated:

- The photocatalytic properties at 0h, 4h and 26h by measuring the degradation of the organic colorant Rhodamine B, used to measure the self-cleaning performance and thus obtain quantitative results; Through the weathering and self-cleaning behavior test, we obtained qualitative results that allowed us to visually observe the change in pigmentation over time.
- The mechanical properties, through compressive strength tests at one day, three days, seven days, fourteen days and twenty-eight days.
- The physical properties, through the twenty-eight-days absorption test and the fluidity test.
- Unit costs, comparing the cost of conventional mortar with mortar added with TiO₂.

The results obtained were that the incorporation of titanium dioxide decreased the compressive strength and the water absorption rate as they were added in a greater proportion; The Rhodamine B test gave as a result that the only mortar without photocatalytic activity was the one that did not contain TiO₂, since it did not meet the minimum required photodegradation factors R4 and R26. It has been verified with the outdoor test and the self-cleaning performance test, when being in contact with the sun it fulfills its photocatalytic property and this allows pollutant particles to not adhere and its self-cleaning property to be activated.

Finally, analyzing the studies carried out, it was concluded that the adequate treatment for the execution of the mortar is the one with three percent (3%) of TiO₂ content due to the fact that the effect on the mechanical properties of the mortar is favorable, maintaining its workability and reducing its absorption rate. of water to improve its durability, it is photocatalytic and self-cleaning; and it also presents a cost benefit in the future.

Keywords: Photocatalysis, Self-cleaning, Rhodamine B, Titanium Dioxide, Mechanical Properties, Mortar.

INTRODUCCIÓN

El mortero autolimpiante es un tipo especial, ya que, contiene un material catalizador llamado dióxido de titanio, que se estimula al interactuar con la luz ultravioleta y provoca una reacción llamada fotocatalisis. Esta actividad química, activa al material para la oxidación de nitratos y de material orgánico.

El TiO_2 , es utilizado en diversos campos de acción, dado que es un material químicamente estable, no tóxico y relativamente barato; por ello, se ha convertido en el foco de atención de la comunidad científica. Uno de esos campos, es la aplicación en materiales de construcción a base de cemento, cuya finalidad es la obtención de materiales compuestos con propiedades bactericidas, autolimpiantes y descontaminantes.

Numerosos estudios han demostrado que desde el descubrimiento de las propiedades fotocatalíticas del dióxido de titanio, la investigación y el análisis sobre el uso de este material como catalizador en los Estados Unidos, Francia, Italia y otros países, han generado buenas expectativas del comportamiento del material dentro del mortero; y es tanto así, que se han publicado varios documentos en universidades y centros de investigación de todo el mundo que respaldan ciertas investigaciones y pruebas del dióxido de titanio en el mortero. Sin embargo, en Perú, el mortero autolimpiante no se ha utilizado en edificaciones y estructuras civiles, por la falta de investigación sobre el tema y el análisis de las ventajas que posee el material. Por el contrario, en Europa y Norteamérica existe una variedad de edificaciones y estructuras realizadas con mortero autolimpiante, debido a que este tipo de material puede asegurar una mejor estética de la edificación y reducir la contaminación de gases tóxicos en el medio ambiente.

El propósito del proyecto de investigación, es ampliar la información sobre este material catalizador y el conocimiento sobre el tema, incentivando así, la profundización y aplicación de este tipo de este mortero en el país. Este estudio partirá del análisis de las propiedades mecánicas, físicas y químicas del mortero, evaluando diferentes proporciones del aditivo (0%, 3%, 6% y 9%). Las probetas realizadas se someterán a una comparación respecto a la resistencia a la compresión, a la absorción, a sus propiedades fotocatalíticas y a sus costos, del dióxido de titanio contenido en ellas.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A medida que ha pasado el tiempo, se ha visto que la investigación sobre las nanopartículas ha ido aumentando considerablemente, ya que con ayuda de estas, se pueden obtener grandes ventajas a nivel industrial, y no ha sido indiferente en el ámbito de la construcción, ya que con ellas se ha podido mejorar bastantes propiedades del mortero convencional por medio de la implementación de materiales y/o aditivos de tamaño nanométrico. (González, 2017)

En la actualidad, se observa una gran problemática en la contaminación del aire y el agua donde se depositan microbios, la cual afecta directamente al ser humano, y de la misma forma en el ámbito de la construcción, pero a medida que va pasando el tiempo se ha ido realizando investigaciones sobre el dióxido de titanio (TiO_2), usado como un método amigable con el medio ambiente, que previene y reduce un gran porcentaje de bacterias u hongos producidos en las superficies. (Haider y otros, 2017)

La eficiencia fotocatalítica del TiO_2 , ha sido ampliamente estudiada debido a su capacidad para oxidar contaminantes, que son nocivos en el aire, cuando son activados por la luz UV, depende mucho de la fase en la que se encuentre el TiO_2 : rutilo, anatasa, brookita e ilmenita, esto conlleva a que se utilice en el mortero, pero depende mucho de su concentración, ya que puede ser altamente contaminante para nosotros mismos o puede presentar una pérdida en la eficiencia fotocatalítica en períodos relativamente cortos. (Bogutyn y otros, 2015)

No se ha hallado aún la disposición correcta del aditivo en adición, si se realiza como recubrimiento o inmerso en el diseño de mezcla, pero se ha leído bastantes artículos donde se explica cuál es el proceso de obtención de las nanopartículas y cómo funcionan siendo adicionadas en el mortero, dando diferentes resultados de acuerdo con el porcentaje de TiO_2 y en la fase en la cual se encuentre. (Scalarone, y otros, 2012)

El objetivo de este documento, es aplicar dióxido de titanio en el mortero convencional para así evaluar su comportamiento, con un determinado diseño de mezclas, este será utilizado adicionándolo a la mezcla como aditivo. (Toro y otros, 2016)

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

¿Cuál es el efecto en las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la Provincia y Región de Arequipa, Julio - Diciembre 2020?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo interviene y cuál es el porcentaje de adición de dióxido de titanio al mortero en sus propiedades físico - mecánicas y químicas?
- ¿Cuál es la variación del costo entre el mortero convencional y el mortero con adición de dióxido de titanio?

1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1 Objetivo General

Determinar el efecto en las propiedades físico - mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la Provincia y Región de Arequipa, Julio - Diciembre 2020.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje de adición óptimo de dióxido de titanio al mortero según sus propiedades físico-mecánicas y químicas.
- Determinar el costo beneficio entre el mortero con adición de dióxido de titanio y el mortero convencional.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Durante los últimos años, las emisiones de CO₂ han ido variando anualmente, tomando como año base el año 1990, tenemos que se producían 289,4 millones de toneladas de CO₂ equivalentes, en el año 2005 ascendieron a 442 millones de toneladas y en 2019 fueron de 314,9 millones de toneladas según los datos preliminares a marzo de 2020, según estos datos, podemos interpretar que el planeta se encuentra muy contaminado y esto se debe a las grandes fábricas, medios de transporte y todos aquellos emisores de NO_x, SO_x y CO₂, ya que, algunas no tienen las debidas normas de calidad que deberían llevar consigo para poder realizar sus operaciones primarias, por ende, el tema de investigación de este estudio estará orientado en parte a un ámbito técnico ya que con este se pretende mejorar el funcionamiento y operación en la industrialización. (Gallardo y otros, 2012) (Paz, 2008),

Por otra parte, en un ámbito ambiental y social, el presente trabajo se basa en el uso del aditivo fotocatalítico, usando la norma ASTM C494/S, para mejorar la calidad de vida de los seres vivos y además ayudar a mejorar las propiedades del mortero; para ello se le adicionará dióxido de titanio, estudiando así la influencia que tiene este, analizando su resistencia y durabilidad con diversos ensayos. (Hassan y otros, 2010).

Finalmente, podremos comprobar mediante los ensayos a realizar, información acerca de sus propiedades físico – mecánicas y químicas que obtendrá el mortero con la nueva adición de dióxido de titanio. (Ohama y otros, 2011)

1.5 HIPÓTESIS

La elaboración de mortero adicionado con dióxido de titanio permite incrementar la durabilidad y reducir costos de mantenimiento para realizar edificaciones sostenibles en el tiempo, por 60 años más.

1.6 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

En la presente tesis, se trata los siguientes temas: Contaminación atmosférica, efectos de la contaminación, métodos de eliminación de COVs, fotocátalisis, propiedades, aplicaciones y efecto del dióxido de titanio, materiales constituyentes, tipos y propiedades del mortero; además de los antecedentes de la mezcla del mortero con dióxido de titanio.

1.7 METODOLOGÍA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Se trata de una investigación de método cuantitativo; ya que el estudio se realizará de un tema general a un tema en específico. El tipo de la investigación es experimental, debido a que el presente trabajo se hará manipulando materiales constructivos (arena fina, cemento, agua, aditivos), obteniendo como resultado cubos de mortero con modificaciones en sus propiedades físicas y mecánicas. (Hernández y otros, 1991)

1.8 VARIABLES

1.8.1 Variables Dependientes

Efecto de las propiedades físico – mecánicas y químicas

1.8.2 Variables Independientes

Dosificación de Dióxido de Titanio

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Los antecedentes citados a continuación nos reflejan problemas que se relacionan con el presente trabajo de investigación, por lo cual, esta información nos ofrece un punto base para poder aclarar el problema básico de investigación. Entre estos tenemos los siguientes:

2.1.1. Antecedentes Nacionales

- Un primer trabajo corresponde a (Vásquez, 2016) quien realizó el trabajo de investigación “Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en la propiedad autolimpiable del concreto, (resistencia característica a la compresión) $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”, la cual tiene por objetivo principal determinar la influencia del fotocatalizador Dióxido de Titanio en la propiedad autolimpiable del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y su resistencia a la compresión. A través del método hipotético deductivo se obtuvo que la incorporación de dióxido de titanio sobre los tratamientos de concreto en estudio, disminuyó su resistencia a la compresión conforme se aumentó los porcentajes de TiO_2 , pero no hubo descensos de resistencia a la compresión considerable. Asimismo, recomienda realizar un estudio sobre la prueba descontaminante; dicha prueba busca demostrar que los materiales cementantes con dióxido de titanio también limpian el medio ambiente; ayudando así al cuidado del planeta tan venido a menos en estos tiempos.
- Un segundo trabajo correspondiente a (Medina, 2017), quien realizó la investigación titulada “Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento - arena en proporción de 1:4 – Cajamarca”. Tiene por objetivo principal determinar la influencia del fotocatalizador Dióxido de Titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento – arena 1:4 de la provincia y región de Cajamarca y en la variación de los costos de su elaboración. A través del método hipotético deductivo se obtuvo que la incorporación de 5%, 10% y 15% de dióxido de titanio disminuyó el porcentaje de absorción en 2.40%, 5.33% y 5.56% respectivamente, en relación con el tratamiento sin

dióxido de titanio. Asimismo, recomienda realizar un estudio de morteros con dióxido de titanio y con aditivos superplastificantes como Viscocrete 1110 PE, a fin de mejorar las propiedades físicas de resistencia a la compresión, fluidez y absorción; en la actualidad, ya no se utiliza este plastificante ya que genera retardo en dosis altas mayor 0.7%.

- Un tercer trabajo correspondiente a (Deza, 2017), quien realizó el trabajo de investigación “Estudio de catalizadores basados en nanopartículas de TiO_2 para la degradación fotocatalítica del colorante cibacrón navy H-2G presente en efluentes textiles”, la cual tiene por objetivo principal estudiar la degradación fotocatalítica del colorante textil Cibacrón Navy H-2G sobre nanopartículas industriales de TiO_2 soportadas en vidrio, tereftalato de polietileno (PET) y policloruro de vinilo (PVC). A través del método experimental, se obtuvo que se soportaron las nanopartículas de TiO_2 en vidrio, obteniéndose 87,2 % de impregnación, en tereftalato de polietileno (PET) obteniéndose 67,1% de impregnación y en policloruro de vinilo (PVC) se obtuvo un mejor resultado como soporte, pues las nanopartículas de TiO_2 se impregnaron con mayor facilidad sobre su superficie en un 93,5%.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

- Un cuarto trabajo correspondiente a (Benavides, 2016), quien realizó el trabajo de investigación titulado “Efecto del dióxido de titanio (TiO_2) en la resistencia a la compresión del concreto autolimpiante en Colombia”, la cual tiene por objetivo principal determinar el efecto del dióxido de titanio (TiO_2) en la resistencia a la compresión del concreto auto limpiante con 2 marcas de cemento en Colombia. A través del método experimental se obtuvo que la resistencia a la compresión del concreto autolimpiante, es menor a la del concreto convencional a diferentes edades (28, 56 y 90 días), ya que la presencia del dióxido de titanio (TiO_2), junto con las reacciones químicas que conlleva el material catalizador y el tipo de curado, afectan en las propiedades tanto físicas como químicas del concreto.
- Un quinto trabajo correspondiente a (Cohen, 2015), quien realizó el trabajo de investigación titulado “Evaluación De Propiedades Foto catalíticas De Cemento Adicionado Con Nanopartículas De TiO_2 -XNX (Oxinitruro De Titanio)”, el cual tiene por objetivo principal, evaluar el efecto fotocatalítico de pastas de cemento Portland adicionadas con nanopartículas de Oxinitruro de Titanio (TiO_2 -XNX), con el fin de obtener un material cementante de mejor desempeño con respecto a sus propiedades descontaminantes, autolimpiantes y bactericidas. A través del método experimental se

pudo constatar que las probetas adicionadas con nanopartículas de $\text{TiO}_2\text{-XN}_x$ y TiO_2 presentaron actividad fotocatalítica al degradar el pigmento orgánico Rodamina B a edades tempranas de curado y bajo irradiación con luz ultravioleta, siendo en este caso las probetas con adición de 3% de TiO_2 las que obtuvieron mejores resultados. Así mismo, se recomienda para futuras investigaciones, evaluar la actividad fotocatalítica de este tipo de materiales mediante la degradación de otros contaminantes como el NO , así como determinar la eficiencia de estos a porcentajes de adición mayores al 3%. De igual forma se sugiere evaluar la actividad fotocatalítica de morteros adicionados con $\text{TiO}_2\text{-XN}_x$, y la formulación de modelos cinéticos que predigan el comportamiento de la remoción de contaminantes en la matriz cementante.

- Un sexto trabajo correspondiente a (Jiménez y otros, 2016), quienes realizaron el trabajo de investigación “Efecto del reemplazo de cemento Portland en 0.5%, 7.5%, 8.5%, y 10% de TiO_2 (en función del peso del cemento) en las propiedades mecánicas del mortero”, tiene por objetivo principal, evaluar el efecto en las propiedades del mortero con reemplazo del cemento Portland por TiO_2 . A través del método experimental, se pudo constatar que en el ensayo realizado de compresión a los 28 días, el mortero con 5% de TiO_2 reemplazado en el cemento obtuvo un incremento en la resistencia a la compresión de hasta 6%, por otra parte, los morteros con 7.5% y 8.5% mostraron una disminución de su resistencia, esto debido al aumento de la porosidad evidenciado en el ensayo de densidad y absorción. Así mismo, se recomienda reemplazar el TiO_2 en solo el 5% del cemento, ya que entre mayor porcentaje el mortero pierde plasticidad.

2.1.3. Antecedentes Regionales

- Un séptimo trabajo correspondiente a (Solis, 2019) en su trabajo de investigación titulado “Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas del concreto con aditivos de Nanopartículas de Sílice y Hierro ZVI a partir de precursores”, tiene por objetivo principal mejorar las propiedades mecánicas del concreto con aditivos de nanopartículas de sílice y hierro ZVI a partir de precursores. A través del método experimental se pudo constatar que existía una mejora de 43% utilizando 0.40% de nanosílice y 0.60% de nanohierro, y utilizando 0.80% de nanosílice se obtuvo 45% de mejora en la resistencia a la compresión, con respecto al concreto patrón. Así mismo, se recomienda el empleo de los aditivos superplastificantes y retardantes; ya que, con la adición de nanopartículas se disminuye la trabajabilidad y, además, se incrementa la liberación de calor que hace que haya una mayor aparición de microfisuras, que perjudicaría nuestra resistencia en el concreto.

2.2. BASES TEÓRICAS

Actualmente, se observa un grave problema de contaminación atmosférica en las ciudades y esto hace que aparezcan diversas enfermedades respiratorias y alergias. La aplicación de materiales fotocatalíticos, los cuales tienen la capacidad de descomponerlos o transformarlos en compuestos no agresivos, podrían resolver la problemática de la calidad del aire (Ugarteburu, 2013).

Este proyecto se enfoca en la contaminación del aire y el uso de TiO_2 para lidiar con estas enfermedades que afectan la calidad de vida del ser humano y también de la flora y fauna de nuestro planeta.

En las últimas décadas, la mejora de la tecnología ha permitido el diseño de nuevos materiales utilizándolos para así poder modificar las propiedades de otros, este es el caso de los aditivos, un nuevo campo de la ciencia que está siendo utilizado en la industria de la construcción, generando así, nuevas propiedades en los materiales de construcción como el acero, concreto, mortero, etc., usualmente estas se utilizan para mejorar su resistencia y durabilidad.

Para el estudio del concreto, la aplicación del aditivo fotocatalítico, usando la norma ASTM C494/S, será ultrafino, esto ayudará a reducir el contenido de cemento reemplazándolo parcialmente para mejorar su unión, este también ayudará a reducir los microporos actuando como relleno y producir un concreto denso. (Norhasri y otros, 2017).

2.2.1. Contaminación Atmosférica

La definición de contaminación atmosférica es que la presencia en el aire todas las sustancias o energía en cualquier estado y forma física, al absorberse o interactuar en la atmósfera, se alteran o cambian su composición y condiciones naturales (Instituto Nacional de Ecología, 2010). De acuerdo con las leyes de la física, el sistema puede mantenerse en equilibrio, si la contaminación puede ser absorbida, transformada o eliminada. Sin embargo, en muchos casos, la gran cantidad de sustancias liberadas a la atmósfera ha superado la capacidad de equilibrio del sistema, lo que ha provocado cambios en el entorno natural (Conko y otros, 2004)

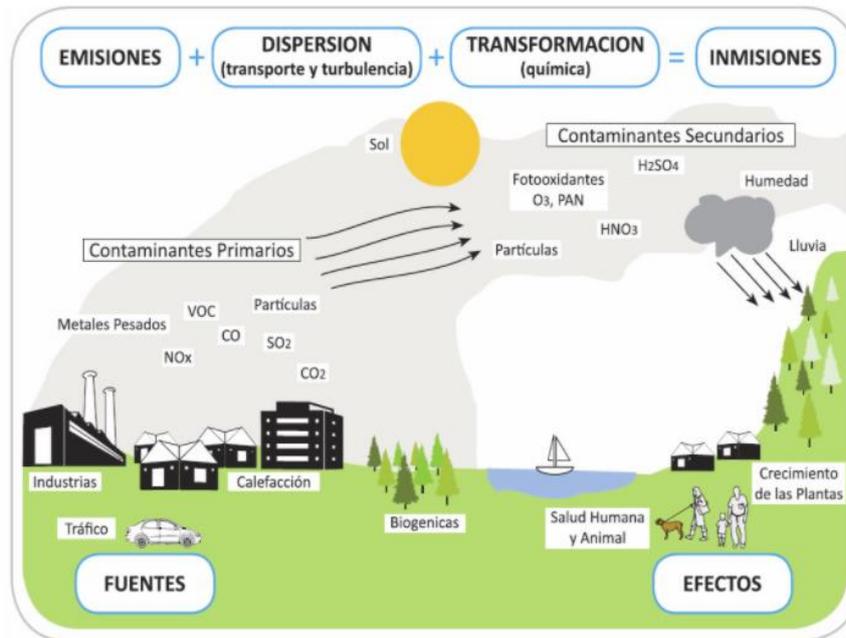


Figura 1.Contaminación Atmosférica.

Fuente: (MINAM, 2015)

Según esta definición, la contaminación atmosférica puede ser física (contaminación acústica, radiación electromagnética o radiación) o química. En cuanto a la contaminación química, se puede dividir en dos categorías:

- Los contaminantes primarios son emitidos directamente a la atmósfera incluyen plomo (Pb), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC), material particulado (PM), etc. (Calvo y otros, 2009). Según (Calvo y otros, 2009) todos constituyen más del 90% de los contaminantes del aire.
- Los contaminantes secundarios, incluye aquellas sustancias que no se descargan directamente a la atmósfera, sino que se forman a través de la interacción con otras especies. Los más importantes son el ozono troposférico (O₃), el nitrato de peroxiacetilo (PAN), el sulfato (SO₄), el nitrato (NO₃), el ácido sulfúrico (H₂SO₄), etc.

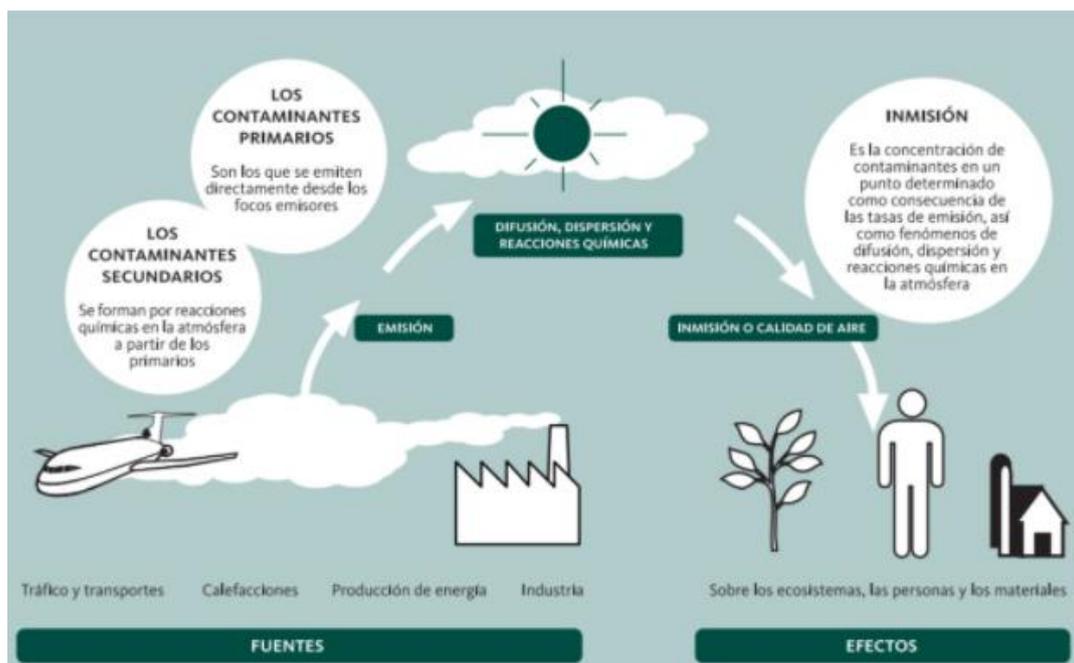


Figura 2. Fuentes, tipos de contaminantes, procesos y efectos generales en contaminación atmosférica.

Fuente: (DKV, 2019)

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs), presentes en la atmósfera provienen de dos fuentes de emisión diferentes, fuentes de emisión naturales y fuentes de emisión creadas por el hombre. Este último se puede dividir en fuentes fijas o móviles. La Tabla 1 resume las fuentes de los COV atmosféricos.

Tabla 1.

Origen de los COVs atmosféricos.

Fuentes naturales	Fuentes antropogénicas fijas	Fuentes antropogénicas móviles
	Procesos de combustión	
	Uso de disolventes	
Emisiones volcánicas	Procesos de desengrasado	Emisiones de inquemados
Emisiones de pantanos	Industria petroquímica	Evaporación (depósitos)
Emisiones vegetales	Industria de los plásticos	Emisiones de los vehículos
Emanaciones animales	Industria química de síntesis	Accidentes
Incendios	Industria farmacéutica	
	Industria alimentaria	
	Industria textil	
	Industria siderometalúrgica	
	Industria del frío	
	Tratamiento de aguas residuales	

Fuente: (Ouzzine, 2014)

2.2.1.1.Efectos de la contaminación atmosférica

Los principales contaminantes relacionados con la calidad del aire son el dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), las partículas en suspensión, los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el ozono (O₃). Tienen diversos efectos nocivos para nuestra salud y pueden afectar en mayor medida a los grupos más vulnerables, es decir, los niños, los ancianos y las personas con enfermedades respiratorias.

Sin embargo, debido a que el aire es un elemento que existe en toda la tierra, interactúa con el medio ecológico y el medio inanimado, por lo que los efectos nocivos de la contaminación atmosférica afectan no solo a los humanos, sino también a las plantas, animales y edificios.

A. Efectos de los contaminantes sobre el hombre y los animales

Las personas que viven en comunidades desarrolladas y, por lo tanto, contaminadas, suelen exponer solo un área limitada de su piel a la atmósfera; sin embargo, inhalan alrededor de 7.500 litros de aire todos los días al poner sus pulmones y sistema respiratorio en general en contacto con él, y es posible retener cualquier sustancia nociva que pueda estar contenida en el aire. (Strauss y otros, 1990).

En términos generales, los efectos sobre la salud notificados varían desde trastornos físicos menores hasta la muerte. La contaminación del aire afecta los sistemas cardiovascular y respiratorio. Aproximadamente el 3% de las muertes por enfermedades cardiovasculares en todo el mundo se atribuyen a la exposición a partículas. La Figura 3 detalla el impacto de diferentes contaminantes del aire en los seres humanos. (Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud, 2005).

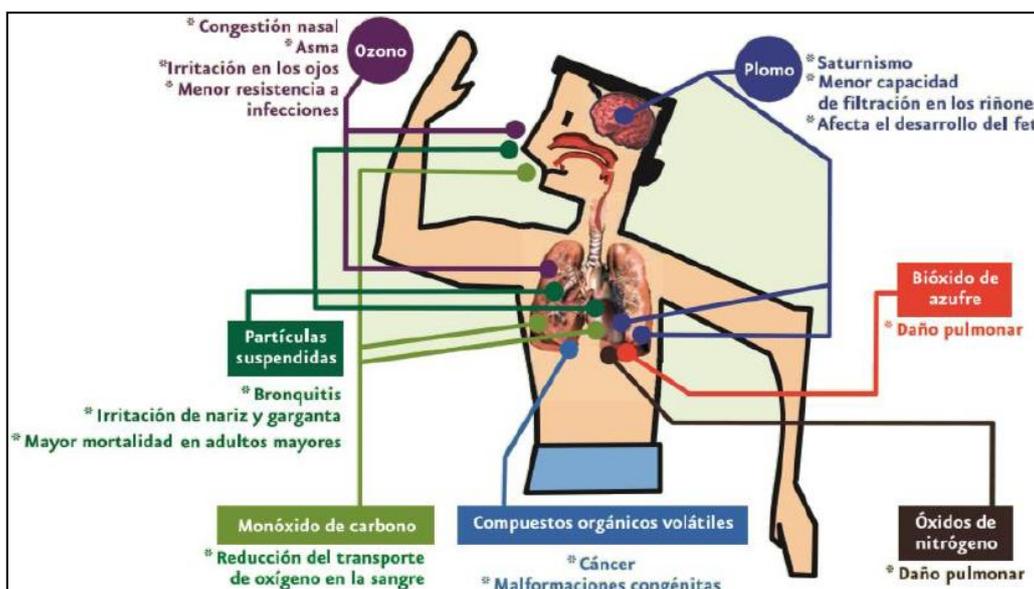


Figura 3. Efectos de los contaminantes del aire en la Salud Humana

Fuente: (INECC, 2007)

El aumento de la contaminación del aire y sus efectos nocivos sobre los seres humanos, han provocado que el problema se convierta en uno de las mayores preocupaciones de salud pública en muchas ciudades de América Latina y el Caribe, donde el material particulado y otros contaminantes superan los estándares nacionales de calidad del aire debido a la exposición que tienen las ciudades a los tipos y concentraciones de contaminantes comunes que se hallan en la región, están asociados con mayores riesgos de muerte y enfermedad. (Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud, 2005).

Cabe señalar que la contaminación del aire tiene los mismos efectos nocivos en los animales domésticos como salvajes. Sin embargo, uno de los daños más significativos estudiados por la comunidad científica es el edema pulmonar. (Boubel y otros, 1994).

Por otro lado, uno de los efectos más comunes de la contaminación atmosférica se debe a la absorción y dispersión de la luz por sustancias líquidas y sólidas transportadas por el aire, lo que reduce la visibilidad. Otras formas menos directas en que las personas están expuestas a los contaminantes del aire son: comer alimentos contaminados por sustancias tóxicas en el aire y comer donde crecen, tomar agua contaminada por sustancias del aire, ingerir suelo contaminado e interactuar con el suelo, polvo o agua contaminados (Semmartin, 2008).

En la Tabla 2 se presentan los estándares nacionales de calidad de aire en el Perú.

Tabla 2.*Estándares Nacionales de Calidad de Aire Perú. D.S. 03 – 2017*

Parámetros	Periodo	Valor Anterior [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Valor Vigente [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Criterios de Evaluación	Método de Análisis
Benceno (C_6H_6)	Anual	2	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO_2)	24 horas	20	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método Automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método Automático)
	Anual	100	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$)	24 horas	65	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial / filtración (Gravimetría)
	Anual	15	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	150	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial / filtración (Gravimetría)
	Anual	50	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg)	24 horas	2	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman (Métodos Automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	100000	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O_3)	8 horas	120	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año.	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM_{10}	Mensual	1.5	1.5	NE más de 4 veces al año	Método para PM_{10} (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0.5	0.5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	24 horas	150	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Fuente: (MINAM, 2017)

B. Efectos de los contaminantes sobre la vegetación

Como se mencionó anteriormente, la contaminación del aire no solo afecta a los seres humanos, sino que también afecta a la vegetación, porque puede afectar a las plantas en diversos grados, y los principales contaminantes del aire que afecta a la vegetación son el dióxido de azufre (SO_2), óxido de nitrógeno (NO_2), hidrocarburos (HC) y ozono (O_3); estos contaminantes han causado gran daño a la vegetación; el nivel más bajo es daño visible, efectos crónicos acumulativos, efectos genéticos, cambios graduales de la composición de las plantas. Sin embargo, incluso a este nivel, los contaminantes pueden almacenarse en las plantas, ingresar a la cadena alimentaria y afectar a los animales que comen estas plantas.

Las plantas obtienen contaminantes de diferentes formas, ya sea directamente, intercambiando gases con la atmósfera o absorbiendo agua del suelo. (Strauss y otros, 1990).

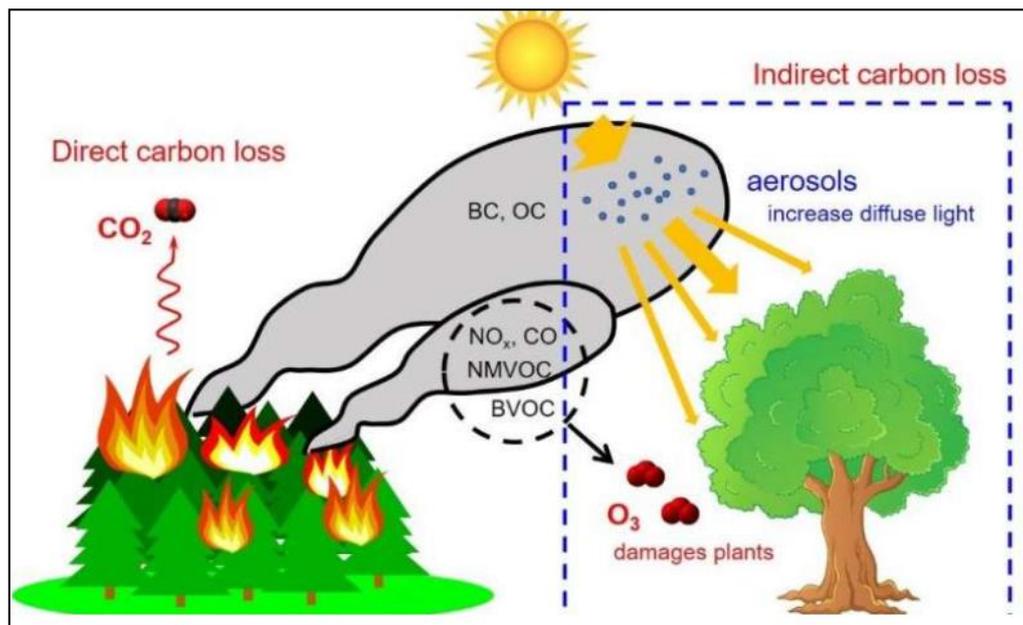


Figura 4. Pérdida de carbono indirecta causada por fuego O_3 y aerosoles.

Fuente: (Yue y otros, 2018)

C. Efectos de los contaminantes sobre la superficie en fachadas

El impacto de la contaminación del aire sobre los materiales utilizados en la construcción de monumentos históricos, edificios y carreteras tiene un impacto social importante, porque provocan daños irreparables y provocan parte de nuestras pérdidas históricas. También trae consigo enormes costos económicos al reducir el valor del patrimonio del edificio y generar altos costos de mantenimiento (limpieza, tratamiento de protección, etc.) en sus paredes exteriores, que deben realizarse para recuperar la infraestructura. La contaminación atmosférica es el motivo del deterioro de determinados monumentos o edificios. (Novais, 2007).

La suciedad de la fachada, se puede definir como la deposición y acumulación de partículas y sustancias contenidas en la atmósfera, tanto en la superficie exterior de la fachada como en los

poros interiores. El último caso es el más destructivo para el material de fachada, porque significa la última parte del proceso patológico del ensuciamiento. El ensuciamiento de la fachada está estrechamente relacionado con otras lesiones de origen químico, por ejemplo, las partículas de ensuciamiento adheridas a la fachada reaccionarán químicamente con ciertos componentes del material de la fachada y provocan una patología peligrosa.

El polvo se acumula habitualmente e inevitablemente en las paredes exteriores, porque cualquier edificio está rodeado por la atmósfera y por tanto es susceptible a los efectos de las partículas orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Pero, no es difícil de entender que, en las grandes ciudades con una contaminación del aire mucho mayor, la intensidad del fenómeno de la contaminación es mayor. (Broto, 2006).

Los principales contaminantes del aire que pueden afectar la durabilidad de los edificios incluyen dióxido de azufre, óxidos de carbono, dióxido de nitrógeno y óxido nítrico, ozono, partículas en suspensión, etc. Todos estos elementos pueden reaccionar entre sí, a causa de la presencia de humedad ambiental, radiación solar u otros elementos (como el ozono) o la presencia de otros catalizadores (como Fe, V, Mn, etc.), que favorecen y aceleran el progreso de la reacción, formando así los nuevos contaminantes (contaminantes secundarios). Estos contaminantes son más dañinos para los materiales porque aumentan la acidez y provocan lluvia ácida cuando reaccionan con el agua, promoviendo el proceso de degradación de la piedra a través de mecanismos de disolución e hidrólisis, formando la llamada costra negra en las fachadas de edificios y monumentos históricos. (Novais, 2007).

2.2.1.2. Métodos de eliminación de Compuestos Orgánicos Volátiles [COVs]

Como resultado de las normas legislativas, cada vez más estrictos debido a los efectos nocivos antes mencionados, es necesario seleccionar el método de tratamiento más adecuado para cada corriente de aire contaminado. En esta selección, los parámetros a considerar son el flujo, la naturaleza y concentración de contaminantes, los límites de emisión exigidos y la presencia de sólidos o no en la corriente gaseosa. (Zhuang, y otros, 1994).

Según (Zhuang, y otros, 1994), primero se debe considerar las modificaciones de los equipos y procesos para evitar emisiones de COV a la atmósfera. Sin embargo, en la mayoría de los casos, es imposible o imposible eliminar por completo estos compuestos, lo que requiere algún tipo de tratamiento adicional de los efluentes en el punto de emisión para alcanzar el nivel requerido. (Boehm, 2008).

Cuando esto sucede, existen dos técnicas para reducir las emisiones de COV: destructivas y no destructivas (O'Regan y otros, 1991). El primero requiere la conversión química de los COVs en compuestos inertes, o al menos en compuestos menos peligrosos. (Zhuang y otros, 1994), y el último

se caracteriza por retener o eliminar estos compuestos de la corriente de gas, pero sin transformarlos. En este último caso, la depuración se realiza mediante cambio de fase del compuesto contaminante. La Figura 5 enumera las diferentes técnicas que se utilizan comúnmente según el flujo de aire a tratar y la concentración de contaminantes.

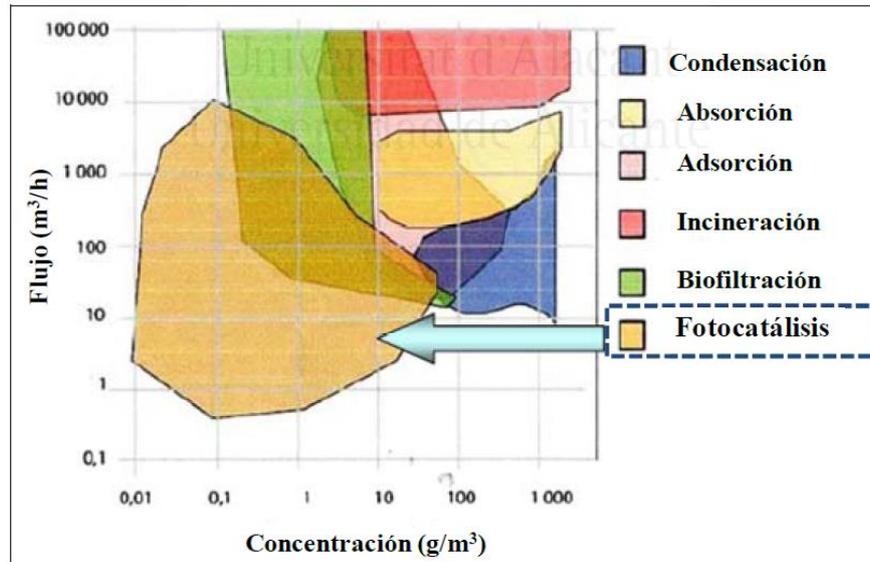


Figura 5. Tecnologías de tratamiento de los efluentes gaseosos en función del flujo y la concentración de las corrientes con contaminantes.

Fuente: (Ouzzine, 2014)

2.2.2. Fotocatálisis

Según (Hoffmann y otros, 1995) y (Fujishima y otros, 1999), la fotocatalisis de semiconductores se ha utilizado ampliamente en el tratamiento de la contaminación del agua y el aire. La fotocatalisis y otros procesos avanzados de oxidación son buenos ejemplos del uso de catalizadores para tratar y degradar contaminantes (Fujishima y otros, 2006). La fotocatalisis es un proceso catalítico promovido por energía que puede excitar semiconductores (catalizador) en la medida en que actúe como material conductor.

Las reacciones redox se producen en la superficie del catalizador para producir radicales libres altamente reactivos, que reaccionan con las sustancias circundantes, rompen algunos enlaces moleculares, los reducen u oxidan hasta que se vuelven menos complicados (De La Hoz, 2009). Otro autor hizo una definición más simplificada, tratándolo como un proceso químico que utiliza la parte UV-A de la luz solar para descomponer los contaminantes orgánicos e inorgánicos en el medio ambiente. (Hüsken y otros, 2009).

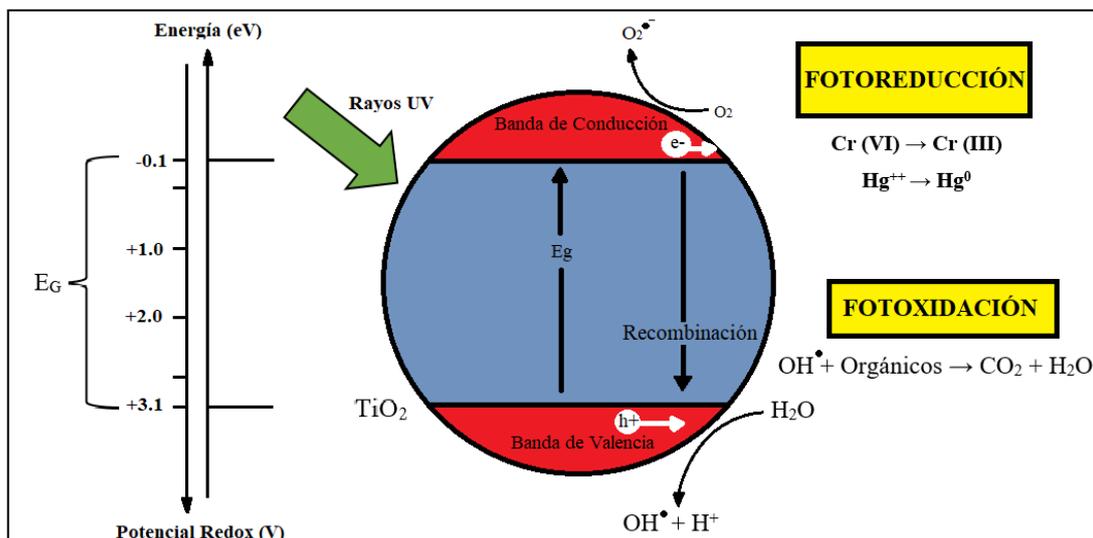


Figura 6. Proceso de detoxificación solar por vía fotocatalítica. Representación de una partícula del catalizador.

Fuente: (Blanco, 1997)

Muchos fotocatalizadores estudiados son óxidos metálicos (ej. TiO_2 y ZnO) y calcogenuros (ej. CdS , ZnS , CdSe , ZnSe y CdTe). Sus criterios de selección dependen en gran medida del potencial redox, tanto del potencial de su banda de conducción, que debe ser suficientemente positiva para oxidar grupos hidroxilo o contaminantes, como del potencial de su banda de valencia, que ha de ser lo negativo suficiente para reducir el oxígeno o las sustancias a reducir.

La Figura 7, muestra la energía de la banda prohibida de diferentes semiconductores, que se puede expresar en eV (electronvoltio) (escala izquierda en la Figura 7) o voltios en relación con el Electrodo de Hidrógeno Normal [ENH] (escala derecha en la Figura 7).

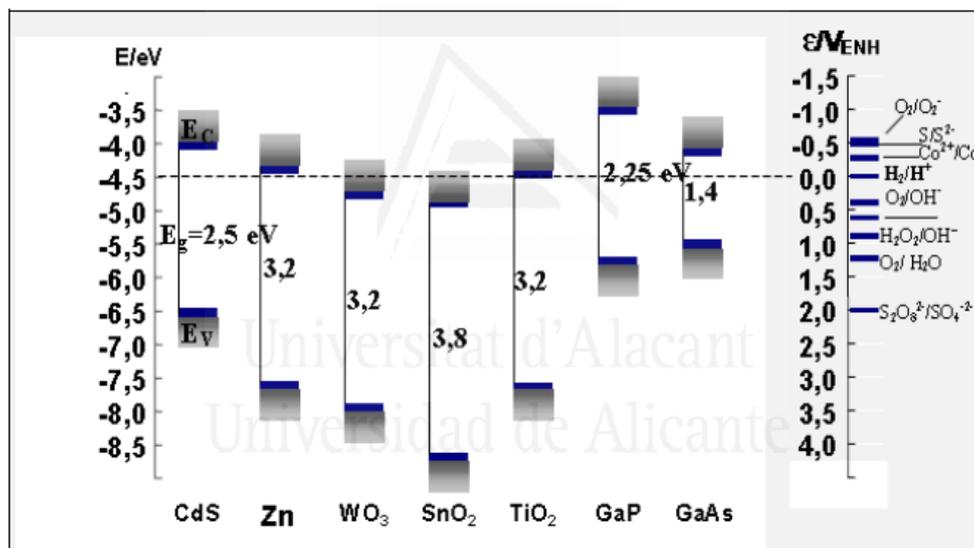


Figura 7. Energías de banda prohibida y posición de las bandas de conducción y de valencia de diferentes semiconductores, junto con algunos potenciales redox.

Fuente: (Ballari, 2010) (Ancora y otros, 2009).

Si bien en el caso del TiO_2 , el valor energético de la banda prohibida no es óptimo para el uso de la luz solar, su mayor resistencia a la corrosión inducida por la luz, su bajo costo y su inocuidad, hacen posible que este material sea el más adecuado para el proceso de oxidación fotocatalítica.

Cuando el TiO_2 se expone a luz que contiene rayos ultravioletas, puede producir espontáneamente propiedades de autolimpieza en la superficie del material que lo contiene (Maury y otros, 2010). Esto se debe a que la forma química del TiO_2 se compone de dos bandas de energía: uno lleno de electrones llamado "banda de valencia" y el otro sin electrones llamado "banda de conducción".

La diferencia entre las dos bandas crea una banda prohibida, y cuando un fotón con energía superior a la banda prohibida entra en contacto con el material fotocatalítico (en este caso el TiO_2), los electrones de la banda de valencia se mueven hacia la banda de conducción, dejando así un hueco electrónico. Una parte del par "foto excitado" hueco electrón (h^+), se difunde a la superficie del material fotocatalítico y se retiene allí para reaccionar químicamente con las moléculas de oxígeno y el agua existentes en el medio ambiente. (Maury y otros, 2010).

El Perú, es uno de los territorios de la tierra donde se puede aprovechar al máximo la fotocatálisis, porque se necesita luz ultravioleta, y en el Perú existe una gran cantidad de radiación solar que puede activar el fotocatalizador, por lo que, desde un punto de vista económico-ambiental, este es un proceso atractivo. A través de la fotocatálisis, la mayoría de los gases contaminantes como son el NO_x , SO_x , compuestos orgánicos volátiles (COVs), compuestos orgánicos clorados, CO, compuestos poliaromáticos, que en el aire se convierten en nitritos y nitratos inofensivos, que pueden ser descargados por la lluvia.

2.2.3. Dióxido de Titanio [TiO_2]

El titanio es el primer elemento del bloque "d", del elemento de transición y tiene cuatro electrones de valencia. El estado de oxidación más estable y común es el titanio (IV). La energía requerida para eliminar 4 electrones es muy grande, por lo que los iones Ti_4^+ no existen. Generalmente, los compuestos de Ti_{IV} son de naturaleza covalente. (Cotton y otros, 1973).

El titanio es abundante de forma natural, no en estado puro, sino en forma de óxidos, como el dióxido de titanio (TiO_2). El dióxido de titanio tiene tres variantes cristalinas: rutilo (tetragonal), anatasa (tetragonal) y brookita (cristal rómbico).

El rutilo es el más estable, porque cuando la anatasa y la brookita se calientan, estas se transforman en rutilo. La estructura del cristal de brookita es escasa y no muestra ninguna actividad fotocatalítica cuando se expone a la luz visible. Por lo tanto, las modificaciones de rutilo y anatasa se utilizan con mayor frecuencia en aplicaciones comerciales. (Maury y otros, 2010).

El Dióxido de Titanio, es un material económico en el mercado, químicamente estable, inofensivo para la salud y no absorbe la luz visible. Sin embargo, la estabilidad química del TiO₂ solo se puede mantener en la oscuridad, porque su actividad bajo radiación ultravioleta provoca algunas reacciones químicas. (Hashimoto y otros, 2005).

La Tabla 3, resume las propiedades físicas generales de las fases del dióxido de titanio.

Tabla 3.

Propiedades físicas del TiO₂.

	RUTILO	ANATASA	BROOKITA
Peso Molecular [g/mol]	79.89	79.89	79.89
Sistema Cristalino	Tetragonal	Tetragonal	Ortorrómico
Celda Unitaria			
a [Á]	45845	37842	9184
b [Á]			5447
c [Á]	29533	95146	5145
Volumen molar [m³/mol]	18693	20156	19377
Densidad [kg/m³]	42743	3895	4123

Fuente: (University of Colorado, 2010)

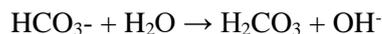
El titanio tiene una red cristalina hexagonal compacta y es similar a otros metales de transición (como el hierro y el níquel) porque es duro, resistente al fuego (punto de fusión = 1680 ± 10 ° C, punto de ebullición = 3260 ° C) y tiene buena conductividad térmica y eléctrica. Sin embargo, es muy liviano en comparación con otros metales que tienen propiedades mecánicas y térmicas similares y son extremadamente resistentes a cierta corrosión, por lo que se utiliza para aplicaciones especiales en turbinas, equipos de la industria química y equipos marinos. La resistencia a la corrosión es una de sus propiedades técnicas más importantes, porque el titanio no es corroído por ácidos inorgánicos o soluciones acuosas alcalinas calientes a temperatura ambiente.

2.2.3.1. Propiedades del Dióxido de Titanio [TiO₂]

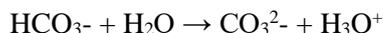
El dióxido de titanio [TiO₂] es uno de los minerales más blancos de la naturaleza debido a su poderosa capacidad de recubrimiento y la capacidad de absorber y reaccionar bajo la exposición a los rayos ultravioleta produciendo un efecto autolimpiante sobre el material cubierto. Otras características importantes son:

- a) Semiconductores fotosensibles que absorben la radiación electromagnética cerca de la región ultravioleta.
- b) Materiales anfóteros, es decir, que pueden reaccionar como ácidos o bases. (Muller, 1994).

Las sustancias anfóteras (anfipróticas) son iones de hidrógeno carbonato (o bicarbonato), que se puede utilizar como base:



O como ácido,



Para comprender mejor el comportamiento de los ácidos y las bases, según (Lowry, 1923), los ácidos son sustancias que pueden proporcionar protones (H^+) y las bases son sustancias que pueden aceptar protones (H^+). El agua también es anfótera y puede actuar como ácido o base. Ver Figura 8.

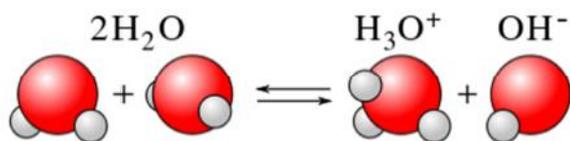
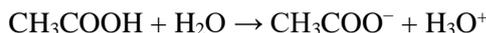
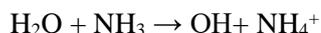


Figura 8. Moléculas de agua.
Fuente: (Housecroft y otros, 2005)

La Figura 8, indica que la molécula de H_2O actúa como base y obtiene el protón H^+ , y se convierte en H_3O^+ ; otra molécula H_2O actúa como un ácido y pierde el protón H^+ para convertirse en OH^- . Un ejemplo detallado es la reacción entre ácido acético, $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$, y el agua, H_2O , en esta situación el agua se comporta como base.



El agua también se puede utilizar como ácido frente a soluciones alcalinas. Un ejemplo de esta es la reacción del amoníaco:



Se puede utilizar en la producción de agentes blanqueadores, producción de pinturas y como aditivo en la mezcla de mortero para brindar propiedades autolimpiantes. Sobre el blanqueador y decolorantes más populares de la industria para eliminar químicamente a través de la oxidación, un tinte o pigmento de un material, podemos utilizar las siguientes sustancias: dióxido de titanio (TiO_2), dióxido de cloro (ClO_2), hipoclorito de sodio e hipoclorito de potasio. (Maury y otros, 2010).

2.2.3.2. Aplicaciones del Dióxido de Titanio [TiO_2]

Desde principios del siglo XX, el dióxido de titanio en su forma de rutilo se ha utilizado como pigmento en pinturas y cosméticos. Sin embargo, su alta capacidad para degradar compuestos orgánicos destruía los adhesivos orgánicos, lo que da como resultado un fenómeno de las pinturas conocido como efecto tiza. Actualmente, para evitar este efecto, los pigmentos de TiO_2 se recubren con diferentes óxidos, como alúmina, sílice y zirconio, lo que reduce la generación de radicales libres y óxidos. No fue hasta 1972 que el trabajo de investigación de Fujishima y Honda sobre la separación

fotocatalítica del agua usando electrodos de dióxido de titanio (tipo anatasa) hizo posible el uso de propiedades fotocatalíticas para otros fines. (Fujishima y otros, 1972).

Inicialmente, las propiedades antibacterianas del TiO_2 se utilizaron en sistemas de purificación de aire y agua. (Herrmann y otros, 2007) (Sunada y otros, 2003).

Más tarde, fueron desarrolladas baldosas cerámicas con recubrimientos de dióxido de titanio para producir propiedades antisépticas en hospitales, escuelas, cocinas y duchas (Benedix y otros, 2000). Actualmente, los metales como Cu y Ag se agregan al TiO_2 para mejorar sus propiedades antibacterianas (Blöß y otros, 2007).

En 1995, se descubrió accidentalmente un recubrimiento de TiO_2 que contenía una cierta proporción de sílice (SiO_2), esta desarrollaba un comportamiento hidrofílico cuando tenía contacto con el agua y en exposición a luz ultravioleta (Watanabe y otros, 1999) (Fujishima y otros, 2000)

En la actualidad el comportamiento hidrofílico del TiO_2 , se ha utilizado ampliamente en vidrios y espejos para que así mantengan las propiedades ópticas de estos materiales bajo ciertas condiciones. Las principales aplicaciones en la industria de la construcción son:

En estructuras horizontales

- Pavimentos de hormigón.
- Pavimentos de adoquines prefabricados.
- Revestimientos de pavimentos y calles.
- Losas de cemento.
- Pinturas para las señales de tráfico.
- Tejas de hormigón.

En estructuras verticales

- Morteros de revestimiento.
- Pinturas de cemento.
- Paneles prefabricados.
- Barreras antirruído y de seguridad para calles y carreteras.

En túneles

- Pinturas de cemento.
- Paneles de hormigón.
- Pavimentos de hormigón.

Referencias construidas como:

- Iglesia Dives in Misericordia (Roma) obra del arquitecto americano Richard Meier y primera obra construida con hormigón fotocatalítico. Terminada en 2003.
- Ciudad de la Música y de las Bellas Artes de Chambéry (Francia).
- Sede de Air France, Aeropuerto Roissy Charles de Gaulle (Francia).

- Sede de la Policía, Burdeos (Francia).
- Commodore, Ostende (Bélgica).
- Sede de Ciments du Maroc, Casablanca (Marruecos).
- Túnel de Vía Porpora en Milán (Italia).

2.2.3.3. Efectos del Dióxido de Titanio [TiO₂]

El TiO₂ posee diferentes efectos, mencionados a continuación:

- **Efecto autolimpiante**

Las superficies expuestas a la atmósfera, se encuentran en constante contacto a compuestos orgánicos de colores (gases emanados de los tubos de escape de los automóviles, contaminantes producidos de actividades industriales y domésticas, moho, etc.) responsables de su pintado. La fotocatalisis del TiO₂, funciona eliminando moléculas orgánicas, pero también reduce indirectamente el impacto negativo de la suciedad que se representa por el polvo (partículas sólidas inorgánicas).

La limpieza de estas partículas se basa en la degradación de la capa orgánica donde estos materiales se utilizan comúnmente como adhesivos, y luego en las partículas residuales que se eliminan por completo con agua provenientes de las precipitaciones. En otras palabras, los elementos que contaminan una fachada son orgánicos e inorgánicos, actuando los primeros como "pegamento" para fijar los segundos. La fotocatalisis elimina los componentes orgánicos descomponiéndolos en agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂). Los componentes inorgánicos se disuelven (se destruyen parcialmente) y se eliminan mediante la lluvia o el agua de riego.



Figura 9. La Iglesia de la Misericordia en Roma

Fuente: (Arquitecturayempresa, 2014)

- **Efecto Descontaminante**

En ausencia de pruebas estandarizadas, las pruebas de laboratorio descritas en la literatura, tienen como objetivo evaluar las propiedades de descontaminación de edificios hechos de materiales a base de cemento, que han sido probados con equipos especiales y métodos de prueba desarrollados para este propósito. Por ejemplo, se utiliza una cámara de volumen conocido para comprobar la eficacia de los óxidos de nitrógeno (NO_x), en este se inyecta NO₂ que se diluye con el aire contenido para alcanzar una concentración de contaminante predeterminado. En el interior se encuentra un

analizador de NO₂ (analizador de quimioluminiscencia), una lámpara UV (fuente de luz) y una muestra hecha de cemento fotocatalítico con TiO₂.

La prueba se realiza con una intensidad de luz específica y se mide la concentración de contaminantes en la cámara después de que la muestra se someta a una reacción fotocatalítica. En determinadas condiciones de laboratorio, se ha registrado que el NO₂ se puede reducir hasta en un 91%. Un ejemplo importante de la eficacia de la reducción de NO_x. (Borgarello, 2012).

En definitiva, la forma de actuar es atrapar los contaminantes gaseosos en la superficie del hormigón y morteros con cemento con TiO₂. En estos hormigones, la reacción de oxidación-reducción iniciada por fotocátalisis, convierte a los óxidos de nitrógeno en sales solubles de nitrato de calcio, que se eliminan por la lluvia o agua de riego y los compuestos orgánicos volátiles (COV) se convierten en agua y dióxido de carbono. Según la declaración de un cementero, los contaminantes que se pueden reducir mediante fotocátalisis son los que se muestran en la Figura 10.

Sustancias que pueden reducirse por la fotocátalisis

Compuestos inorgánicos: NO_x, SO_x, CO, NH₃, CH₃S y H₂S.

Compuestos orgánicos clorados: CH₂Cl₂; CHCl₃; CCl₄; 1,1-C₂H₄Cl₂; 1,2-C₂H₄Cl₂; 1,1,1-C₂H₃Cl₃; 1,1,2-C₂H₃Cl₃; 1,1,1,2-C₂H₂Cl₄; 1,1,2,2-C₂H₂Cl₄; 1,2-C₂H₂Cl₂; C₂HCl₃; C₂Cl₄; dioxinas; clorobenceno y clorofenol.

Compuestos orgánicos: CH₃OH; C₂H₅OH; CH₃COOH; CH₄; C₂H₆; C₃H₈; C₂H₄; C₃H₆; C₆H₆; fenol; tolueno; etilbenceno; o-xileno; m-xileno y fenantreno.

Pesticidas: triadimefon; pirimicarb; asulam; diazinon; MPMC y atrazina.

Otros compuestos: bacterias; virus; células cancerígenas y PM.

Figura 10. Sustancias que pueden reducirse por fotocátalisis.

Fuente: (Borgarello, 2012)

• **Efecto Antibacteriano**

En cuanto al crecimiento de microorganismos sobre materiales a base de cemento, además de las condiciones ambientales (alta humedad y disponibilidad de luz solar), el establecimiento, anclaje y desarrollo de diferentes microorganismos como hongos, cianobacterias y algas son un fenómeno común, debido a la alta rugosidad, alta porosidad y rica composición mineral de los materiales a base de cemento. En el caso de las algas, pueden causar contaminación superficial, cambios químicos y reducir la durabilidad de los materiales a base de cemento (Kurth, 2007).

El dióxido de titanio ha demostrado la capacidad de descomponer compuestos orgánicos fuera de las membranas celulares de ciertos microorganismos, lo que lleva a la muerte celular. En función de esto, se ha estudiado el TiO₂ para eliminar la bacteria E. coli en el tratamiento de agua (Sunada y otros, 2003). Además, el uso de dióxido de titanio (DegussaP-25®) puede degradar completamente la cladophora. Los experimentos in vitro muestran cómo las muestras de algas se degradan física y biológicamente cuando se someten a la fotocátalisis producida por TiO₂.

2.2.4. Mortero

En Egipto utilizaban yeso quemado y arena para obtener el mortero; en Grecia y Roma, estos eran hechos de diferentes materiales, como cal quemada, toba volcánica y arena. A principios del siglo XX, el cemento Portland comenzó a usarse como material cementante del mortero para hacerlo más resistente.

El mortero es una mezcla homogénea de cemento, árido fino, agua y según los requerimientos se adiciona un aditivo. Para mejorar el desempeño del mortero, las tareas de manipulación, colocación y curado deben realizarse con cuidado, pues afectarán en el desempeño del mortero y la proporción de sus componentes. (Niño, 2010).

El mortero suele utilizarse cuando se requiere una alta resistencia. La proporción del cemento: agregado fino cambia la trabajabilidad de la mezcla, comparada con el mortero con cal, la plasticidad y trabajabilidad de la mezcla son bajas. El mortero de cemento Portland fragua rápidamente, por lo que debe fabricarse de forma continua en la obra, optimizando el tiempo entre el mezclado y la colocación. No se recomienda el uso de morteros con alto contenido de cemento en edificios de mampostería porque son demasiado resistentes con una baja retención de agua, siendo así propensos a agrietarse.

2.2.4.1. Materiales Constituyentes del Mortero

A. Conglomerantes

Los conglomerantes son un material que pueden combinar fragmentos de una o más sustancias y agregar cohesión por efecto de la transformación química en su masa, y así produce nuevos compuestos. El conglomerante utilizado en la fabricación de morteros, es un producto artificial de naturaleza inorgánica y mineral, que se obtienen a partir de materias primas naturales o, en su caso, de subproductos industriales. Existen dos tipos:

a. Cales [Ca (OH)₂]

La cal utilizada en el mortero puede ser hidráulica o aérea. Sus especificaciones están consideradas en la norma UNE-EN 459-1.

- **Cal aérea:** Este tipo de cal se endurece únicamente con el aire. Esta cal, amasada con agua y expuesta al aire, se fragua primero mediante la cristalización del hidróxido de calcio, y luego se endurece cuando los cristales se carbonatan bajo la acción del CO₂ atmosférico. El proceso es lento y el producto resultante no es muy resistente a los efectos del agua.
- **Cal hidráulica:** La cal hidráulica mezclada con agua forma una pasta que fragua y endurece debido a la reacción de hidrólisis e hidratación de sus componentes. Este proceso es más rápido que el uso de cal viva y puede producir productos hidratados,

mecánicamente resistentes y estables en el aire y bajo el agua. En general, se usa para optimizar la plasticidad del mortero y aclarar su color.

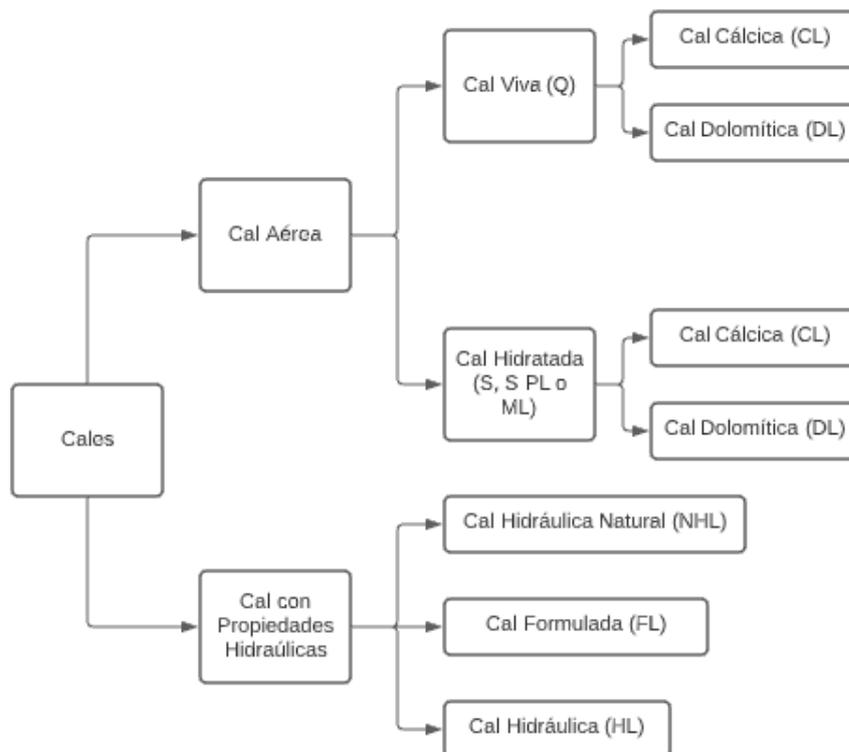


Figura 11. Clasificación general de las cales utilizadas en construcción
Fuente: (UNE-EN 459-1, 2016)

b. Cemento (ASTM C150)

Los aglutinantes hidráulicos son los más utilizados en la construcción porque están formados básicamente a partir de una mezcla de piedra caliza, arcilla y yeso que son materiales muy abundantes en la naturaleza. En comparación con otros materiales, su precio es relativamente bajo y su rendimiento es muy adecuado para las especificaciones que se deben cumplir. En el mortero mixto, también se utiliza una mezcla con cal. Las características del cemento están especificadas por la instrucción de Recepción de Cementos RC-08. Se distinguen cementos normales (CEM), blancos (BL), resistentes a los sulfatos (SR) y/o de agua de mar (MR). La selección y clasificación del cemento, se basa en el propósito del mortero, aunque el mortero industrial tiene el mejor desempeño y confiabilidad en comparación con el elaborado in situ.

Las características y proporciones de algunos cementos especiales para mampostería están definidas en la norma UNE-EN 413-1. En resumen, conviene explicar con más profundidad las principales cualidades del cemento Portland, que además tiene las siguientes características:

- Cuando el aglutinante hidráulico se mezcla con una cantidad adecuada de agua, para obtener una consistencia normal, se formará inmediatamente una gran cantidad de características plásticas, que son moldeables, pero su viscosidad y temperatura cambiará

con el tiempo siendo más altos. En unos 15 minutos, se puede obtener más fluidez mediante amasado mecánico. Por tanto, tiene características "tixotrópicas".

- Después de un período de aproximadamente de 15 a 120 minutos (dependiendo del tipo de componentes utilizados), la masa tiende a endurecerse, dando como resultado el "principio de fraguado". El tiempo transcurrido entre el contacto con el agua y el inicio del fraguado se denominan "tiempo de fraguado inicial". Al comenzar a fraguar, el mortero debe colocarse en la obra, todas las operaciones de remezclado, vertido, etc., son perjudiciales para el correcto desarrollo de las propiedades del mortero.
- Desde el principio de fraguado, debido a la formación de la fase cristalina insoluble, la resistencia mecánica del aglomerado aumenta y se deshidrata parcialmente hasta que el aglomerado no se deforma en absoluto. Este momento se llama "fin de fraguado". El tiempo desde el inicio del fraguado hasta el final del fraguado se denomina "período de fraguado". Dependiendo de la situación específica, el tiempo de fraguado puede durar de 45 minutos a 10 horas.
- Desde el final del fraguado, se produce un "período de endurecimiento" (a partir de 4 horas). Dado que la consolidación final de la masa se forma por la formación de una fase cristalina que ha llenado los vacíos, la resistencia mecánica de la masa aumenta exponencialmente y la evaporación del exceso de agua. A los 28 días en condiciones normales, la resistencia a la compresión obtenida determina el tipo de mortero. En la resistencia final, la ocurrencia de condiciones ambientales y de uso es crucial, especialmente el curado.

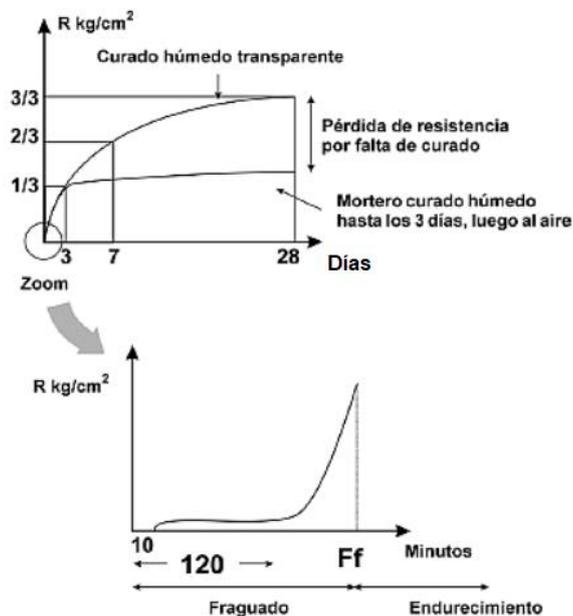


Figura 12. Procesos de fraguado y endurecimiento del mortero
Fuente: (UNE-EN 413-1, 1995)

B. Agua

La principal función del agua, es hidratar los principios activos del cemento y mejorar la trabajabilidad de la mezcla en estado fresco. En términos cuantitativos, el agua requerida para la hidratación del C_3S y C_2S es aproximadamente el 24% y 21% del peso de cada silicato, respectivamente (Fernández, 2004).

Asimismo, desde una perspectiva global, se puede estimar que la cantidad de agua requerida para una adecuada hidratación del cemento equivale al 23% del peso de su contenido de anhidro. Sin embargo, para obtener una trabajabilidad aceptable, siempre se utiliza una gran cantidad de agua.

En cuanto a su calidad, se puede utilizar cualquier tipo, siempre que cumpla con los requisitos mínimos especificados en el "Código de Hormigón Estructural" EHE-08, que en el artículo 27 determina que el agua en general no debe contener ningún compuesto en cantidad suficiente que pueda ser dañina o puede afectar el rendimiento del hormigón al acero frente a la corrosión. Para el hormigón blanco, se debe tener mucho cuidado para evitar que posibles impurezas en el agua decoloren la mezcla.

C. Áridos

El agregado se puede definir como un material granular inerte cuyo tamaño está entre 0 y 40 mm y tiene propiedades inorgánicas, lo que ayuda a mejorar la estabilidad volumétrica, la resistencia y la economía del mortero y el hormigón. Pueden ser materiales granulares naturales o rodados, o pueden ser triturados, artificiales o reciclados, materiales iguales o en superior grado, que proporcionen una alta resistencia y durabilidad requerida para el mortero. Debe seleccionarse de acuerdo con sus propiedades, resistencia, forma, absorción de agua, tamaño de grano, durabilidad, etc. (Fernández, 2004).

Aunque no intervienen en el fraguado y endurecimiento del mortero u hormigón, desempeñan un papel técnico y económico muy importante en las características del producto final. Aproximadamente el 80% del volumen de hormigón está ocupado por áridos y el resto es pasta de cemento, llenando los espacios entre ellos, formando una capa que envuelve las partículas. (Fernández, 2004).

Aunque es un material barato, su tarea no es solo reducir el costo final del producto, sino también tener un impacto positivo en la resistencia mecánica, retracción, fluencia, desgaste e incluso durabilidad del hormigón. (Fernández, 2004).

La porosidad y absorbencia del agregado son características que afectan significativamente la adherencia con la pasta de cemento y su durabilidad. La adherencia depende en gran medida de la forma del árido y de su estado superficial, requiriendo una mínima rugosidad y una buena limpieza de su superficie (Monteagudo, 2014).

En cuanto al tamaño de partícula de arena necesario para el mortero, se seguirá la norma europea UNE-EN 196-1 (método de ensayo de cemento).

El agregado de mortero y hormigón blanco también debe ser blanco, generalmente de mármol triturado o piedra caliza caolinita.

a. Agregado fino

El artículo 28 de la EHE-08 define la arena o árido fino como la parte del árido que pasa por un tamiz de 4.75 mm (tamiz N° 4 serie ASTM). Cabe señalar que la importancia de las propiedades de los agregados. La superficie de la arena rodada es propicia para la trabajabilidad del hormigón, en cambio, las arenas machadas poseen formas que puede aumentar significativamente la fricción interna de la mezcla, por lo que necesitan más agua o aditivos superplastificantes para obtener los mismos resultados que usando las arenas rodadas de río.

D. Aditivos (EHE-08, 2008)

De acuerdo, a las normas EHE-08 y la UNE. EN 934-2, se define a los aditivos como aquel producto añadido en el amasado del hormigón en una proporción no mayor del 5% en masa, con relación al contenido de cemento en el hormigón, con la finalidad de mejorar las propiedades de la mezcla en estado fresco y/o fraguado.

En la actualidad, se han agregado una gran cantidad de normas como es la ASTM C494/C494M-11 donde se encuentra la clasificación de los mismos. Los tipos de aditivos son:

- **Tipo A: Reductores de agua (Plastificante):** Estos tienen como objetivo de reducir el contenido de agua para una trabajabilidad adecuada sin producir segregación.
- **Tipo B: Retardadores de fraguado:** Son aquellos que retrasan el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento, que se encuentra en el hormigón, mortero o pasta.
- **Tipo C: Acelerantes de fraguado:** Su función principal es determinar el tiempo de fraguado del cemento (principio y final), que se encuentra en el hormigón, mortero o pasta.
- **Tipo D: Plastificante retardante:** Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla con determinada consistencia y retardar su fraguado.
- **Tipo E: Plastificante acelerante:** Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla con determinada consistencia y acelerar tanto el fraguado como la resistencia a edad temprana.
- **Tipo F: Superplastificante:** Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto.
- **Tipo G: Superplastificante retardante:** Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto y además retardar su fraguado.

- **Tipo S: Aditivos con características Especiales:** Los aditivos químicos están siendo permanentemente desarrollados y actualizados para responder a las necesidades especiales de la construcción.

Entre otros, tales como: Incluidores de aire, generadores de gas, generadores de espuma, desaireadores o antiespumantes, aceleradores de endurecimiento, repulsores de agua, generadores de expansión, aditivos de bombeo, aditivos para hormigón proyectado y mortero, aditivos para inyección, colorantes, inhibidores de corrosión y modificadores de la reacción álcali-áridos.

2.2.4.2. Tipos de Mortero para Mampostería

Según la norma ASTM C 270, los morteros se clasifican según sus propiedades o proporciones. Todas las especificaciones deben estar formuladas por una sola categoría, pero no por ambas (son exclusivas).

Las especificaciones por propiedades mecánicas, físicas y químicas (resistencia a la compresión, retención de agua y contenido de aire) son significativas para fines de diseño según las pruebas de laboratorio, pero no se aplican al mortero mezclado en la obra. Se asume que las proporciones determinadas en el laboratorio son la proporción que se utilizará durante la mezcla en la obra, esperándose que el producto tenga un rendimiento satisfactorio.

En la Tabla 4 se muestra esta categoría, que involucra al mortero de cemento y mortero de cal. La especificación por proporciones se basa en el conocimiento previo del peso unitario de los materiales constituyentes del mortero; la Tabla 5 enumera la clasificación del mortero de cemento y cal.

Tabla 4.

Especificación por propiedades para morteros de cemento y cal preparados en laboratorio.

Tipo de Mortero	Resistencia mínima a la compresión a los 28 días, Kg/cm² (MPa)	Retención mínima de agua, %	Contenido Máximo de aire, %	Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
M	175 (17.0)	75	12	No menor que 2.25 y no
S	125 (12.5)	75	12	mayor que 3.5 veces la
N	50 (5.0)	75	14	suma de los volúmenes
O	25 (2.5)	75	14	separados de materiales cementantes

Fuente: (Salamanca, 2001)

Tabla 5.*Especificación por proporciones, para morteros de cemento y cal.*

Tipo de Mortero	Proporciones por volumen (Materiales cementantes)		Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
	Cemento Portland o Portland Adicionado	Cal Hidratada o Apagada	
M	1	0.25	No menor que 2.25 y no mayor
S	1	0.25 a 0.50	que 3.5 veces la suma de los
N	1	0.50 a 1.25	volúmenes separados de
O	1	1.25 a 2.50	materiales cementantes

Fuente: (Salamanca, 2001)

En la práctica, se recomienda elegir el mortero de menor resistencia para cumplir con los requisitos de la obra. También es importante tener en cuenta:

- Cuando se especifica un mortero de baja resistencia, no se puede utilizar otro mortero de alta resistencia en su lugar.
- No cambiar la proporción de mortero premezclado diseñado para un trabajo específico, ni usar materiales con diferentes propiedades físicas en la mezcla, a menos que se restaure a los requisitos de la norma.

A. Clasificación de los morteros de pega para mampostería simple según resistencia a la compresión a 28 días

a. Mortero Tipo “M”

- Se caracteriza por tener una alta resistencia.
- Posee una mayor durabilidad a comparación de otros morteros.
- Se sugiere en el uso de mampostería reforzada, o sin refuerzo, pero que ejerza grandes cargas de compresión para cuando se anticipe el congelamiento, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes, movimientos sísmicos.
- Su uso generalmente es en estructuras en contacto con el suelo: cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de aguas negras, pozos, etc.

b. Mortero Tipo “S”

- Este tipo de mortero alcanza la más alta adherencia que un mortero puede lograr.
- Se sugiere el uso para las estructuras sometidas a cargas de compresión normales, pero que a la vez necesiten una alta adherencia.
- Su uso es más usual en algunos casos en los que el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos cerámicos, baldosines de barro cocido, etc.

c. Mortero Tipo “N”

- Este tipo de mortero es de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo.
- Es muy favorable en enchapes de mampostería, paredes internas y divisiones.
- Este constituye la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y costo.
- Generalmente los morteros tipo N, alcanzan cerca de 125 kg/cm² (1800 psi) de resistencia a la compresión, en los ensayos de laboratorio.

d. Mortero Tipo “O”

- Este tipo de mortero posee una resistencia baja y un alto contenido de cal.
- Se puede usar en paredes y divisiones sin carga o para revestimientos exteriores que no estén expuestos a congelamiento, aun cuando puedan estar húmedos.
- Se utilizan generalmente en construcciones de vivienda de uno o dos pisos.
- Estos son los preferidos por los albañiles, debido a su buena trabajabilidad y a su bajo costo.

B. Clasificación según su dosificación y uso del mortero

- Los morteros 1:1 a 1:3 son morteros de gran resistencia y deben hacerse con arena limpia.
- Los morteros 1:4 a 1:6 se deben hacer con arena limpia o semi-lavada.
- Para los morteros 1:7 a 1:9 se puede usar arena sucia, pues estos morteros tienen muy poca resistencia.

Los morteros según su uso se pueden clasificar así:

- **Mortero de pega:** debe tener cualidades especiales, diferentes a los morteros usados para otros fines, porque está sometido a las condiciones especiales del sistema constructivo, y una resistencia adecuada ya que debe absorber esfuerzos de tensión y compresión.
- **Morteros de relleno:** se utilizan para llenar las celdas de los elementos en la mampostería estructural, y al igual que el mortero de pega debe tener una adecuada resistencia.
- **Morteros de recubrimiento:** ya que su función no es estructural sino de embellecimiento, o la de proporcionar una superficie uniforme para aplicar la pintura, no requieren una resistencia determinada; la plasticidad juega en ellos un papel muy importante.

Para más información, se puede apreciar en la Tabla 6 la dosificación exacta con los usos más frecuentes.

Tabla 6.*Usos del mortero según su dosificación.*

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

Fuente: (Rivera, 2015)**2.2.4.3. Propiedades del Mortero**

Podemos mencionar como principales propiedades físicas, químicas y mecánicas:

A. Manejabilidad

Esta propiedad es muy importante en los morteros de relleno de celdas. Depende esencialmente del contenido de agua, de la proporción de los aditivos, de la forma y textura de los agregados y de la finura del cemento. Se evalúa mediante ensayo de mesa de flujo o método del cono de penetración.

B. Retención de Agua

Esta propiedad debe ser alta, para evitar fisuras y la disminución de las resistencias. Esta propiedad se obtiene con el uso de la cal o aditivos.

C. Resistencia Mecánica

Esta propiedad depende de la relación agua-cemento y de la proporción de adición usada, y especialmente de la granulometría del agregado fino, la cual se obtiene a partir del módulo de finura. El uso de arcilla disminuye la resistencia, por ello se debe controlar su adición de agregados finos contaminados.

D. Retracción de Secado

Esta propiedad es alta en morteros y por ende se debe tratar de disminuir. Se sugiere utilizar bajo contenido de cemento, de finos y en lo posible de cementos adicionados. Debe ser curado al igual que el hormigón. (Salamanca, 2001).

2.2.5. Antecedentes de la Mezcla Mortero - Dióxido de Titanio [TiO₂]

La aplicación de aditivos de partículas con propiedades fotocatalíticas incluye la fabricación de una variedad de materiales compuestos, en los que se añaden cemento, cerámica, vidrio y polímeros o se recubren con partículas fotocatalíticas para obtener materiales finales con propiedades especiales. Este trabajo se centra en la aplicación de partículas, especialmente TiO₂, a materiales a base de cemento.

Dado que el descubrimiento de las propiedades fotocatalíticas del dióxido de titanio ha despertado el interés de la gente, y hoy en día es un material relativamente barato y fácilmente disponible, en la literatura científica revisada se han descrito experimentos con varios tipos de materiales a base de cemento que contienen dióxido de titanio. Algunos de ellos se destacan a continuación y se comparan en función de las propiedades a evaluar.

A. Autolimpieza:

- El arquitecto Richard Meier desarrolló una prueba específica para el diseño de la mezcla de hormigón blanco para la iglesia "Dives in Misericordia" en Roma, se prefabricaron losas de hormigón blanco para producir un nuevo tipo de cemento fotocatalítico, llamado TX Millenium de Italcementi SpA. Se utilizó cemento blanco con 5% de TiO₂, el colorante orgánico que se utilizó fue el de fenantroquinona (amarillo), que utiliza tecnología de impregnación con pistola. Se utilizó un simulador solar, que contaba con 4 lámparas de 400W ($\lambda = 290$ nm). Para evaluar la fotodegradación, se monitoreó el porcentaje de reflectancia (monitoreo del sistema CIE L * a * b después de la construcción). En 8 horas, la blancura se restauró casi por completo.
- Proyecto PICADA (Aplicación de recubrimientos fotocatalíticos innovadores para la evaluación de la contaminación). En este caso se utilizó la Rodamina B como colorante, para la simulación solar se utilizó 1 lámpara UV 300W a 1 metro de distancia. El porcentaje de TiO₂ es desconocido (cristales de 20 nm). Se midió el color con el parámetro a* CIE L * a * b system. Se recuperó 65% después de 24 horas.
- En otros experimentos se utilizó el mortero blanco. Luego se aplicó la rodamina B con una brocha como colorante, el porcentaje de TiO₂ no afirma ser utilizado, la lámpara utilizada es una "lámpara fluorescente". En 24 horas, la tasa de recuperación basada en el porcentaje de TiO₂ en la mezcla está entre 75% y 95%.
- Se realizó el mortero recubierto con TiO₂ / SiO₂, como colorante se utilizó el vino tinto, para simular la luz solar se utilizó la lámpara UV solar Suntest, 90mW / cm². Después de 48 horas, el color se recuperó por completo.

- "Museo de la Música Francesa y Arte Urbano" Chambéry (Francia) Hormigón in situ gris claro, se realizó un seguimiento post-construcción del sistema CIE L * a * b con colorímetro Minolta CR-410. Poco cambio de color en 5 años.



Figura 13. Iglesia "Dives in Misericordia" Roma; "Cité de la Musique et des Meaux-Arts" Chambéry; Túnel Vía Porpora, Milán.

Fuente: (Abella, 2015)

B. Descontaminante:

- Proyecto PICADA (Photocatalytic Innovative Coverings Applications For Depollution Assessment) (Aplicación de recubrimientos fotocatalíticos innovadores para la evaluación de la contaminación). Se comprobó la eficacia del rendimiento fotocatalítico en un modelo completo que puede reproducir las condiciones ambientales de una calle entre dos cuadras de la ciudad. La reducción de emisiones de contaminantes monitoreada fue de hasta un 80%.
- Pavimentación de la carretera en Segarte, Milán (Italia), Se aplicó mortero fotocatalítico de bajo espesor sobre la base de asfalto. La reducción media de contaminantes registrada fue del 57%.
- Pavimentación de adoquines Calúscio, Bérgamo (Italia) reduce NO_x en un 57%.
- Túnel Vía Porpora, Milán (Italia). Pavimento de hormigón fotocatalítico de alto rendimiento y pintura fotocatalítica no cementosa que recubre la cúpula. En comparación con las condiciones normales, el NO_x se reduce 22,7%.

C. Bactericida:

- Destruye la bacteria E. Coli con TiO₂.
- Con el TiO₂Degussa P-25 se logró la fotodegradación del alga Cladophora con TiO₂. Luz UV 450W lámpara de vapor de mercurio 2h.
- El efecto de eliminación de algas del recubrimiento de TiO₂. Equipo para acelerar el crecimiento de algas. Laboratorio Magnel. Lámpara Grolux (30W). Medida de color: colorímetro X-Rite SP60. El recubrimiento previene el crecimiento de las algas Chlorellavulgaris.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Absorción de luz visible: Es el proceso por el cual dicha radiación es captada por la materia. Cuando la absorción se produce dentro del rango de la luz visible, recibe el nombre de absorción óptica. (La web de Física, 2016).

Alérgenos: Es una sustancia que puede provocar una reacción alérgica.

Anatasa: Es una de las cinco formas minerales del óxido de titanio (IV) o dióxido de titanio (TiO_2).

Banda de Conducción: Es el intervalo de energías electrónicas que, estando por encima de la banda de valencia, permite a los electrones sufrir aceleraciones por la presencia de un campo eléctrico externo y, por tanto, permite la presencia de corrientes eléctricas. (Tipler y otros, 2005).

Banda de Valencia: Es el más alto rango de energías de electrones en el que los electrones están normalmente presentes en la temperatura del cero absoluto. (Radiation Dosimetry, 2020).

Brookita: Se trata de una de las cinco formas minerales del dióxido de titanio, junto con la anatasa y el rutilo.

Capacidades Reductoras: Se refiere a la capacidad de ciertas biomoléculas de actuar como donadoras de electrones o receptoras de protones en reacciones metabólicas de reducción-oxidación. (Voet y otros, 1995).

Catálisis: Es el proceso por el cual se aumenta la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador y aquellas que desactivan la catálisis son denominados inhibidores. (Masel, 2001).

Escorrentía: Se define como aquella parte de la lluvia, del agua de deshielo y/o del agua de irrigación que no llega a infiltrarse en el suelo, si no fluye hacia un cauce fluvial, desplazándose sobre la superficie del mismo.

Fotocatálisis: La fotocatalisis parte del principio natural de descontaminación de la propia naturaleza. Al igual que la fotosíntesis, gracias a la luz solar, es capaz de eliminar CO_2 para generar materia orgánica, la fotocatalisis elimina otros contaminantes habituales en la atmósfera, como son los NO_x , SO_x , COVs , mediante un proceso de oxidación activado por la energía solar. (Bermejo, 2018).

Fotodegradación: Es una reacción química que se produce bajo la influencia de la luz; puede tener lugar en la atmósfera, en la superficie del suelo y del agua.

Fotones: Partícula mínima de energía luminosa o de otra energía electromagnética que se produce, se transmite y se absorbe.

Fuerzas de Correlación: Se trata de la descripción por medios matemáticos del comportamiento fundamental de la materia, a una escala que se mide en moléculas.

Hidrofilicidad: Propiedad física de las moléculas que tienen tendencia a interactuar con el agua o disolverse en ella o en otra sustancia polar.

Ilmenita: Es un mineral óxido de composición $\text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+}\text{O}_3$. (Calvo, 2009).

Luz UV: Radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 10 nm ($10 \times 10^{-9}\text{m}$) y los 400 nm ($400 \times 10^{-9}\text{m}$). Esta radiación es parte integrante de los rayos solares y produce varios efectos en la salud al ser una radiación entre no-ionizante e ionizante.

Mineralización: Proceso biológico que ocurre mediante la conversión de la materia orgánica a un estado inorgánico, a través de la acción de microorganismos. (EcuRed, 2019).

Catalizador: Es una sustancia que acelera o retarda una reacción química sin participar en ella. (Jencks, 1969).

CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.1. CEMENTO

3.1.1. Características químicas y físicas

En la presente investigación se utilizó el cemento comercial YURA Tipo I (Figura 14), y en la Tabla 7 se presenta sus propiedades físicas y químicas.

Tabla 7.

Propiedades Físicas y Químicas del Cemento YURA Tipo I – Noviembre 2020

REQUERIMIENTOS QUÍMICOS		
	CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I	NORMA TÉCNICA NTP 334.009 – ASTM C150
Óxido de Magnesio, MgO (%)	2.55%	Máximo 6.0
Trióxido de Azufre, SO ₃ (%)	2.10%	Máximo 3.0
Pérdida de Ignición o al Fuego (%)	0.60%	Máximo 3.0
Residuo insoluble, R.I. (%)	0.55%	Máximo 0.75
REQUERIMIENTOS FÍSICOS		
Finura (Superficie Específica (cm ² /g)	3150	Mínimo 2600
Expansión en Autoclave, %	0.07	Máximo 0.80
Contenido de Aire del mortero, kgf/cm ²	5.55	Máximo 12.00
Resistencia a la Compresión		
1 día (Kgf/cm²)	135	-
3 días (Kgf/cm²)	240	122.36
7 días (Kgf/cm²)	330	193.75
28 días (Kgf/cm²)	430	-
Tiempo de Fraguado (min)		
Inicial	140	Mínimo 45
Final	160	Máximo 420

Fuente: Cemento Yura



Figura 14. Cemento Portland Tipo I.
Fuente: Cemento Yura

3.2. AGREGADO FINO

El agregado fino es arena natural o artificial, que puede pasar a través de un tamiz de 9.5 mm (3/8 de pulgada) y ser retenido en un tamiz de 0.075 mm (N° 200). Este material ocupa la mayor parte del volumen de composición del mortero, y su proporción depende del uso previsto.

Según NTP 400.011, los áridos finos no deben contener cantidades nocivas de polvo, grumos, escamas o partículas blandas, materia orgánica, sal u otras sustancias nocivas. Asimismo, las normas que regulan las propiedades de los agregados finos de los morteros de albañilería son ASTM-C144 y NTP 399.607.

Del 5% al 30% debe pasar por la malla # 50, y del 0% al 10% debe pasar por la malla #100. Dado que se puede encontrar dificultades en la trabajabilidad, el bombeo o la exudación excesiva si están cerca del porcentaje mínimo, se pueden ajustar mediante una adición fina.

Como fuente de abastecimiento del agregado fino se tomó la “CANTERA CONGATA”, ubicada en el distrito de Uchumayo, y este cumplió con lo establecido por la NTP 400.037.

3.2.1. Análisis Granulométrico (NTP-400.012) (NTP-400.037) (ASTM-C136) (ASTM-C33)

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



Figura 15. Análisis Granulométrico del Agregado Fino.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8.

Análisis Granulométrico del Agregado Fino.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADO FINO					
D (plg)	D (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado	% Pasante
1/4"	6.3	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.75	8.65	0.58	0.58	99.42
#8	2.36	265.80	17.72	18.30	81.70
#16	1.18	252.49	16.83	35.13	64.87
#30	0.6	198.95	13.26	48.39	51.61
#50	0.3	325.96	21.73	70.12	29.88
#100	0.15	285.24	19.02	89.14	10.86
#200	0.075	86.40	5.76	94.90	5.10
Fondo	-	76.51	5.10	100.00	0.00
TOTAL		1500.00			

Fuente: Elaboración Propia

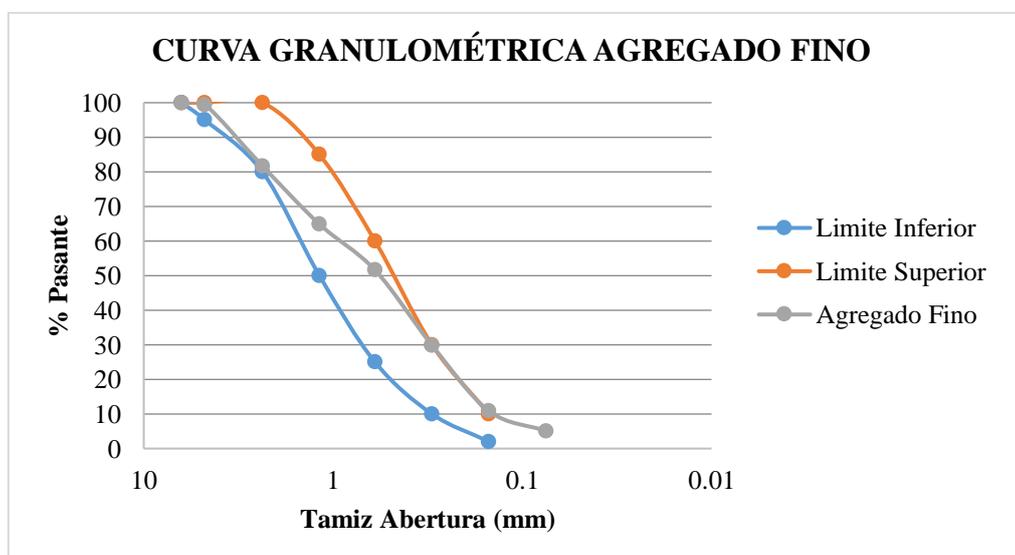


Gráfico 1. Curva Granulométrica del Agregado Fino con Límites (ASTM C33).

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Propiedades Físicas de los Agregados

3.2.2.1. Módulo de Fineza (NTP-400.012) (ASTM-C136)

Es un indicador que nos aproxima el tamaño medio del agregado. Cuando el índice es bajo, significa que el agregado es bueno; cuando el índice es alto, significa lo opuesto.

El módulo de finura, se usa para controlar la uniformidad del agregado y se logra sumando el porcentaje acumulativo retenido de una serie de tamices 2½ pulgadas, 1½ pulgadas, ¾ pulgadas, 3/8 pulgadas, # 4, # 8, # 16, # 30, # 50 y # 100, y este número se divide por 100, este cálculo no incluye el tamiz de 1" y ½".

El módulo de finura se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 1.

Módulo de Fineza

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulado}(\# 4, \# 8, \# 16, \# 30, \# 50, \# 100)}{100}$$
$$MF = \frac{0.58 + 18.30 + 35.13 + 48.39 + 70.12 + 89.14}{100}$$

$$MF = 2.62$$

Se estima que el agregado fino entre los módulos 2.2 y 2.8 puede producir una buena trabajabilidad y una baja segregación.

3.2.2.2. Peso Específico Superficialmente Seco (NTP 400.021) (NTP-400.017)

Es la relación de la masa de agregado seco saturado en la superficie de cada unidad de volumen de partículas del agregado, incluido el volumen de huecos impermeables y poros llenos de agua en las partículas, pero no los poros entre las partículas.

PROCEDIMIENTO

- 1) Se realizó el muestreo del agregado reduciéndolo a 1.300 kg.



Figura 16. Muestreo del Agregado Fino.
Fuente: Elaboración Propia

- 2) La muestra se sumergió en agua por 24 horas.



Figura 17. Sumersión en el agua del Agregado Fino.
Fuente: Elaboración Propia

- 3) Después se decantó el agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, y se colocó en una bandeja para que se seque superficialmente a la intemperie.



Figura 18. Secado a la intemperie del Agregado Fino.
Fuente: Elaboración Propia

- 4) Luego de observar que la superficie del agregado está seca, se colocó el cono de Abrams sobre una superficie lisa, se vertió el agregado en tres capas y se apisonó con 25 golpes hasta que quedo al ras.



Figura 19. Cono de Absorción con el Agregado Fino.
Fuente: Elaboración Propia

- 5) Después de eso, se retiró el molde, y si la arena no se derrumba parcialmente significa que todavía está húmeda, pero si esta si lo hace, significa que está superficialmente saturada.
- 6) A continuación, se pesó 500 gramos de material, y se vertió en una fiola de 500 mL., donde obtuvimos previamente su tara de 183,5 gramos.
- 7) Luego se introdujo agua en la fiola hasta que llegue a la marca y posteriormente se la coloco a baño maría para que desaparezcan las burbujas de aire.



Figura 20. Fiola con Agregado Fino y Agua.
Fuente: Elaboración Propia

- 8) Finalmente, se pesó la fiola con el agregado fino y el agua, obteniendo:

$$W_f + W_{af} + W_a = 183.5 + 500 + 311.3 = 994.8$$

El peso específico superficialmente seco del agregado fino fue:

Ecuación 2.

Peso específico superficialmente seco

$$PESS = \frac{W_{af}}{W_{af} - W_a}$$
$$PESS = \frac{500}{500 - 311.3}$$
$$PESS = 2650 \frac{Kg}{m^3}$$

3.2.2.3. Peso específico (NTP 400.021) (ASTM C 138)

Es la relación entre el peso y el volumen de un material sólido. Para determinar la gravedad específica o densidad, el agregado debe usarse en estado saturado y en superficie seca.

PROCEDIMIENTO

Luego que se obtuvo el peso específico superficialmente seco, es necesario realizar el peso seco del agregado. Por lo tanto, la muestra colocada anteriormente en la fiola, se colocó en la bandeja y se colocó en la estufa hasta que estuvo completamente seca.

Finalmente, se pesó la muestra seca obteniendo 494,1 g.

De los datos obtenidos anteriormente, se tiene que el peso específico del agregado fino es:

Ecuación 3.

Peso Específico Seco (PES)

$$PES = \frac{Pesoseco}{(Vol. fiola - Pesodelagua) - (500 - Pesoseco)} * 1000$$
$$PES = \frac{494.1}{(500 - 311.3) - (500 - 494.1)} * 1000$$
$$PES = \frac{494.1}{182.8} * 1000$$
$$PES = 2703 \frac{Kg}{m^3}$$

3.2.2.4. Porcentaje de Absorción (NTP 400.021) (ASTM-C128)

La absorción en el agregado, se debe al efecto del agua que se encuentra en los poros del material (excluyendo el agua adherida a la superficie exterior). Los agregados tienen poros internos, que se denominan "abiertos" cuando pueden exponerse al agua, la humedad externa y no requieren presión. A diferencia de los poros cerrados dentro del agregado, no tiene canal de conexión con la superficie y llega a la superficie a través del fluido a presión. La capacidad de absorción del agregado depende del aumento de peso de la muestra secada al horno después de remojar en agua durante 24 horas y secar la superficie.



Figura 21. Agregado Fino Seco luego de la Inmersión en Agua y Secado Superficial.

Fuente: Elaboración Propia

PROCEDIMIENTO

A través de la siguiente formula se puede obtener el Porcentaje de Absorción.

Ecuación 4.

Porcentaje de Absorción

$$\% \text{ Abs.} = \frac{500 - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

$$\% \text{ Abs.} = \frac{500 - 494.1}{494.1} * 100$$

$$\% \text{ Abs.} = 1.19\%$$

3.2.2.5. Peso Unitario (NTP-400.017) (ASTM-C29)

El peso unitario está directamente relacionado con el tamaño de partícula, su perfil, textura superficial, compactación y la gravedad específica de sus agregados. Este se calcula dividiendo el peso de la muestra por el volumen total del recipiente estándar, donde no se utiliza ningún tipo de presión.

Para obtener el Peso Unitario Suelto (P.U.S.) se utilizan las siguientes formulas:

- Peso de la muestra

Ecuación 5.

Peso de la muestra

$$P_M = P_{M+MLD} - P_{MLD}$$

- Peso Unitario Suelto

Ecuación 6.

Peso unitario suelto

$$P.U.S. = \frac{P_M}{V_{MLD}}$$

Donde:

- P_M : Peso de la muestra.
- P_{M+MLD} : Peso de la muestra + Peso del molde.
- P_{MLD} : Peso del molde.
- V_{MLD} : Volumen del molde.

PROCEDIMIENTO

Primeramente, se calibró la medida del recipiente según la norma ASTM C-29. Donde indica los siguientes pasos:

- 1) Llenar la medida con agua a temperatura ambiente y cubrir con un trozo de vidrio plano de forma que se eliminen las burbujas y el exceso de agua.
- 2) Determinar la masa del agua en la medida usando una balanza o báscula con una precisión de 0,1% de la carga de prueba en cualquier punto dentro del rango de uso, graduada al menos 0,1 lb [0,05 kg].
- 3) Medir la temperatura del agua y determine su densidad a partir de la Tabla 9, interpolando si es necesario.

Tabla 9.

Densidad del Agua (ASTM C29)

Temperature		lb/ft ³	kg/m ³
°F	°C		
60	15.6	62.366	999.01
65	18.3	62.336	998.54
70	21.1	62.301	997.97
73.4	23.0	62.274	997.54
75	23.9	62.261	997.32
80	26.7	62.216	996.59
85	29.4	62.166	995.83

Fuente: ASTM C29

- 4) Calcule el volumen, V, de la medida dividiendo la masa de agua requerida para llenar la medida por su densidad.
- 5) Alternativamente, calcule el factor para la medida (1/V) dividiendo la densidad del agua por la masa requerida para llenar la medida.

Luego, se realizó el peso de la muestra + peso del molde 3 veces donde después se tomó el promedio.



Figura 22. Implementos para el ensayo de Peso Unitario Suelto.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10.

Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.

PESO DE LA MUESTRA (Kg)	PROMEDIO (Kg)
15.92	
15.98	15.97
16.02	

Fuente: Elaboración Propia

- Peso de la muestra

$$P_M = P_{M+MLD} - P_{MLD}$$

$$P_M = 15.97 - 4.90$$

$$P_M = 11.07Kg$$

- Peso Unitario Suelto

$$P.U.S. = \frac{P_M}{V_{MLD}}$$

$$P.U.S. = \frac{11.07}{7.21}$$

$$P.U.S. = 1535.37 \frac{Kg}{m^3}$$

Para obtener el Peso Unitario Compactado (P.U.C.) se utilizan las siguientes formulas:

- Peso de la Muestra

$$P_M = P_{M+MLD} - P_{MLD}$$

- Peso Unitario Compactado

Ecuación 7.

Peso unitario Compactado

$$P.U.C. = \frac{P_M}{V_{MLD}}$$

Donde:

- P_M : Peso de la muestra
- P_{M+MLD} : Peso de la muestra + Peso del molde.
- P_{MLD} : Peso del molde.
- V_{MLD} : Volumen del molde.

PROCEDIMIENTO

Se realizó el peso de la muestra + peso del molde 3 veces donde después se tomó el promedio.



Figura 23. Agregado Fino Compactado – Primera Capa.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11.

Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.

PESO DE LA MUESTRA (Kg)	PROMEDIO (Kg)
17.72	
17.75	17.78
17.86	

- Peso de la muestra

$$P_M = P_{M+MLD} - P_{MLD}$$

$$P_M = 17.78 - 4.90$$

$$P_M = \mathbf{12.88Kg}$$

- Peso Unitario Compactado

$$P.U.C. = \frac{P_M}{V_{MLD}}$$

$$P.U.C. = \frac{12.88}{7.21}$$

$$P.U.C. = 1786.41 \frac{Kg}{m^3}$$

3.2.2.6. Contenido de Humedad (NTP-339.185) (ASTM-C566)

El contenido de humedad del agregado debe calcularse correctamente, porque es de vital importancia en nuestro diseño de mezcla.

El contenido de humedad en los áridos está directamente relacionado con su porosidad, que a su vez depende del tamaño de los poros, su permeabilidad y el volumen total de los poros.

El contenido de humedad se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 8.

Contenido de Humedad

$$\% H = \frac{P_O - P_S}{P_O} \times 100\%$$

Donde:

Po: Peso Natural de la Muestra [gr]

Ps: Peso Seco de la Muestra [gr]

PROCEDIMIENTO

$$\% H = \frac{P_O - P_S}{P_O} \times 100\%$$

$$\% H = \frac{1215 - 1186}{1215} \times 100\%$$

$$\% H = 2.39 \%$$

NOTA: El contenido de humedad puede incrementarse o disminuirse según el clima, el método de almacenamiento o acopio del agregado, etc.; por lo tanto, el contenido de humedad debe calcularse cada vez que se realiza el diseño de mezcla.

3.2.2.7. Porcentaje Malla <N° 200 (ASTM-C117) (NTP 400.018)

Esta prueba permite determinar la cantidad por lavado del material más fino que la malla 0.075mm (N° 200) en el agregado. Durante la prueba, se eliminaron del agregado, partículas de arcilla y materiales solubles en agua.

PROCEDIMIENTO

- 1) Se tomó una muestra de arena de aproximadamente 1100 kg.
- 2) Luego se lavó la arena en un recipiente, se vertió en un tamiz N° 200, se separó el agua del producto lavado y se repitió esta operación hasta que el agua mantuvo en su forma cristalina.
- 3) Se coloca la arena en un recipiente y finalmente la secamos en la estufa hasta que esté completamente seca.



Figura 24. Lavado del Agregado Fino para malla N° 200.
Fuente: Elaboración Propia

Para hallar el Porcentaje de Malla <N° 200 se realiza la siguiente formula:

Ecuación 9.

Porcentaje de Malla <N° 200

$$\% \text{ Malla } < \# 200 = \frac{P_S - P_{SL}}{P_S} * 100$$

$$\% \text{ Malla } < \# 200 = \frac{1122.5 - 1076.5}{1122.5} * 100$$

$$\% \text{ Malla } < \# 200 = 4.10\%$$

Por lo tanto, se tiene 4.10% de material pasante de la malla N° 200 obtenidos del agregado fino, este porcentaje cumple con el máximo permisible de 5%.

Todas las propiedades anteriormente mencionadas se pueden observar en la Tabla 12.

Tabla 12.*Propiedades del Agregado Fino.*

AGREGADO	FINO	UNIDAD
Módulo de Finura	2.62	%
Peso Específico Superficialmente Seco	2650.00	Kg/m ³
Peso Específico Seco	2703.00	Kg/m ³
Porcentaje de Absorción	1.19	%
Peso Unitario Compactado	1786.41	Kg/m ³
Peso Unitario Suelto	1535.37	Kg/m ³
Contenido de Humedad	2.39	%
Material pasante de la Malla <N° 200	4.10	%

Fuente: Elaboración Propia**3.3. AGUA**

Se considera una materia prima para fabricar y curar el mortero, debe cumplir con ciertos estándares de calidad descritos en la norma peruana NTP 339.088. Debe ser lo más limpio y fresco posible, y también debe estar libre de arcilla, lodos y algas.

Los límites máximos permisibles de concentración de sustancias en el agua se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13.*Límites químicos opcionales para el agua de mezcla.*

	Límite	Método de Ensayo
Concentración Máxima en el agua de mezcla combinada, ppm ^A		
A. Cloruro como Cl⁻, ppm		
1. En concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera.	500 ^B	NTP 339.076
2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes.	1 000 ^B	NTP 339.076
B. Sulfatos como SO₄, ppm		
	3000	NTP 339.074
C. Alcalis como (Na₂O + 0.658 K₂O), ppm		
	600	ASTM C 114
D. Sólidos totales por masa, ppm		
	50 000	ASTM C 1603

^A ppm es la abreviación de partes por millón.^B Cuando el productor pueda demostrar que estos límites para el agua de mezcla pueden ser excedidos, los requerimientos para el concreto del Código ACI 318 regirán. Para condiciones que permiten utilizar cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerador, se permitirá que el comprador pueda prescindir de la limitación del cloruro.*Fuente:* NTP 339.088

La cantidad de agua usada por metro cúbico de mezcla, es muy importante porque afecta en gran medida la resistencia, durabilidad y trabajabilidad del mortero.

Ante cualquier duda sobre la calidad del agua, se debe realizar una prueba de mortero, se realiza el mortero con el agua a ser usada y luego se comparan los resultados con el mortero preparado con agua destilada, o bien se preparan los cubos de mortero de la manera más conveniente según la norma ASTM C 109.

3.4. ADITIVOS (ASTM-C494)

Los aditivos son componentes del mortero, que se agregan a la mezcla además de agua, agregados y cemento.

El propósito de su uso es cambiar las propiedades del mortero, ya sea en estado fresco, fraguado o endurecido, para cumplir con los requisitos y especificaciones especiales de cada tipo de estructura. Los principales usos de los aditivos son:

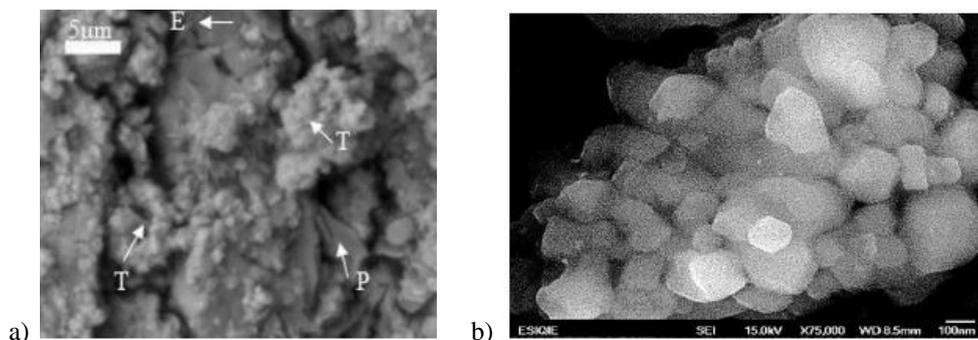
- Reducir el costo de producción del mortero.
- Obtener propiedades del mortero.
- Asegurar la calidad del mortero durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado.

3.4.1. Propiedades del Dióxido de Titanio

El dióxido de titanio se ha utilizado en la fase anatasa, en proporciones de 3%, 6% y 9% del volumen de cemento, sus características se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14.*Certificado de Análisis del TiO₂.*

Ensayo	Especificaciones	Resultados de la prueba
Características	Polvo blanco ligeramente coloreado	Polvo blanco
Identificación de Solubilidad	Insoluble en agua y disolventes orgánicos, se disuelve lentamente en ácido fluorhídrico y en ácido sulfúrico concentrado caliente.	Se ajusta
Pérdida por secado (105 °C, 3 horas)	0.5% Max	0.26%
Pérdida por ignición libre de materias volátiles (800° C)	1.0% Max	0.28%
Sustancia soluble en agua	0.5% Max	0.22%
Sustancia soluble en ácido (HCl 0,5N) Sin alúmina / sílice	0.5% Max	0.29%
Sustancia soluble en ácido (HCl 0,5N) que contiene alúmina / sílice	1.5% Max	No aplica
Plomo (0.5N HCl Soluble)	10 ppm Max	3.72
Arsénico (0.5N HCl Soluble)	1 ppm Max	0.64
Antimonio (0.5N HCl Soluble)	2 ppm Max	0.58
Mercurio (0.5N HCl Soluble)	1 ppm Max	< 0.01
Cadmio (0.5N HCl Soluble)	1 ppm Max	< 0.01
Al ₂ O ₃ y/o SiO ₂	2.0% Max	< 0.02%
Ensayo (TiO ₂) Libre de alúmina / sílice	99.0% Min	99.32%

Fuente: AQCIATEX, 2020**Figura 25.** Comparativa del tamaño de partículas entre a) Pasta de cemento a 5μm y b) Dióxido de Titanio a 0.1μm.*Fuente:* (Giraldo, y otros, 2010) (Fuentes, y otros, 2016)

CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

4.1. DISEÑO MUESTRAL

En este capítulo se describe la técnica de muestreo utilizada, y esta fue representativa, ya que, no existen criterios estadísticos ni racionales para el análisis y diseño de morteros fotocatalíticos. Se elaboró 4 diferentes diseños de mezcla con 0%, 3%, 6% y 9% de TiO_2 , con relación de 1:4 de cemento y agregado fino.

4.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS

Universo: Morteros de TiO_2 con relación de 1:4 de cemento y arena, elaborados en la provincia y región de Arequipa.

Muestra:

- Para el ensayo de resistencia a la compresión se elaboraron 15 probetas prismáticas rectangulares por cada mezcla de 50 mm de lado de mortero a base de cemento Portland Tipo I de la marca Yura, de los cuales se ensayarán 3 testigos cada 1, 3, 7, 14 y 28 días.
- Para el ensayo de absorción se elaboraron 9 probetas prismáticas rectangulares de 50 mm de lado de mortero a base de cemento Portland Tipo I de la marca Yura por cada diseño de mezcla.
- Para la prueba de intemperismo se tarrajearon 4 paneles de 0.45m x 0.40m con las diferentes dosificaciones de mortero a base de cemento Portland Tipo I de la marca Yura.
- Para el ensayo de rodamina se elaboraron 6 probetas prismáticas rectangulares por cada mezcla de 50 mm de lado de mortero a base de cemento Portland Tipo I de la marca Yura.

Unidad de Análisis: Cada una de las probetas prismáticas rectangulares utilizadas en cada ensayo realizado.

La Tabla 15 indica el resumen de la población muestral de nuestra investigación.

Tabla 15.*Población Muestral del Análisis del TiO₂.*

CANTIDAD	TIPO	ESPECIFICACIÓN
60	Probetas Prismáticas Rectangulares de 50 mm de lado	Ensayos de Resistencia a la Compresión
36	Probetas Prismáticas Rectangulares de 50 mm de lado	Ensayo de Absorción
4	Paneles de 0.45m x 0.40m	Ensayo de Intemperismo
24	Probetas Prismáticas Rectangulares de 50 mm de lado	Ensayo de Rodamina

Fuente: Elaboración Propia

4.3. TIPOS DE TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

La técnica de investigación se basó en la observación del fenómeno. Para recopilar información se utilizó el método cuantitativo, estos se utilizaron para medir las variables cuantitativas de nuestro mortero. Esto permitirá la medición de parámetros físicos y mecánicos de los materiales ensayados en el laboratorio. Las principales normas utilizadas en el laboratorio fueron:

- ASTM-C109 - Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Muestras Cúbicas de 2 pulgadas).
- ASTM-C117 - Método de ensayo normalizado para materiales más finos que una criba No. 200 (75 µm) en agregados minerales mediante lavado.
- ASTM-C128 - Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos.
- ASTM-C136 - Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos.
- ASTM-C29 - Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados.
- ASTM-C494 - Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Mortero.
- ASTM-C566 - Método Estándar para medir el contenido total de humedad en agregados mediante secado.
- NTP 334.003 - Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.
- NTP 334.057 - Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Pórtland.
- NTP-339.046 - Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).

- NTP-339.088 - Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de Cemento Portland. Requisitos.
- NTP-339.185 - Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- NTP 399.631 - Método de ensayo normalizado para la tasa de absorción del agua de morteros de albañilería.
- NTP 334.051 - Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado.
- NTP-400.010 - Extracción y preparación de las muestras.
- NTP-400.012 - Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- NTP-400.017 - Método de ensayo para determinar el Peso Unitario del agregado.
- NTP-400.037 - Requisitos del Agregado.
- UNI 11259 - (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) – Determinazione dell'attività fotocatalítica di liganti idraulici. Metodo della rodamina.

4.4. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- El ensayo de absorción se desarrolló de acuerdo con la norma NTP 399.631. Se moldearon 9 probetas prismáticas rectangulares de 50 mm de lado de cada diseño de mezcla, las cuales fueron curadas durante 28 días, según lo indica la norma. Se registró el peso seco de las probetas prismáticas rectangulares, luego se colocaron dentro del recipiente con agua y se tomaron los pesos de la muestra ensayada en intervalos de 0.25 h, 1.4 h y 24 h para hallar su absorción total en gr/cm^2 .
- El ensayo de intemperismo se realizó de acuerdo con la norma ISO 9001, se realizaron las mezclas de mortero según diseño y fueron tarrajeadas en paneles de 0.45m x 0.40m, luego se dejaron a la intemperie y a diario se observó sus cambios, a lo largo de 4 meses.
- El ensayo de resistencia a la compresión se realizó según la norma NTP 334.521, donde por cada diseño de mezcla se moldearon 15 cubos de 50 mm de lado. Cada 3 cubos fueron curados durante 1, 3, 7, 14 y 28 días para luego ser ensayados según edades de curado.
- La prueba de Rodamina B se realizó según la norma italiana UNI 11259, donde a 24 probetas se les impregno una de sus caras con Rodamina B y luego se expusieron a una lámpara de rayos UV. Se registraron los valores a^* del sistema de color CIE mediante el uso de un colorímetro. Las mediciones se realizaron a las 0h, 4h y 26 horas para determinar el porcentaje de degradación del color, y así determinar la autolimpieza del aditivo.

4.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento de los datos, se realizó de acuerdo con lo indicado en su respectiva norma, dado que, cada una tiene sus índices de medición propios. Los datos obtenidos se plasmaron en tablas y gráficos, elaborados para una mejor interpretación. La información cuantitativa fue interpretada mediante métodos estadísticos apropiados en cada caso, utilizando los programas de Microsoft Excel 2016 y Statgraphics Centurion 16.

CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS AL MORTERO

5.1. DISEÑO DE MEZCLA

A partir del Capítulo II, se puede tener la clasificación según su uso de nuestro mortero, donde tenemos:

- Mortero de pega: Es un tipo de mortero con suficiente resistencia a la compresión, usado en mampostería estructural.
- Mortero usado como relleno.
- Mortero inyectado.
- Mortero de revestimiento usado como recubrimiento de paredes dando una superficie lisa y uniforme.

En esta investigación, el mortero de recubrimiento fue el realizado, ya que no tiene función estructural, por lo que no requiere una determinada resistencia, pero si interviene el acabado final.

Por otro lado, para el mezclado del mortero fue utilizada la mezcladora de soporte, la cual tiene su funcionamiento similar al de las batidoras domésticas, estas usualmente son usadas en el laboratorio debido a su modelo pequeño y a su capacidad.

El tamaño de la mezcladora se determina por el volumen de mortero, puede variar desde 0.4m³ para uso en el laboratorio, hasta 13 m³. Para obtener un mortero uniforme, y por consiguiente de buena resistencia, es importante saber cuál es el tiempo mínimo de mezclado. En este caso, la tanda del peso de la muestra a ensayar se realizó en función de la capacidad del equipo, tomando en cuenta el tiempo mínimo de mezclado.

El tiempo varía según el tipo de mezcladora, este no es un factor determinante que asegure un mezclado adecuado, sino el número de revoluciones de la mezcladora. Existe una velocidad óptima de rotación recomendable por el fabricante de la mezcladora, el número de revoluciones y el tiempo de mezclado son independientes. El valor exacto de los tiempos mínimos de mezcladora varía con el tipo y tamaño de mezcladora que se esté usando, la Tabla 16 muestra valores típicos de estos tiempos.

Tabla 16.*Tiempo mínimo de mezclado recomendado*

Capacidad de la mezcladora (m ³)	Tiempo de mezclado, en minutos, según el American Concrete Institute
0.8	1
1.5	1 ¼
2.3	1 ½
3.1	1 ¾
3.8	2
4.6	2 ¼
7.6	3 ¼

Fuente: (Neville, 1988)

El método de diseño de mezcla que se utilizó fue el explicado en la norma ACI 211, y de la misma forma de los antecedentes del libro *Concreto Simple* de Gerardo A. Rivera (2015).

Es necesario descubrir la relación entre los componentes naturales locales y la real resistencia para producir factores de ajuste a las cantidades recomendadas por el ACI, aparte de los aspectos de durabilidad.

5.1.1. Pasos a Seguir

Para obtener las proporciones de la mezcla del mortero que cumpla las características requeridas, se utilizó los materiales disponibles y se preparó la primera mezcla de prueba de acuerdo con la proporción inicial determinada en la secuencia que se muestra a continuación:

- Selección de la fluidez.
- Determinación de la resistencia de dosificación.
- Selección de la relación agua/cemento.
- Estimación del contenido de cemento.
- Cálculo de la cantidad de agua.
- Cálculo del contenido de agregado.
- Cálculo de las proporciones iniciales.
- Primera mezcla de prueba.
- Ajuste por humedad del agregado.
- Ajustes a las mezclas de prueba.

De acuerdo con los resultados de la primera mezcla, se ajustó la proporción para lograr la fluidez requerida, posteriormente se preparó la segunda mezcla de prueba con las proporciones ajustadas; comparando las características de la segunda mezcla con las características requeridas.

En el diseño de mezcla patrón de mortero se seleccionó una dosificación volumétrica de cemento-arena, en una relación de 1: 4, para obtener un acabado fino de acuerdo con la Tabla 6 descrita en el Capítulo II.

5.1.2. Diseño de Mezcla Patrón y con Adición

- **Selección de la fluidez**

La fluidez requerida por el mortero se escogerá de acuerdo con las especificaciones de la obra; en este caso según el tipo de estructura será utilizado como pega de mampostería; por lo tanto, según lo indicado en la Tabla 17 se tendrá una consistencia plástica.

Tabla 17.

Fluidez recomendada para mortero.

% Fluidez (Mesa de Flujo)	Consistencia	Tipo de Estructura	Condiciones de Colocación	Sistema de Colocación
80-100	Dura (seca)	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galería, pantallas de cimentación, pisos.	Secciones sujetas a vibración.	Proyección neumática, con vibradores de formaleta.
100-120	Media (plástica)	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Sin vibración.	Manual con palas y palustres.
120-150	Fluida (húmeda)	Rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos.	Sin vibración.	Manual, bombeo, inyección.

Fuente: (Sánchez de Guzmán, 1987)

- **Determinación de la resistencia de dosificación**

A partir de la relación de cemento y arena de 1:4, se calculó la resistencia de compresión del mortero a los 28 días según la Tabla 18, obteniendo una resistencia característica de 130 kg/cm², sin adición.

Tabla 18.

Resistencia de Morteros según su proporción en volumen.

TIPO DE MORTERO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN		RESISTENCIA Kg/cm ²
	CEMENTO	ARENA	
Ricos	1	1	160
	1	2	
	1	3	
Ordinarios	1	4	130
	1	5	98
	1	6	75
Pobres	1	8	50
	1	10	30

Fuente: (Martínez, 2019)

- **Selección de la relación agua/cemento**

Posteriormente, para obtener la relación agua/cemento (a/c), la resistencia característica obtenida anteriormente de 130 kg/cm² se proyecta en la Figura 26, obteniendo una relación de 0.81.

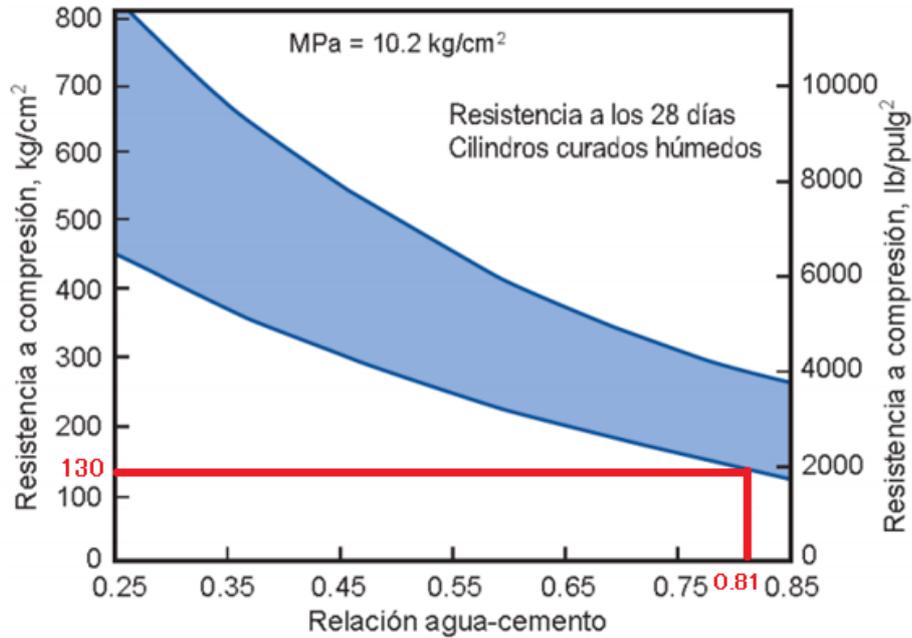


Figura 26. Resistencia a la compresión del mortero versus A/C.
Fuente: (Elizondo, 2013)

- **Contenido de cemento, agua y agregados**

A partir del Capítulo 3 se obtiene la Tabla 19. de nuestros componentes principales como son la arena fina, cemento y dióxido de titanio (TiO₂).

Tabla 19.

Propiedades de los Componentes del Mortero.

AGREGADO	FINO	UNIDAD
Módulo de Finura	2.62	%
Peso Específico Superficialmente Seco	2650.00	Kg/m ³
Peso Específico Seco	2703.00	Kg/m ³
Porcentaje de Absorción	1.19	%
Peso Unitario Compactado	1786.41	Kg/m ³
Peso Unitario Suelto	1535.37	Kg/m ³
Contenido de Humedad	2.39	%
Material pasante de la Malla N° 200	4.10	%
CEMENTO	YURA	UNIDAD
Tipo	TIPO I	
Peso Específico	3150.00	Kg/m ³
ADITIVO	DIÓXIDO DE TITANIO	UNIDAD
Tipo	Fotocatalizador	
Fase	Anatasa	
Peso Específico	4000.00	Kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

DOSIFICACIÓN

- Cemento = 1 pie³ = 42.5 Kg
- Arena = 4 pies³

$$\text{Arenafina} = 4\text{pies}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.3147 \text{ pies}^3} \times \text{PesoUnitario}$$

$$\text{Arenafina} = 4\text{pies}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.3147 \text{ pies}^3} \times 1535.37$$

$$\text{Arenafina} = 173.91 \text{ kg}$$

- Agua = 42.5 x 0.81 = 34.425 litros
- Aire atrapado = 2 %

RENDIMIENTO DE MEZCLA

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

$$\text{Cemento} = \frac{42.50 \text{ kg}}{3150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.0134921 \text{ m}^3$$

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

$$\text{Arenafina} = \frac{173.91 \text{ kg}}{2703 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.0643386 \text{ m}^3$$

- $$\text{Agua} = \frac{\text{Peso cemento} \times \text{relación a/c}}{\text{Peso específico del agua}}$$

$$\text{Agua} = \frac{42.5 \text{ kg} \times 0.81}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.034425 \text{ m}^3$$

RESUMEN

- $\text{Cemento} = 0.0134921 \text{ m}^3$
- $\text{Arenafina} = 0.0643386 \text{ m}^3$
- $\text{Agua} = 0.034425 \text{ m}^3$

$$\text{SubTotal} = 0.1122556 \text{ m}^3$$

- $\text{Aire} = 0.0022451 \text{ m}^3$ (2% del Subtotal)

$$\text{Total} = 0.1145008 \text{ m}^3 \text{ (Total Rendimiento)}$$

Cálculo de las proporciones iniciales por metro cúbico y ajuste por humedad

- $$\text{Cemento} = \frac{1}{\text{Total Rendimiento}}$$

$$\text{Cemento} = \frac{1}{0.1145008 \text{ m}^3} = 8.734 \text{ bolsas}$$

$$\text{Cemento} = 42.5 \text{ kg} \times 8.734 \text{ bolsas} = 371.77 \text{ kg}$$

- $\text{Arena fina} = \text{Cemento} \times \text{Peso Arena}$

$$\text{Arenafina} = 8.734 \text{ bolsas} \times 173.91 = \mathbf{1518.830kg}$$

- Agua = $\text{CementoxRelación} \frac{a}{c}$
 $\text{Agua} = 371.177 \times 0.81 = \mathbf{300.653litros}$
- Aire atrapado = 2.00 %

MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

- Arena fina = $\text{Arena Seca} \times \left(1 + \frac{w\%}{100}\right)$
 $\text{Arena fina} = 1518.830 \left(1 + \frac{2.39}{100}\right)$
 $\text{Arena fina} = \mathbf{1555.130kg}$
- Agua Efectiva = $\text{Agua} - \frac{(w\% - abs\%)}{100} \times \text{Arena}$
 $\text{Agua Efectiva} = 300.653 \text{ lt} - \frac{(2.39 - 1.19)}{100} \times 1518.830$
 $\text{Agua Efectiva} = \mathbf{282.427 \text{ litros}}$

A partir de la dosificación anteriormente desarrollada se realizará cantidad de materiales para un volumen de:

- VT = 15 especímenes de 5cm x 5cm x 5cm
Calculando el volumen total tenemos:
 $\text{VT} = 0.05 \times 0.05 \times 0.05 \times 15$
 $\text{VT} = 0.001875 \times 1.05 \text{ (Desperdicio)}$
 $\text{VT} = 0.00196875 \text{ m}^3$
- $\text{Cemento} = \text{Volumen} \times \text{Cemento}$
 $\text{Cemento} = 0.00196875 \times 371.177 = \mathbf{0.7308kg}$
- Arena fina = Volumen
 $\text{Arenafina} = 0.00196875 \times 1555.130 = \mathbf{3.0617kg}$
- Agua = Volumen \times Agua Efectiva
 $\text{Agua} = 0.00196875 \times 282.427 = 0.5560 \text{ litros}$
- VT = 1 espécimen de 45cm x 40cm x 0.0254 cm
Calculando el volumen total tenemos:
 $\text{VT} = 0.45 \times 0.40 \times 0.0254$
 $\text{VT} = 0.004572 \times 1.05 \text{ (Desperdicio)}$
 $\text{VT} = 0.0048006 \text{ m}^3$
- $\text{Cemento} = \text{Volumen} \times \text{Cemento}$
 $\text{Cemento} = 0.0048006 \times 371.177 = \mathbf{1.7819kg}$
- Arena fina = Volumen \times Arena

$$\text{Arenafina} = 0.0048006 \times 1555.130 = 7.4656\text{kg}$$

- Agua = Volumen \times Agua Efectiva
 Agua = $0.0048006 \times 282.427 = 1.3558$ litros

PROPORCIONES EN VOLUMEN Y PESO

Tabla 20.

Proporciones en Volumen y Peso del Patrón.

Material	Volumen	Peso
Cemento	1 m ³	1 Kg
Arena Fina	4 m ³	4.19 Kg
Agua	32.34 L/bolsa	32.34 L/bolsa

Fuente: Elaboración Propia

A partir de las proporciones en volumen y peso de los materiales se realizaron los respectivos diseños de mezcla, donde se tuvo que realizar un ajuste para tener una consistencia plástica, por esta razón se agregó 138 mL, obteniendo los siguientes datos:

- Agua adicional: 0.138 L
- Peso Unitario del Mortero: 2122.64 kg/m³

Peso de la Muestra:

- Cemento = 0.7308 kg
- Arena = 3.0617 kg
- Agua = 0.5560 + 0.1380 = 0.6940 L
- Aire = 0.0897 kg
- Peso de la Muestra = 4.5762 kg

$$\text{Rendimiento (m}^3\text{)} = 0.002155888$$

AGUA DE MEZCLADO

- Humedad superficial de la Arena (%) = $\frac{(w\% - abs\%)}{100}$
 Humedad superficial de la Arena (%) = $\frac{(2.39 - 1.19)}{100}$
 Humedad superficial de la Arena (%) = + 1.2 % = 0.012
- Aporte de Humedad de la Arena = *Humedad Superficial \times Arena \times Tanda*
 Aporte de Humedad de la Arena = $0.012 \times 1518.830 \times 0.00196875$
 Aporte de Humedad de la Arena = 0.035882358 litros
- Agua Añadida = Agua adicional + agua efectiva
 Agua Añadida = 0.138 L + 0.5560 L = 0.6940 litros
- Agua de mezcla por tanda = Aporte de humedad arena + agua añadida
 Agua de mezcla por tanda = 0.035882358 L + 0.6940 L = 0.7299 Litros

- Agua de mezcla por m³ = $\frac{\text{Agua de mezcla por tanda}}{\text{Rendimiento}}$
 Agua de mezcla por m³ = $\frac{0.7299}{0.002155888} = 338.5662$ Litros

DETERMINACIÓN DEL CEMENTO (NUEVA CANTIDAD)

$$\frac{a}{c_{\text{Diseño}}} = \frac{\text{Aguademezcla (m}^3\text{)}}{\text{Cemento (nuevacantidad)}}$$

$$\text{Cemento (nuevacantidad)} = \frac{\text{Aguademezcla (m}^3\text{)}}{\frac{a}{c_{\text{Diseño}}}}$$

$$\text{Cemento (nuevacantidad)} = \frac{338.5662}{0.81}$$

$$\text{Cemento(nuevacantidad)} = 417.9829 \text{ kg}$$

MÉTODO DE VOLÚMENES

- Volumen de Cemento

$$Vol_{\text{cemento}} = \frac{\text{Peso del cementonuevo}}{\text{Peso específico del cemento}}$$

$$Vol_{\text{cemento}} = \frac{417.9829}{3150}$$

$$Vol_{\text{cemento}} = 0.132693 \text{ m}^3$$

- Volumen de Agua

$$Vol_{\text{agua}} = \frac{\text{Pesodelaguademezcla}}{\text{Pesoespecíficodelagua}}$$

$$Vol_{\text{agua}} = \frac{338.5662}{1000}$$

$$Vol_{\text{agua}} = 0.338566 \text{ m}^3$$

- Volumen del Arena

$$Vol_{\text{arena}} = 1 - (Vol_{\text{cemento}} + Vol_{\text{agua}} + AireAtrap.)$$

$$Vol_{\text{arena}} = 1 - (0.132693 + 0.338566 + 0.02)$$

$$Vol_{\text{arena}} = 0.508741 \text{ m}^3$$

- Peso de la Arena

$$Peso_{\text{arena}} = Vol_{\text{arena}} * \text{Pesoespecíficoarena}$$

$$Peso_{\text{arena}} = 0.508741 * 2703$$

$$Peso_{\text{arena}} = 1375.1264 \text{ kg}$$

AJUSTES DE HUMEDAD Y ABSORCIÓN

- **Peso de la Arena Fina Húmeda (Kg)**

$$\text{Peso Arena Humeda(kg)} = \text{Peso Arena Seca} \times \left(1 + \frac{\%w}{100}\right)$$

$$\text{Peso Arena Humeda}(kg) = 1375.126 \times \left(1 + \frac{2.39}{100}\right)$$

$$\text{Peso Arena Humeda}(kg) = 1407.992 \text{ kg}$$

- **Agua Efectiva (L)**

$$\text{Agua Efectiva}(L) = \text{Agua de Mezcla} - \text{Humedad}_{\text{arena}} * \text{Peso}_{\text{arena}}$$

$$\text{Agua Efectiva}(L) = 338.566 - 0.012 * 1375.126$$

$$\text{Agua Efectiva}(L) = 322.065 \text{ L}$$

MATERIALES POR TANDA PARA QUINCE (15) ESPÉCIMENES DE 5cm x 5cm x 5cm

$$\text{VT} = 0.00196875 \text{ m}^3$$

- $\text{Cemento} = \text{Volumen} \times \text{Cemento}$

$$\text{Cemento} = 0.00196875 \times 417.9829 = \mathbf{0.8229kg}$$

- $\text{Arena fina} = \text{Volumen}$

$$\text{Arena fina} = 0.00196875 \times 1407.992 = \mathbf{2.7720kg}$$

- $\text{Agua} = \text{Volumen}$

$$\text{Agua} = 0.00196875 \times 322.065 = 0.6341 \text{ litros}$$

MATERIALES POR TANDA PARA 1 ESPÉCIMEN DE 45cm x 40cm x 0.0254cm

$$\text{VT} = 0.0048006 \text{ m}^3$$

- $\text{Cemento} = \text{Volumen} \times \text{Cemento}$

$$\text{Cemento} = 0.0048006 \times 417.9829 = \mathbf{2.0066kg}$$

- $\text{Arena fina} = \text{Volumen}$

$$\text{Arena fina} = 0.0048006 \times 1407.992 = \mathbf{6.7592kg}$$

- $\text{Agua} = \text{Volumen}$

$$\text{Agua} = 0.0048006 \times 322.065 = 1.5461 \text{ litros}$$

PROPORCIONES EN VOLUMEN Y PESO

Tabla 21.

Proporciones en Volumen y Peso del Patrón Ajustado.

Material	Volumen	Peso
Cemento	1 m ³	1 Kg
Arena Fina	4 m ³	3.37 Kg
Agua	32.75 L/bolsa	32.75 L/bolsa

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 22 a la Tabla 26 se observa el resumen de las dosificaciones realizadas para el mortero patrón, patrón ajustado, y para las probetas con adición de 3%, 6% y 9%, respectivamente.

Tabla 22.*Diseño de Mezcla Patrón del Mortero (ACI 211) (Rivera L., 2015)*

DISEÑO DE MEZCLA – PATRÓN								
DISEÑO: RELACIÓN A/C:	PATRÓN 0.81					Volumen de tanda:	0.00196875	
MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (Kg/m³)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (Kg)	VOLUMEN (m³)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	CANTIDAD DE MATERIAL POR TANDA	
CEMENTO	3150			371.17659	0.118	371.1765857	0.731 kg	
ARENA FINA	2703	2.39	1.19	1518.83	0.562	1555.1300	3.062 kg	
AGUA	1000			300.65303	0.301	282.4270746	0.556 kg	
DIÓXIDO DE TITANIO	4000			0	0.000		0.000 kg	
AIRE				0	0.020			
			TOTAL	2190.6596 Kg	1.000			

Fuente: Elaboración Propia**Tabla 23.***Diseño de Mezcla Patrón Ajustada del Mortero (ACI 211) (Rivera L., 2015)*

DISEÑO DE MEZCLA – PATRÓN AJUSTADO								
DISEÑO: RELACIÓN A/C:	PATRÓN – AJUSTADO 0.81					Volumen de tanda:	0.00196875	
MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (Kg/m³)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (Kg)	VOLUMEN (m³)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	CANTIDAD DE MATERIAL POR TANDA	
CEMENTO	3150			417.98295	0.133	417.9829499	0.823 kg	
ARENA FINA	2703	2.39	1.19	1375.1264	0.509	1407.9919	2.772 kg	
AGUA	1000			338.56619	0.339	322.0646725	0.634 kg	
DIÓXIDO DE TITANIO	4000			0	0.000		0.000 kg	
AIRE				0	0.020			
			TOTAL	2131.6756 Kg	1.000			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24.*Diseño de Mezcla con Adición de 3% de Dióxido de Titanio (ACI 211) (Rivera L., 2015)*

DISEÑO DE MEZCLA - CON ADICIÓN DE 3%						Volumen de tanda:	0.00196875
DISEÑO: RELACIÓN A/C:	Adición 3% 0.81						
MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (Kg/m³)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (Kg)	VOLUMEN (m³)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	CANTIDAD DE MATERIAL POR TANDA
CEMENTO	3150			417.98295	0.133	417.9829499	0.823 kg
ARENA FINA	2703	2.39	1.19	1375.1264	0.509	1407.9919	2.772 kg
AGUA	1000			338.56619	0.339	322.0646725	0.634 kg
DIÓXIDO DE TITANIO	4000			12.539488	0.003	12.5394885	0.025 kg
AIRE				0	0.017		
			TOTAL	2144.215 Kg	1.000		

Fuente: Elaboración Propia**Tabla 25.***Diseño de Mezcla con Adición de 6% de Dióxido de Titanio (ACI 211) (Rivera L., 2015)*

DISEÑO DE MEZCLA - CON ADICIÓN DE 6%						Volumen de tanda:	0.00196875
DISEÑO: RELACIÓN A/C:	Adición 6% 0.81						
MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (Kg/m³)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (Kg)	VOLUMEN (m³)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	CANTIDAD DE MATERIAL POR TANDA
CEMENTO	3150			417.98295	0.133	417.9829499	0.823 kg
ARENA FINA	2703	2.39	1.19	1375.1264	0.509	1407.9919	2.772 kg
AGUA	1000			338.56619	0.339	322.0646725	0.634 kg
DIÓXIDO DE TITANIO	4000			25.078977	0.006	25.078977	0.049 kg
AIRE				0	0.014		
			TOTAL	2156.7545 Kg	1.000		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26.*Diseño de Mezcla con Adición de 9% de Dióxido de Titanio (ACI 211) (Rivera L., 2015)*

DISEÑO DE MEZCLA - CON ADICIÓN DE 9%								
DISEÑO:	Adición 9%					Volumen de tanda:	0.00196875	
RELACIÓN A/C:	0.81							
MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (Kg/m³)	HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	PESO SECO (Kg)	VOLUMEN (m³)	CORRECCIÓN POR HUMEDAD	CANTIDAD DE MATERIAL POR TANDA	
CEMENTO	3150			417.98295	0.133	417.9829499	0.823 kg	
ARENA FINA	2703	2.39	1.19	1375.1264	0.509	1407.9919	2.772 kg	
AGUA	1000			338.56619	0.339	322.0646725	0.634 kg	
DIÓXIDO DE TITANIO	4000			37.618465	0.009	37.61846549	0.074 kg	
AIRE				0	0.011			
TOTAL				2169.294 Kg	1.000			

Fuente: Elaboración Propia

5.2. ENSAYOS REALIZADOS

Uno de los objetivos de la presente investigación, fue obtener un mortero mejorado con ayuda de un aditivo que en este caso fue el dióxido de titanio, para lo cual se realizó pruebas de absorción, fluidez, resistencia a la compresión en diferentes días, rodamina B, e intemperismo.

5.2.1. Ensayo de Absorción (NTP 399.631)

Según la NTP 399.631, la absorción es el proceso por el cual el agua penetra en el material poroso, debido a la diferencia de presión, temperatura o concentración de agua entre la superficie expuesta y su interior.

Para este ensayo se sometieron a absorción un total de 12 muestras, 3 muestras de cada diseño de mezcla a los 28 días. Después de retirar las probetas del curado, se ubicaron en el horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas, posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente. A continuación, se pesaron y se situaron verticalmente dentro de un recipiente con agua y se tomaron el peso de la muestra ensayada en los intervalos de 0.25 h, 1.4 h y 24 horas registrando así los aumentos de peso que experimentaron las probetas. El contenedor de absorción cumplió con todos los requisitos impuestos por la norma antes descrita, en la Figura 27, se observa el proceso de secado y pesado de las muestras de mortero, y posteriormente en la Figura 28, el ensayo de absorción de los especímenes de mortero.

Los parámetros utilizados para el cálculo de la absorción se determinaron mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 10.

Ensayo de Absorción

$$\text{Absorción} = \frac{(\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) \times 10\,000}{(L_1 \times L_2)} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^2} \right)$$





Figura 27. Secado, enfriado y pesado inicial de muestra de mortero para ensayo de absorción.
Fuente: Elaboración Propia



Después de 0h

Después de 0.25h



Figura 28. Ensayo de absorción de los especímenes de mortero.
Fuente: Elaboración Propia

Desde la Tabla 27 a la Tabla 29 y del Gráfico 2 al Gráfico 4, se observan los resultados obtenidos.

Tabla 27.

Influencia del aditivo TiO₂ en el ensayo de absorción a 0.25 horas.

TIEMPO	MUESTRA	DIMENSIONES		Peso	Peso	Absorción (gr/cm ²)	Absorción Promedio (gr/cm ²)
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Inicial (gr)	Final (gr)		
0.25 Horas	Patrón – 0% TiO ₂	50	48	234.78	238.42	15.17	17.80
		48	49	236.46	241.23	20.28	
		50	48	234.25	238.56	17.96	
		48	49	245.48	248.82	14.20	
	3% TiO ₂	49	49	240.65	244.65	16.66	14.90
		50	49	237.95	241.34	13.84	
		48	48	241.47	244.55	13.37	
		48	48	243.93	246.85	12.17	
	6% TiO ₂	49	48	244.54	247.07	10.76	8.27
		48	48	243.12	244.78	7.20	
		49	48	241.11	243.15	8.67	
		48	48	239.56	241.62	8.94	

Fuente: Elaboración Propia

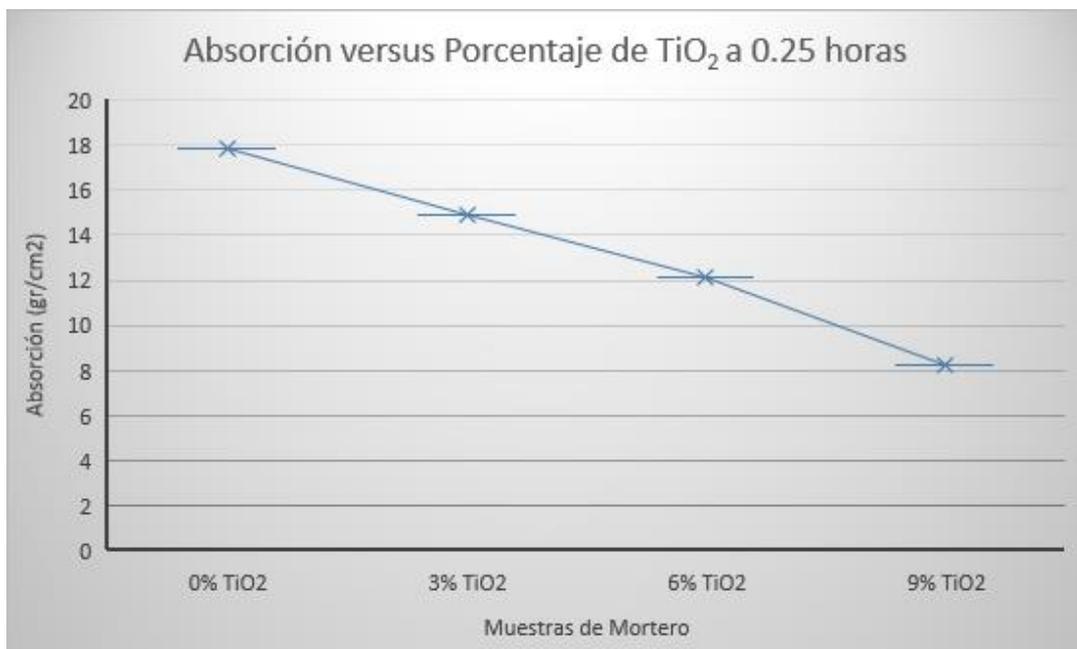


Gráfico 2. Ensayo de absorción versus Porcentaje de TiO₂ a 0.25 horas.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28.*Influencia del aditivo TiO₂ en el ensayo de absorción a 1.4 horas.*

TIEMPO	MUESTRA	DIMENSIONES		Peso	Peso	Absorción (gr/cm ²)	Absorción Promedio (gr/cm ²)
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Inicial (gr)	Final (gr)		
1.4 Horas	Patrón –	50	50	240.17	248.32	32.60	32.02
		48	50	237.23	245.48	34.38	
	0% TiO ₂	48	48	236.42	243.12	29.08	29.03
		48	48	242.63	248.96	27.47	
		50	49	240.65	247.81	29.22	
	3% TiO ₂	49	48	239.61	246.76	30.40	26.25
		48	49	238.48	244.26	24.57	
		50	50	238.84	245.25	25.64	
	6% TiO ₂	50	49	236.56	243.55	28.53	23.72
		50	49	239.56	245.15	22.82	
		49	49	240.32	246.56	25.99	
	9% TiO ₂	48	49	241.45	246.71	22.36	

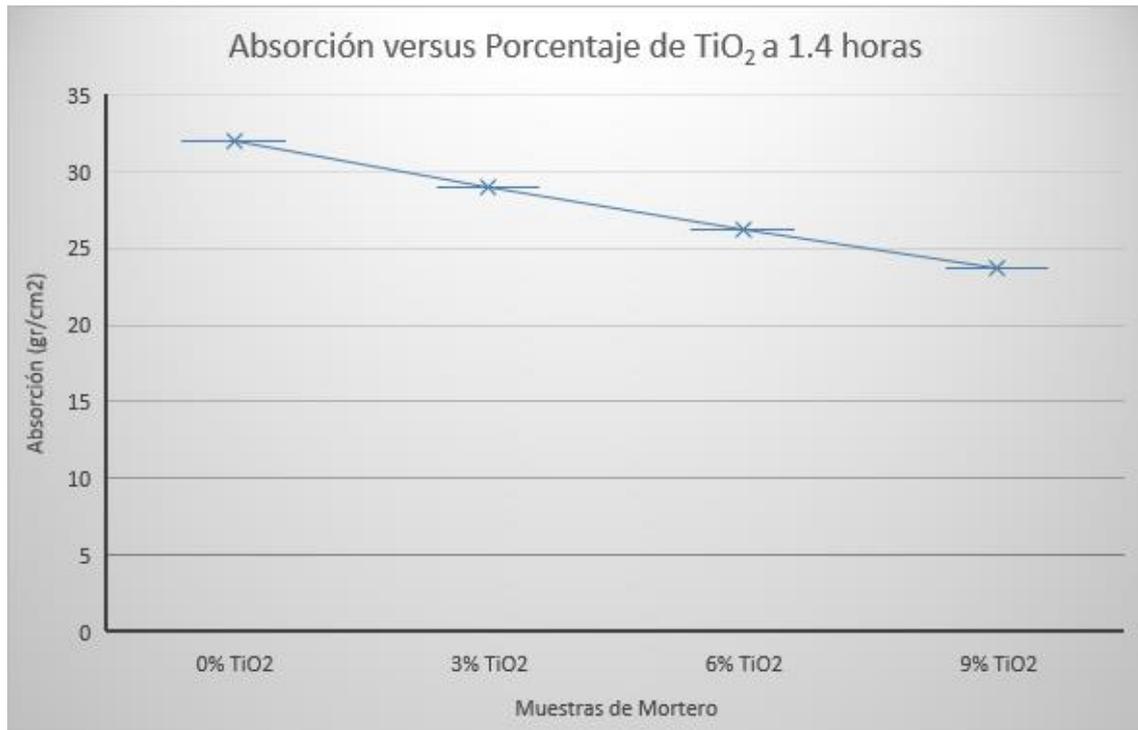
Fuente: Elaboración Propia**Gráfico 3.** Ensayo de absorción versus Porcentaje de TiO₂ a 1.4 horas.*Fuente:* Elaboración Propia

Tabla 29.

Influencia del aditivo TiO₂ en el ensayo de absorción a 24 horas.

TIEMPO	MUESTRA	DIMENSIONES		Peso	Peso	Absorción (gr/cm ²)	Absorción Promedio (gr/cm ²)
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Inicial (gr)	Final (gr)		
24 Horas	Patrón - 0% TiO ₂	50	50	238.15	273.16	140.04	140.52
		48	49	239.46	272.24	139.37	
		48	48	236.36	269.11	142.14	
	3% TiO ₂	50	48	240.65	270.25	123.33	130.60
		48	50	237.15	268.98	132.63	
		48	48	238.35	269.65	135.85	
	6% TiO ₂	48	48	234.46	262.15	120.18	122.77
		49	48	236.17	265.19	123.38	
		48	50	235.48	265.42	124.75	
	9% TiO ₂	48	50	245.13	272.62	114.54	115.96
		48	50	243.99	273.12	121.38	
		50	50	244.56	272.55	111.96	

Fuente: Elaboración Propia

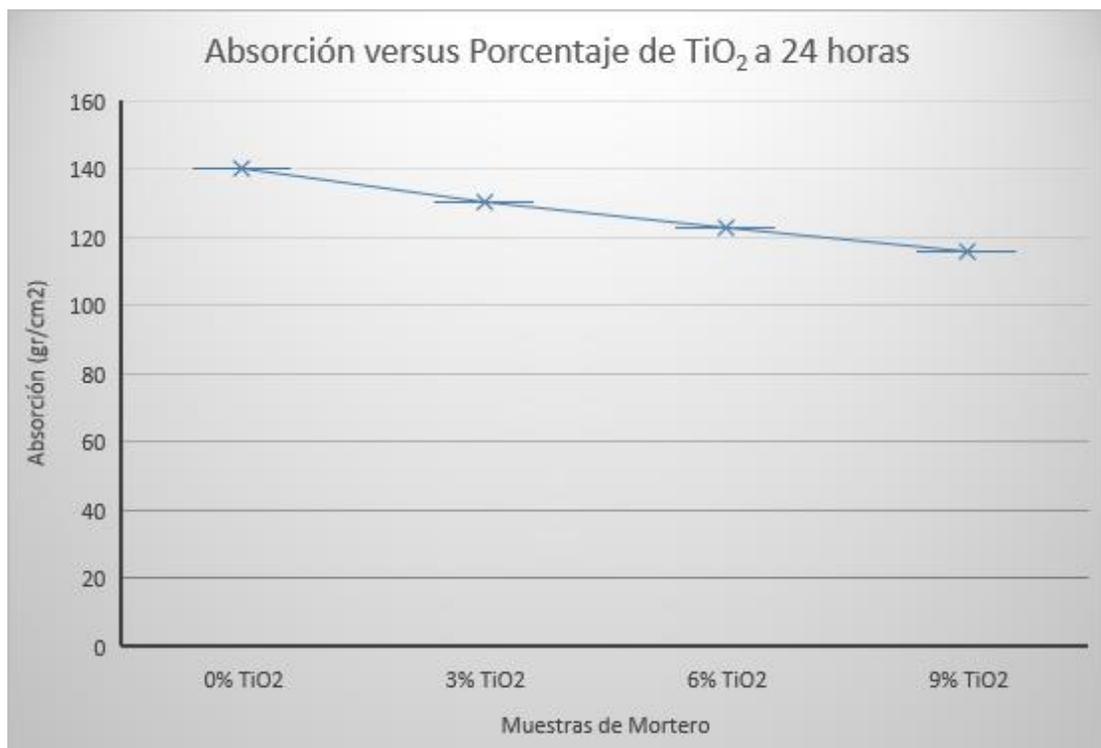


Gráfico 4. Ensayo de absorción versus Porcentaje de TiO₂ a 24 horas.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2. Ensayo de Fluides (NTP 334.057)

La capacidad del mortero de revestimiento para mantener la trabajabilidad y adherirse a superficies verticales donde se aplicará, es importante, porque existe una estrecha relación entre estas características, por lo que una buena trabajabilidad es directamente proporcional a una máxima adherencia.

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma NTP 334.057, para estimar el grado de fluides del mortero. Se realizaron mezclas de mortero según diseño, dichas mezclas fueron colocadas en la mesa de flujo de aproximadamente 25mm. La primera capa apisonándola 20 veces con el compactador, posteriormente se llenará completamente y apisonará como esta, el sobrante se retirará con una regla dejando la mesa de flujo al ras.

Luego se deja caer la mesa desde una altura de 13 mm, 25 veces en un tiempo de 15 segundos, a continuación, se mide los diámetros del mortero con ayuda de un vernier por las líneas señaladas en la plataforma, finalmente, se considerará el diámetro promedio, en la Figura 29 se observa el ensayo de fluides. Los resultados obtenidos del ensayo se muestran en la Tabla 30 y en el Gráfico 5.

Los parámetros utilizados para el cálculo fluides se determinaron mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 11.

Ensayo de Fluides

$$Fluides = \frac{(Diametro Promedio - Diametro base inferior)}{Diametro base inferior} * 100$$





Figura 29. Ensayo de Fluidez para las muestras de TiO_2 .
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30.

Influencia del aditivo TiO_2 en el ensayo de fluidez.

MUESTRA	DIAMETRO (mm)				DIAMETRO PROMEDIO (mm)	FLUIDEZ (%)	CONSISTENCIA
	1	2	3	4			
Patrón - 0% TiO_2	220	215	216	218	217.25	113.83	Plástica
3% TiO_2	210	212	208	211	210.25	106.94	Plástica
6% TiO_2	202	204	202	204	203.00	99.80	Seca
9% TiO_2	197	195	194	196	195.50	92.42	Seca

Fuente: Elaboración Propia

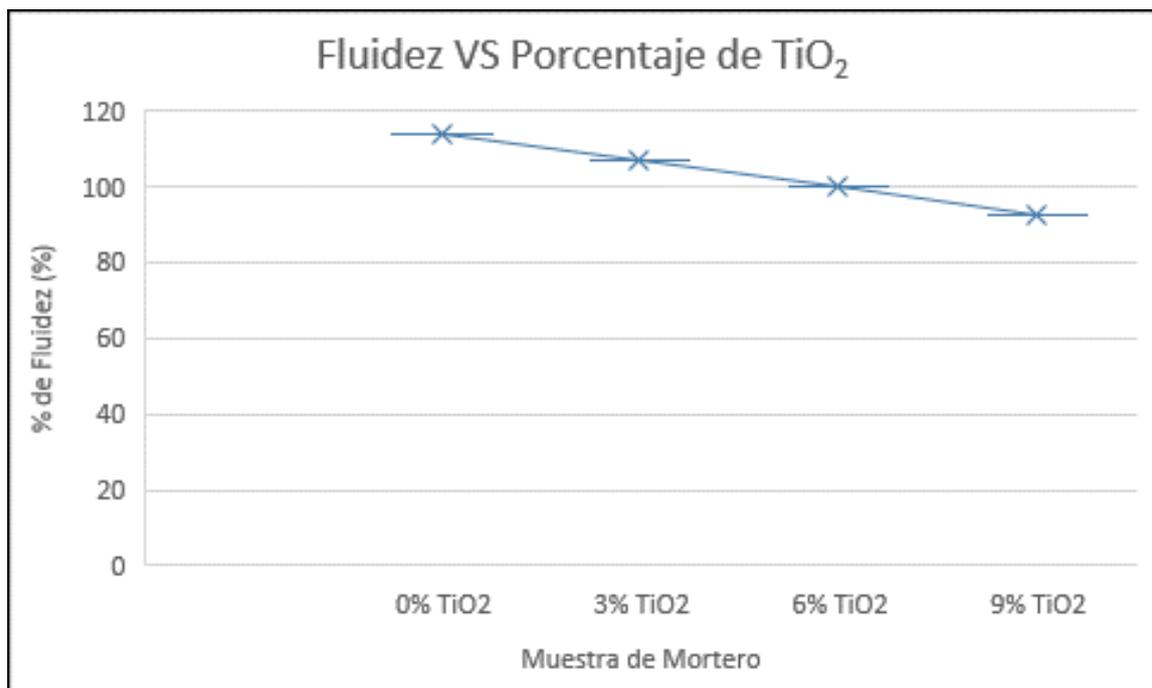


Gráfico 5. Ensayo de Fluidez versus Porcentaje de TiO_2 .
Fuente: Elaboración Propia

5.2.3. Resistencia a la Compresión (NTP 334.051)

La resistencia a la compresión es la propiedad del mortero para resistir la fuerza aplicada, depende del contenido de cemento y la relación A/C. La adherencia está relacionada con la resistencia a la compresión, porque cuanto menor es la resistencia, mayor es la adherencia. Para el mortero de revestimiento, una buena trabajabilidad y adherencia son más importantes que la resistencia a la compresión. (de la Sotta Monreal, 2010).

La norma ASTM C31, fue utilizada para los correctos procedimientos de preparación y curado de las muestras en especímenes cilíndricos representativos en estado fresco, para así poder asegurar el control de la idoneidad de dosificación de mezcla para la resistencia, su control de calidad y el tiempo de rotura.

La norma NTP 334.051, fue utilizada para el método de ensayo, determinando la resistencia a la compresión del mortero de cemento Portland utilizando especímenes cúbicos de 50 mm. de lado. En este estudio se moldearon 15 cubos para cada mezcla de mortero con diferentes porcentajes de TiO_2 , las edades de ensayo fueron de 1 día, 3 días, 7 días, 14 días y 28 días para cada 3 especímenes. El tiempo de rotura de 14 días se agregó, ya que, en la norma no lo indica, pero puede ayudar a detectar problemas potenciales relacionados con problemas de control de calidad del mortero que podría verificarse con anticipación.

La norma ACI 214 fue utilizada para el método estadístico para los ensayos de compresión, que se detalla con mayor detalle en el Capítulo VI.

La aplicación de la carga en la máquina de ensayo se realizó sobre la superficie de la muestra en contacto con la superficie plana del molde. Se puede ver el proceso de ejecución en la Figura 30. Los resultados obtenidos de la prueba se muestran en la Tabla 31 a la Tabla 35 y desde la Gráfica 6 hasta la Gráfica 10.



Figura 30. Ensayo de Resistencia a la Compresión para los diferentes morteros con TiO_2
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31.

Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de un día.

MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RANGO (8.7% Prom.)		RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)
		Max (Kg/cm ²)	Min (Kg/cm ²)	
Patrón - 0% TiO ₂	90.70	95.29	80.04	87.67
	84.30			
	88.00			
3% TiO ₂	79.40	88.99	74.74	81.87
	83.30			
	82.90			
6% TiO ₂	71.80	81.34	68.32	74.83
	76.50			
	76.20			
9% TiO ₂	63.10	72.10	60.56	66.33
	69.70			
	66.20			

Fuente: Elaboración Propia

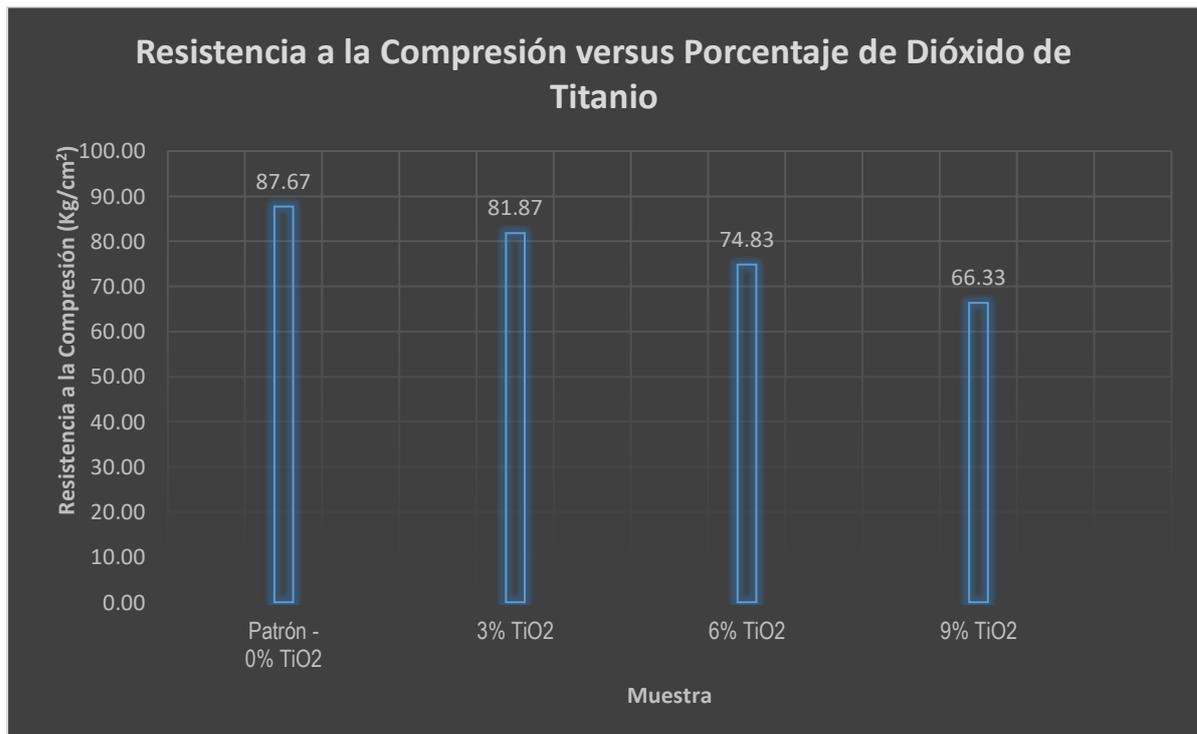


Gráfico 6. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de un día.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32.

Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de tres días.

MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RANGO (8.7% Prom.)		RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)
		Max (Kg/cm ²)	Min (Kg/cm ²)	
Patrón - 0% TiO ₂	130.40	142.07	119.33	130.70
	125.60			
	136.10			
3% TiO ₂	113.90	127.03	106.70	116.87
	116.80			
	119.90			
6% TiO ₂	100.30	113.05	94.95	104.00
	104.50			
	107.20			
9% TiO ₂	92.40	100.44	84.36	92.40
	88.70			
	96.10			

Fuente: Elaboración Propia

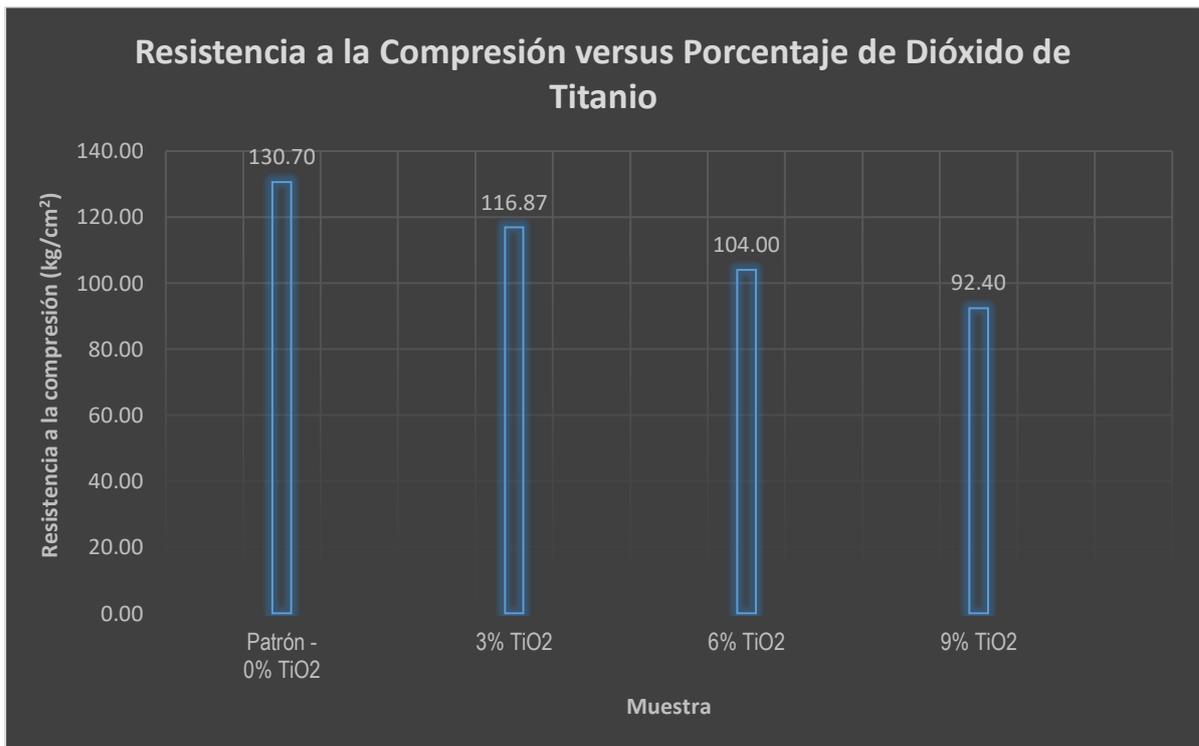


Gráfico 7. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de tres días.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33.

Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de siete días.

MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RANGO (8.7% Prom.)		RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)
		Max (Kg/cm ²)	Min (Kg/cm ²)	
Patrón - 0% TiO ₂	147.30	166.64	139.96	153.30
	159.70			
	152.90			
3% TiO ₂	143.10	160.55	134.85	147.70
	147.30			
	152.70			
6% TiO ₂	133.20	149.79	125.81	137.80
	137.90			
	142.30			
9% TiO ₂	115.50	129.35	108.65	119.00
	118.70			
	122.80			

Fuente: Elaboración Propia

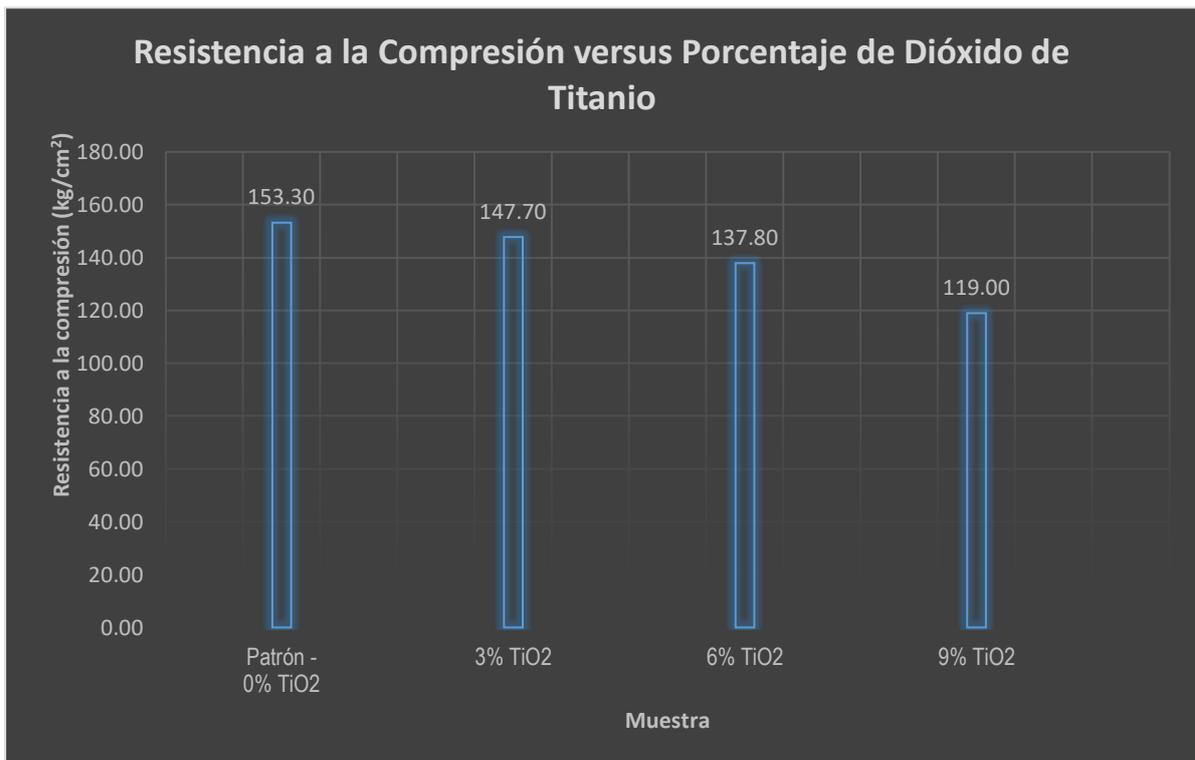


Gráfico 8. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de siete días.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34.

Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de catorce días.

MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RANGO (8.7% Prom.)		RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)
		Max (Kg/cm ²)	Min (Kg/cm ²)	
Patrón - 0% TiO ₂	160.70	180.55	151.65	166.10
	166.20			
	171.40			
3% TiO ₂	156.10	173.70	145.90	159.80
	163.80			
	159.50			
6% TiO ₂	155.70	166.38	139.75	153.07
	150.60			
	152.90			
9% TiO ₂	140.70	157.83	132.57	145.20
	149.50			
	145.40			

Fuente: Elaboración Propia

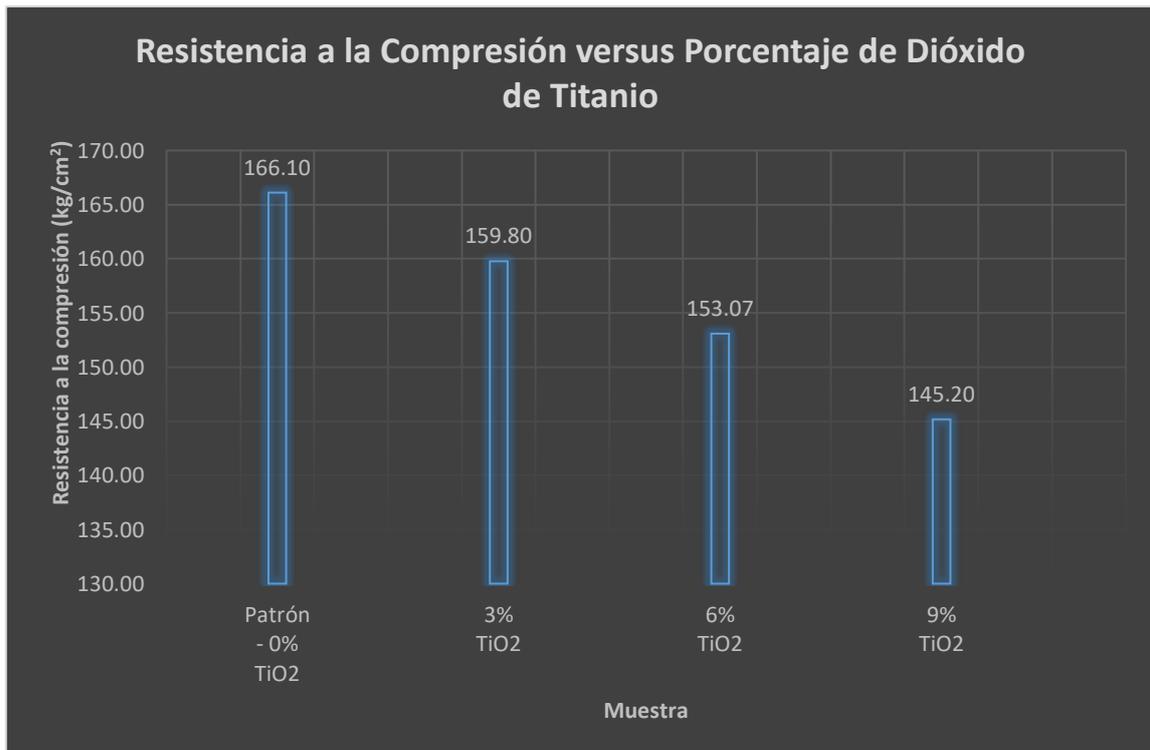


Gráfico 9. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de catorce días.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35.

Resistencia a la compresión de especímenes de mortero a la edad de veintiocho días.

MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RANGO (8.7% Prom.)		RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)
		Max (Kg/cm ²)	Min (Kg/cm ²)	
Patrón - 0% TiO ₂	177.50	198.59	166.81	182.70
	187.20			
	183.40			
3% TiO ₂	180.40	191.13	160.54	175.83
	174.10			
	173.00			
	168.40			
6% TiO ₂	165.70	182.98	153.69	168.33
	170.90			
	150.90			
	170.10			
9% TiO ₂	170.10	173.70	145.90	159.80
	158.40			

Fuente: Elaboración Propia

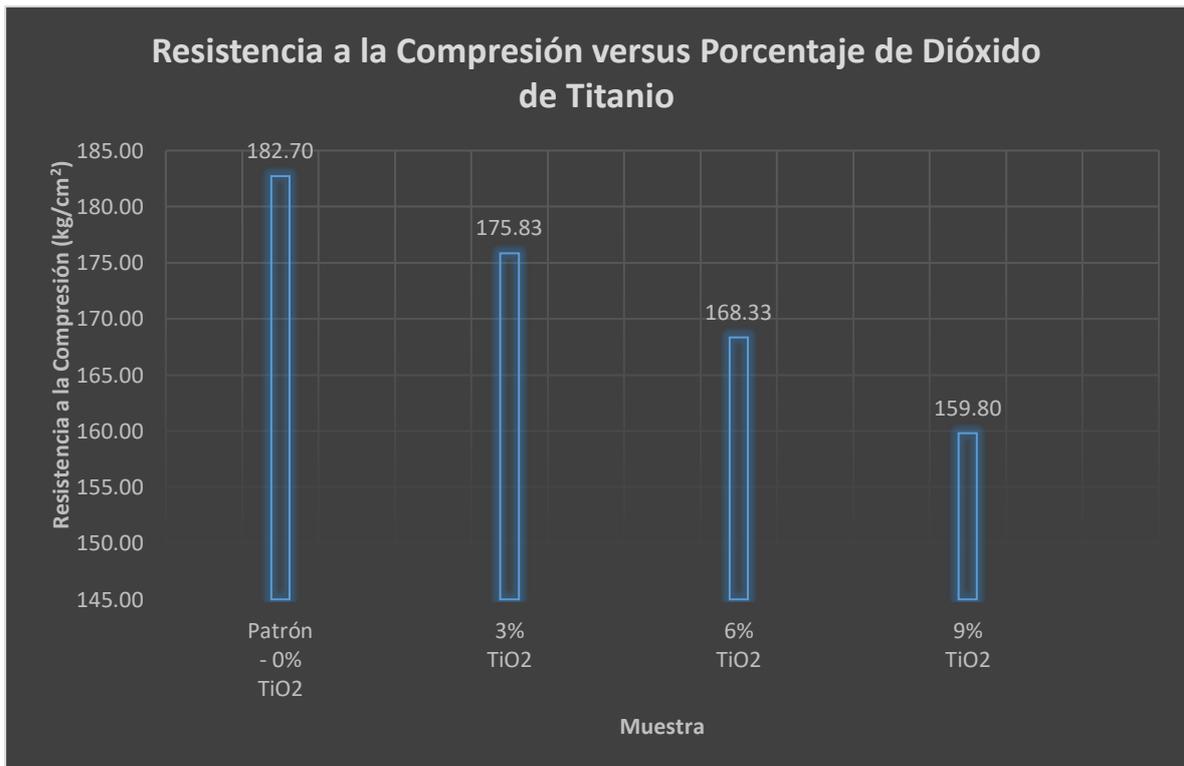


Gráfico 10. Ensayo de resistencia a la compresión versus Porcentaje de Dióxido de Titanio a la edad de veintiocho días.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4. Ensayo de Rodamina B (UNI 11259)

Uno de los materiales más utilizados para determinar la actividad fotocatalítica es la rodamina B, que es un colorante orgánico de color rojo. Su degradación indica si el material posee actividad fotocatalítica, además es resistente a la luz visible y es insoluble en medios alcalinos.

Generalmente, para determinar la degradación de la rodamina B, se pueden utilizar diferentes sistemas de medición del color. El sistema más utilizado en la industria de la construcción es el desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), donde las coordenadas colorimétricas están definidas por L*, a* y b*.

La coordenada L* representa la luminosidad, es decir, el brillo u oscuridad del material que se está midiendo. La coordenada a* representa la tendencia del material con tono rojo (a* positivo) o verde (a* negativo), y la coordenada b* representa la tendencia del tono amarillo (b* positivo) o azul (b* negativo).

El ensayo de rodamina B se realizó según la norma italiana UNI 11259, en la que se impregnó una cara del mortero de 50 mm. con Rodamina B, esta fue diluida a una concentración de 0,02 g / 100 mL, luego se expuso a rayos UV-A (onda larga), a una distancia de 50 cm., posteriormente mediante el uso del colorímetro se registraron los valores según el sistema de color CIE, la lámpara UV-A que se utilizó en la investigación fue Luz UV-A Philips 365nm 15w.

Las mediciones se realizaron al introducir la muestra (t = 0h), a las 4 horas y 26 horas para determinar el porcentaje de degradación del color, resultados que son necesarios para aplicar la fórmula del ensayo de rodamina. Para ello, se realizaron 3 ensayos por cada diseño de mezcla propuesto (el contenido de TiO₂ fue de 0%, 3%, 6% y 9%).

Para determinar la presencia de actividad fotocatalítica se calcularon los factores R4 y R26, que son los cambios en el factor a* durante 4 horas y 26 horas de exposición a UV frente a 0 horas. Para considerar al mortero como material fotocatalítico, el factor R4 debe ser superior al 20% y el factor R26 debe ser superior al 50%.

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

Ecuación 12.

Factor R4 de Actividad Fotocatalítica

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

Ecuación 13.

Factor R26 de Actividad Fotocatalítica

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

Se puede ver el proceso de ejecución en la Figura 31 y Figura 32. Los resultados obtenidos de la prueba se muestran en la Tabla 36 y Tabla 37, luego desde el Gráfico 11 al Gráfico 12.



Figura 31. Pintado de Probetas con Rodamina B.
Fuente: Elaboración Propia



- Exposición después de 4 horas a la luz UV.

- Exposición después de 26 horas a la luz UV.

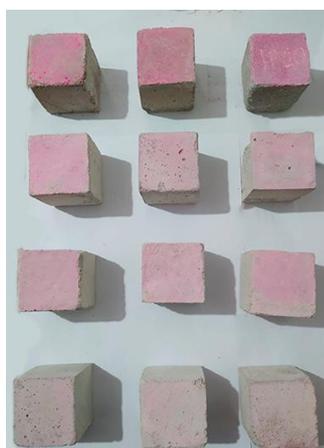


Figura 32. Exposición de Probetas a la luz UV – Ensayo de Rodamina B.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 36.*Ensayo de Rodamina B con una exposición a cuatro horas (UNI 11259)*

MUESTRA	a* (0h)	a* (4h)	R4%	PROMEDIO R4%
	23.48	22.44	4.43%	
0% TiO ₂	28.21	26.32	6.70%	6.34%
	25.10	23.12	7.89%	
	25.36	19.33	23.78%	
3% TiO ₂	22.63	16.21	28.37%	27.92%
	18.51	12.66	31.60%	
	21.99	13.65	37.93%	
6% TiO ₂	18.32	10.95	40.23%	44.93%
	16.96	7.355	56.63%	
	15.95	7.48	53.10%	
9% TiO ₂	13.11	6.23	52.48%	51.78%
	17.12	8.6	49.77%	

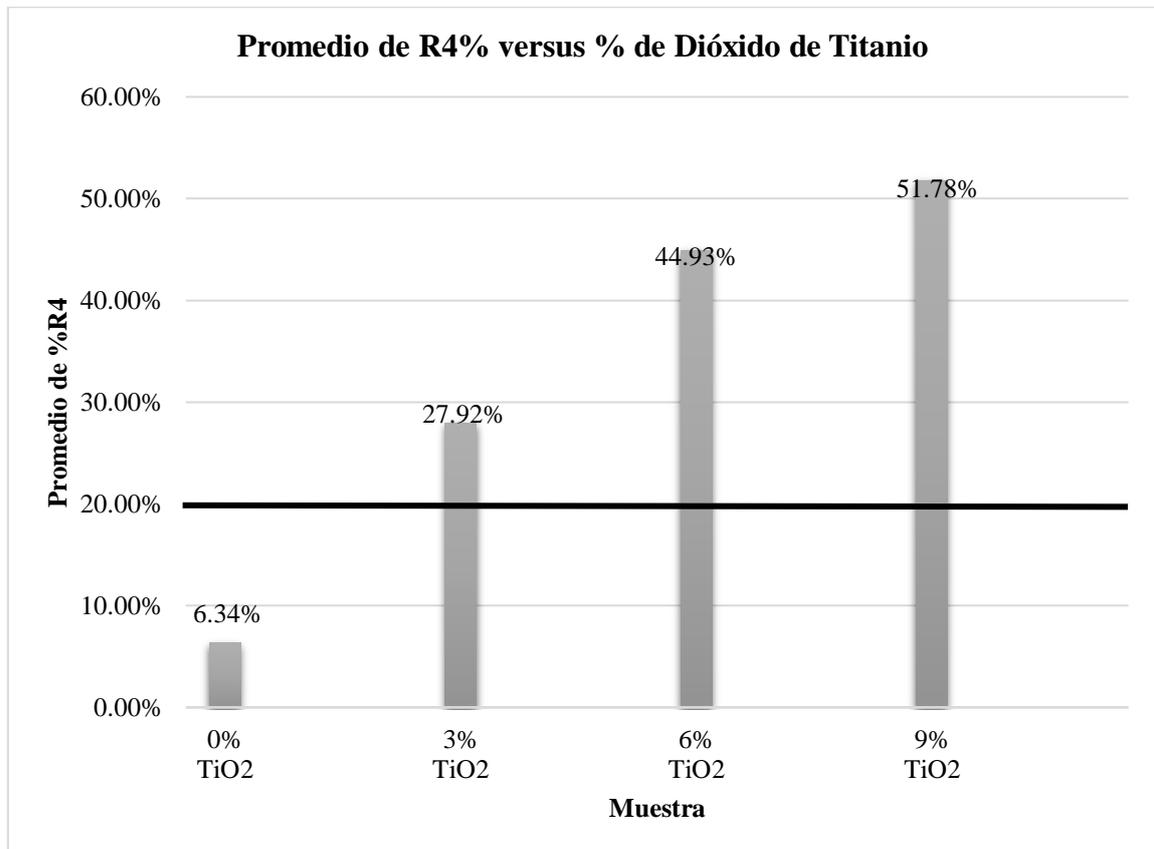
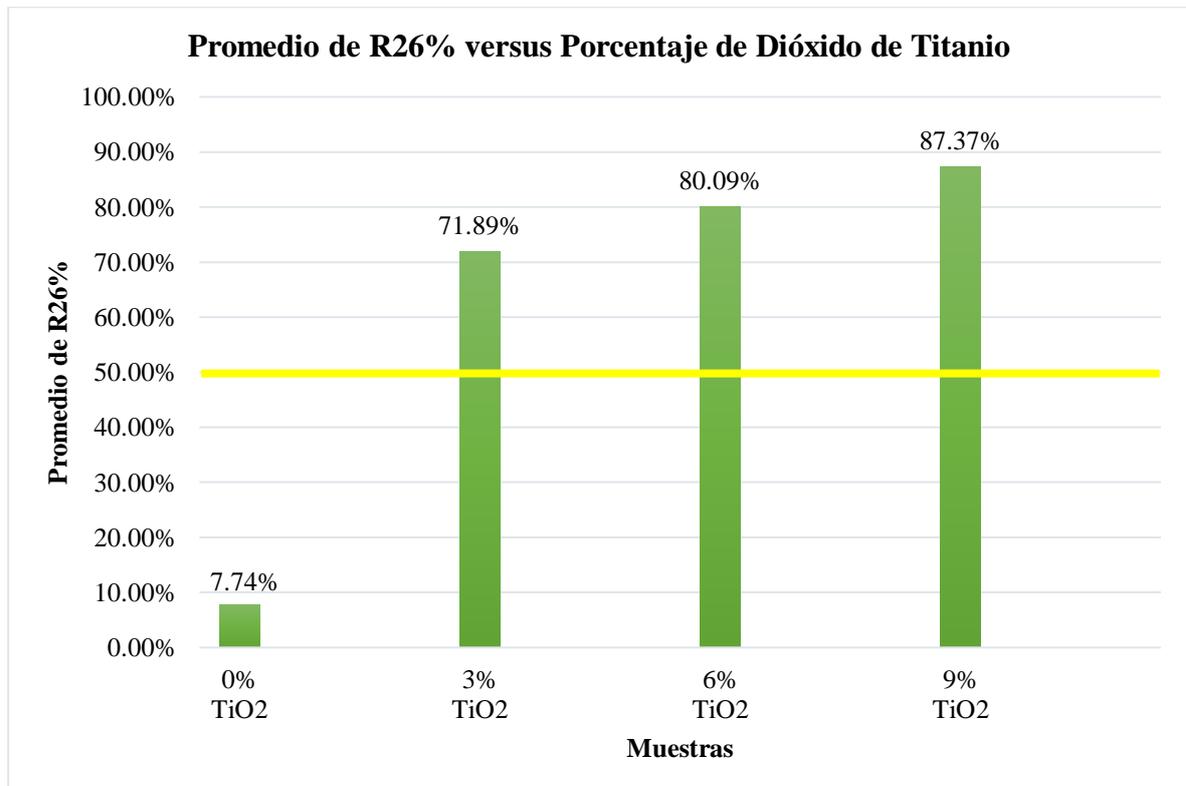
Fuente: Elaboración Propia**Gráfico 11.** Ensayo de Rodamina B con una exposición a cuatro horas (UNI 11259)*Fuente:* Elaboración Propia

Tabla 37.*Ensayo de Rodamina B con una exposición a veintiséis horas (UNI 11259)*

MUESTRA	a* (0h)	a* (26h)	R26%	PROMEDIO R26%
	23.48	22.11	5.83%	
0% TiO ₂	28.21	25.96	7.98%	7.74%
	25.10	22.74	9.40%	
	25.36	7.15	71.81%	
3% TiO ₂	22.63	5.42	76.05%	71.89%
	18.51	5.96	67.80%	
	21.99	4.63	78.94%	
6% TiO ₂	18.32	3.92	78.60%	80.09%
	16.96	2.93	82.72%	
	15.95	1.75	89.03%	
9% TiO ₂	13.11	1.63	87.57%	87.37%
	17.12	2.48	85.51%	

Fuente: Elaboración Propia**Gráfico 12.** Ensayo de Rodamina B con una exposición a veintiséis (26) horas (UNI 11259)*Fuente:* Elaboración Propia

5.2.5. Intemperismo

El mortero aplicado a la fachada del muro exterior suele estar expuesto a condiciones ambientales naturales como la radiación solar, la temperatura y la humedad. Del mismo modo, la contaminación ambiental también puede afectar las paredes exteriores de los edificios. Este proceso causa daños estéticos y cambiar negativamente las características del entorno urbano.

La deposición y adhesión de partículas contaminantes se ve afectadas por varios factores, como factores climáticos que son el viento, las tormentas impulsadas por el viento, y el exceso de estas últimas generará escurrimiento que será absorbido continuamente por el material de recubrimiento durante el movimiento descendente del material de recubrimiento. En lo que respecta a Arequipa, la mayor humedad relativa ocasionada por las lluvias en los meses de enero a marzo, la contaminación por las fábricas y alto tránsito de los vehículos aumentan la suciedad en muros exteriores.

La Asociación Iberoamericana de Fotocatálisis (AIF) señaló que la fotocatalisis es una reacción de oxidación que se produce cuando la radiación solar activa un catalizador como el TiO_2 en presencia de oxígeno, para que la reacción de descomposición y eliminación de contaminantes ocurra, se debe adsorber las moléculas contaminantes sobre la superficie del catalizador.

Para el ensayo de intemperismo, se realizaron 4 paneles con diferentes porcentajes de TiO_2 (0%, 3%, 6% y 9%) y estos se expusieron durante 4 meses, esto nos permitirá evaluarlos de acuerdo con el ataque físico que fue producido debido al clima de Arequipa, que tiene cambios de temperatura y humedad propios de la ciudad según el mes del año.

El proceso que se realizó para la construcción de los paneles se observa en la Figura 33.



Figura 33. Elaboración de Paneles con diferentes porcentajes de TiO_2 .

Fuente: Elaboración Propia

5.2.6. Comportamiento Autolimpiante

Además de la prueba de intemperismo, se realizó una prueba adicional para observar su comportamiento autolimpiante, esta prueba se realizó de forma experimental mas no es concluyente.

El proceso que se realizó para esta prueba fue el siguiente:

- 1) Se ejecutó 4 diseños de mezcla con 0%, 3%, 5% y 9% de TiO_2 , posteriormente se dejó fraguar en un molde cuadrado por un día.
- 2) Posteriormente se les colocó 4 diferentes pigmentos en la superficie, con una concentración de 0.10 gr /100 mL, que fueron:

- Pigmento del Vino Tinto - Antocianos.
 - Pigmento - Anilina diluida en Agua.
 - Pigmento del Café diluido en Agua - Melanoidinas.
 - Pigmento del Pasto licuado - Clorofila.
- 3) Finalmente, se realizó la inspección visual cada hora, con exposición constante al sol para ver su reacción autolimpiante.

La Figura 34 es obtenida a las 0 horas de la exposición con el sol.



Figura 34. Mortero con diferentes pigmentos adheridos – Cero horas

Fuente: Elaboración Propia

5.2.7. Análisis de Costos

Con el fin de evaluar la rentabilidad generada por el uso de dióxido de titanio en la industria de la construcción, se realizó un análisis económico del mortero adicionado con dióxido de titanio.

El precio de los insumos utilizados en la preparación del mortero, se muestra en la Tabla 38, estos se obtuvieron de la base de datos de Promart, el 3 de marzo de 2021; con respecto al costo del dióxido de titanio, se obtuvo de acuerdo con la compra de dióxido de titanio suministrada por la empresa AQCIATEX.

Para el proceso de análisis económico, se utilizaron todos los insumos necesarios para la obtención de mortero ordinario, variando solo la cantidad de aditivo en cada diseño, por lo que el aumento económico, se debe sustancialmente al aumento del porcentaje del dióxido de titanio.

Tabla 38.

Costo de los Precios Unitarios para la producción de morteros.

Concepto	Unidad	P.U.
Cemento Yura I de 42.5 Kg	Bolsa	23.00
Arena	m ³	60.00
Dióxido de Titanio	kg	27.30

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la Tabla 38 se obtuvo el precio para cada diseño de mezcla, que se observa en la Tabla 39.

Tabla 39.

Costo Unitario para 1m³ de mortero para cada diseño, Arequipa – Diciembre 2020.

TIPO DE MEZCLA	COSTO DEL MORTERO POR M ³						Total (S/m ³)	Diferencia (S/m ³)	% Respecto al Patrón
	Cemento		Arena		Dióxido de Titanio				
	Peso (kg)	Costo (S/)	Peso (kg)	Costo (S/)	Peso (kg)	Costo (S/)			
0%	417.98	226.20	1,407.99	60.00	-	0.00	286.20	0.00	100%
3%	417.98	226.20	1,407.99	60.00	12.54	342.33	628.53	342.33	220%
6%	417.98	226.20	1,407.99	60.00	25.08	684.66	970.86	684.66	339%
9%	417.98	226.20	1,407.99	60.00	37.61	1026.98	1313.19	1026.98	459%

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1. ENSAYOS REALIZADOS

6.1.1. Ensayo de Absorción

En la Tabla 27 a la Tabla 29, se aprecia la absorción de los 4 diseños de mezcla con diferentes proporciones de aditivo y sin aditivo.

Se observó que apenas las probetas entraron en contacto con el agua, la mayor absorción la obtuvo el MORTERO PATRÓN (0% de TiO_2) con un porcentaje de 12.67%, por otra parte, el menor porcentaje de absorción lo obtuvo el MORTERO CON 9% DE TiO_2 con un 7.13%.

En la Tabla 40 y el Gráfico 13, se observa la tasa de absorción de agua a 0 horas, 1.4 horas y 24 horas, además del tiempo acumulado en porcentaje.

Tabla 40.

Tasa de Absorción de agua en función al tiempo.

MUESTRA	TIEMPO EN HORAS			TIEMPO EN PORCENTAJE		
	0 h	1.4 h	24 h	0 h	1.4 h	24 h
Patrón - 0% TiO_2	17.8	32.02	140.52	12.67%	22.79%	100.00%
3% TiO_2	14.9	29.03	130.60	11.41%	22.23%	100.00%
6% TiO_2	12.1	26.25	122.77	9.86%	21.38%	100.00%
9% TiO_2	8.27	23.72	115.96	7.13%	20.46%	100.00%

Fuente: Elaboración Propia

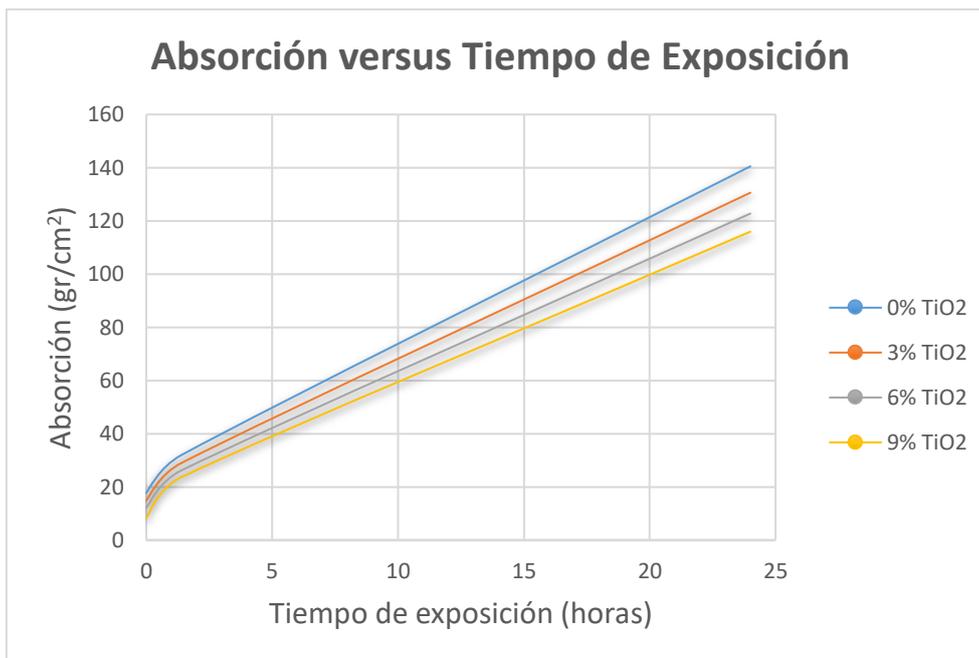


Gráfico 13. Tasa de Absorción versus Tiempo de Exposición.

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los puntos anteriormente mencionados, podemos interpretar que a medida que se aumenta en el diseño de mezcla el aditivo, dióxido de titanio (TiO₂), este ayuda a disminuir la absorción debido a que adquiere la propiedad de impermeabilidad, haciendo que sus poros se cierren, dificultando así el ingreso de agua a la probeta, y así mejorando su durabilidad.

6.1.1.1. Análisis ANOVA (Análisis de la Varianza con un Factor)

El análisis de varianza de un factor (ANOVA) se utiliza para comparar variables cuantitativas en múltiples grupos. Por tanto, este es el caso de extender la prueba T de dos muestras independientes a un diseño con más de dos muestras.

Nos referimos a las variables categóricas (nominales u ordinales) que definen los grupos que deseamos comparar como variables o factores independientes, y la denotamos por VI. A la variable cuantitativa (de intervalo o razón) en la que deseamos comparar los grupos, la llamamos dependiente, y se denota por VD.

El ANOVA nos permite concluir si los factores sujetos a diferentes programas difieren en las medidas de rendimiento utilizadas.

La hipótesis que se pone a prueba en el ANOVA es que las medias poblacionales son iguales. Si estas son iguales, significa que no hay diferencia en la VD, por lo que la VI o el factor es independiente de la VD.

La estrategia para probar la hipótesis de igualdad de medias, consiste en obtener un estadístico denominado F, que refleja el grado de similitud entre las medias que se comparan. El numerador del estadístico F es una estimación de la varianza poblacional basada en la variabilidad

que existe entre las medias de cada grupo. El denominador del estadístico F, también es una estimación de la varianza poblacional, pero se basa en la variabilidad existente dentro de cada grupo. Cuanto más diferentes sean las medias, mayor será el valor de F.

Si el nivel crítico asociado al estadístico F es menor que 0.05, rechazaremos la hipótesis de igualdad de medias y concluiremos que no todas las medias poblacionales comparadas son iguales. De lo contrario, no podremos rechazar la hipótesis de igualdad y no podremos afirmar que los grupos comparados sean diferentes en sus promedios poblacionales.

El estadístico F es el cociente entre dos estimadores diferentes de la varianza poblacional.

Uno de estos estimadores se obtiene a partir de la variación existente entre las medias de los grupos (variación entre-grupos). Otro estimador se obtiene de la variación que existe entre las puntuaciones dentro de cada grupo (variación intra-grupos).

Las siguientes tablas muestran: la cuantificación de las dos fuentes de variación (suma de cuadrados), los grados de libertad asociados con cada suma de cuadrados (gl) y el valor específico utilizado por cada estimador de varianza poblacional (medias cuadráticas, obtenida por división entre la suma de cuadrados y sus grados de libertad).

El cociente entre estas dos medias cuadráticas, nos proporciona el valor del estadístico F, que va acompañado de su correspondiente nivel crítico o nivel de significancia observado (Valor-P.). Es decir, la probabilidad de obtener valores como el obtenido o mayores bajo la hipótesis de igualdad de medias. (Universidad de Cádiz, 2002).

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 27 a la Tabla 29, se procedió a realizar el análisis ANOVA, para comparar los diferentes porcentajes de absorción para cada diseño de mezcla. Para este análisis, se utilizó el Software StatGraphics Centurion versión 16.

a) Procesamiento de Datos a las 0.25h

Se obtuvo la Tabla 41 de los datos a las 0.25h para ser procesados en el programa.

Tabla 41.*Datos para el ANOVA a las 0.25h de ser sumergidos.*

Diseño de Mezcla	Absorción (gr/cm ²)
0% de TiO ₂	15.17
0% de TiO ₂	20.28
0% de TiO ₂	17.96
3% de TiO ₂	14.20
3% de TiO ₂	16.66
3% de TiO ₂	13.84
6% de TiO ₂	13.37
6% de TiO ₂	12.17
6% de TiO ₂	10.76
9% de TiO ₂	7.20
9% de TiO ₂	8.67
9% de TiO ₂	8.94

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 42.

Tabla 42.*Tabla ANOVA para Ensayo de Absorción por Diseño de Mezcla a las 0.25h.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	148.731	3	49.5769	17.27	0.0007
Intra grupos	22.9713	8	2.87141		
Total (Corr.)	171.702	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 42 ANOVA, descompone la varianza de Ensayo de Absorción en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 17.2657, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Ensayo de Absorción entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

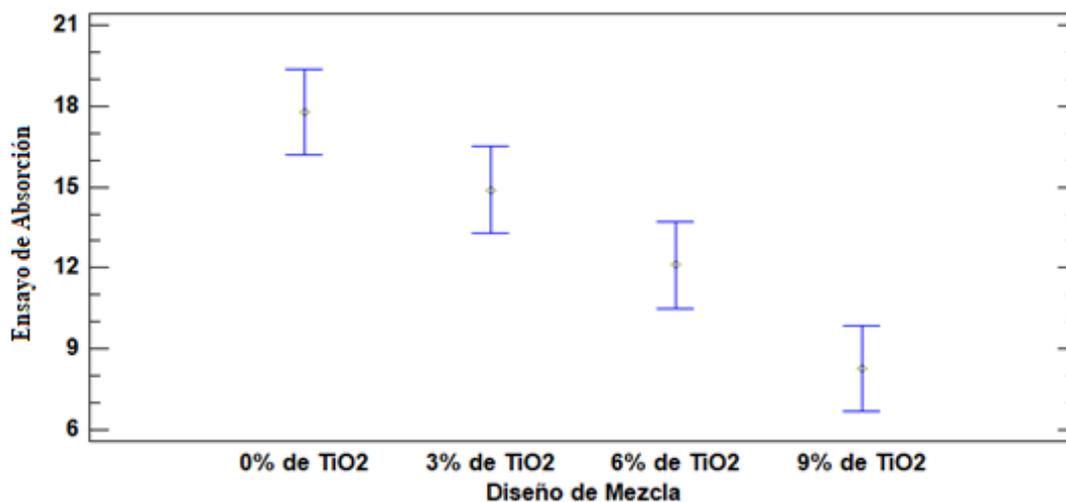


Gráfico 14. Medias y 95% de Fisher LSD (Least Significant Difference) a las 0.25h de ser sumergido.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 14, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO_2 tuvo la mayor absorción y el diseño de mezcla con 9% de TiO_2 tuvo la menor absorción. Nuevamente con esta gráfica se interpreta que a medida que se agrega un mayor porcentaje de aditivo, se disminuye la absorción de la probeta.

b) Procesamiento de Datos a las 1.4 h

Tabla 43.

Datos para el ANOVA a las 1.4h de ser sumergidos.

Diseño de Mezcla	Absorción (gr/cm^2)
0% de TiO_2	32.60
0% de TiO_2	34.38
0% de TiO_2	29.08
3% de TiO_2	27.47
3% de TiO_2	29.22
3% de TiO_2	30.40
6% de TiO_2	24.57
6% de TiO_2	25.64
6% de TiO_2	28.53
9% de TiO_2	22.82
9% de TiO_2	25.99
9% de TiO_2	22.36

Fuente: Elaboración Propia

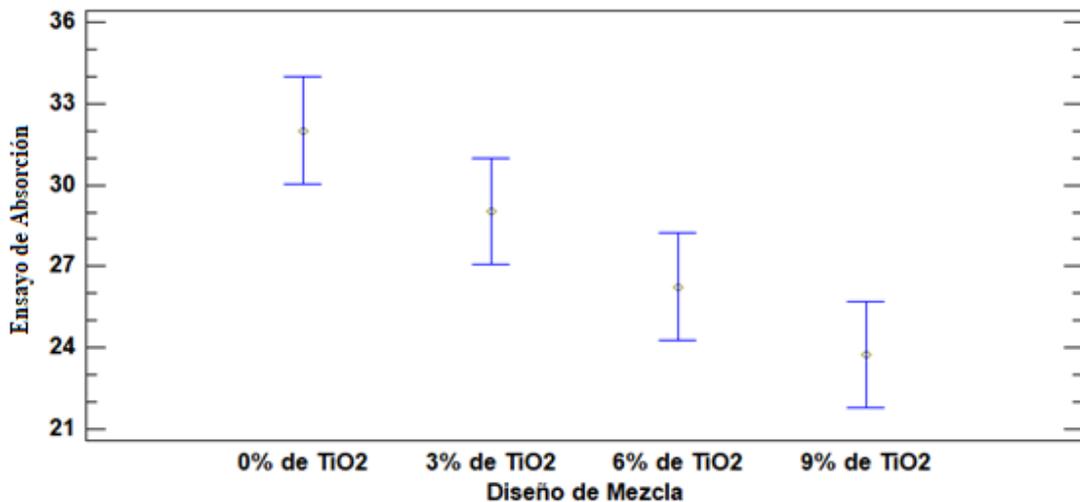
A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 44.

Tabla 44.*Tabla ANOVA para Ensayo de Absorción por Diseño de Mezcla a las 1.4h.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	115.036	3	38.3453	8.74	0.0066
Intra grupos	35.1015	8	4.38769		
Total (Corr.)	150.137	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 44 ANOVA descompone la varianza de Ensayo de Absorción en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 8.73928, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Ensayo de Absorción entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

**Gráfico 15.** Medias y 95% de Fisher LSD a las 1.4h de ser sumergido.*Fuente:* StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 15, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO_2 tuvo la mayor absorción y el diseño de mezcla con 9% de TiO_2 tuvo la menor absorción. Nuevamente con esta gráfica se interpreta que a medida que se agrega un mayor porcentaje de aditivo, se disminuye la absorción de la probeta.

c) **Procesamiento de Datos a las 24h**

Tabla 45.

Datos para el ANOVA a las 24h de ser sumergidos.

Diseño de Mezcla	Absorción (gr/cm²)
0% de TiO ₂	140.04
0% de TiO ₂	139.37
0% de TiO ₂	142.14
3% de TiO ₂	123.33
3% de TiO ₂	132.63
3% de TiO ₂	135.85
6% de TiO ₂	120.18
6% de TiO ₂	123.38
6% de TiO ₂	124.75
9% de TiO ₂	114.54
9% de TiO ₂	121.38
9% de TiO ₂	111.96

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 46.

Tabla 46.

Tabla ANOVA para Ensayo de Absorción por Diseño de Mezcla a las 24h.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1003.81	3	334.603	18.20	0.0006
Intra grupos	147.107	8	18.3884		
Total (Corr.)	1150.92	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 46 ANOVA descompone la varianza de Ensayo de Absorción en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 18.1965, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Ensayo de Absorción entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

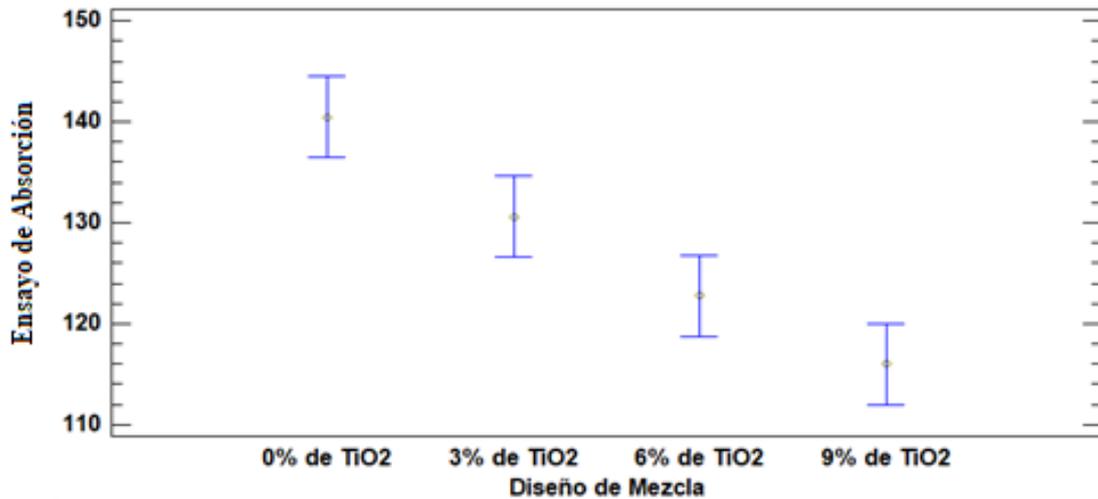


Gráfico 16. Medias y 95% de Fisher LSD a las 24h de ser sumergido.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 16, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO₂, tuvo la mayor absorción y el diseño de mezcla con 9% de TiO₂ tuvo la menor absorción. Nuevamente con esta gráfica, se interpreta que a medida que se agrega un mayor porcentaje de aditivo, se disminuye la absorción de la probeta.

6.1.2. Ensayo de Fluidéz

En la Tabla 30 se muestra la fluidéz obtenida de los 4 diseños de mezcla con diferentes proporciones de aditivo y sin aditivo. Se observó que la mejor trabajabilidad la obtuvo el MORTERO PATRÓN (0% de TiO₂) con un porcentaje de fluidéz de 113.83%, por otra parte, la menor trabajabilidad la obtuvo el MORTERO CON 9% DE TiO₂ con un porcentaje 92.42%.

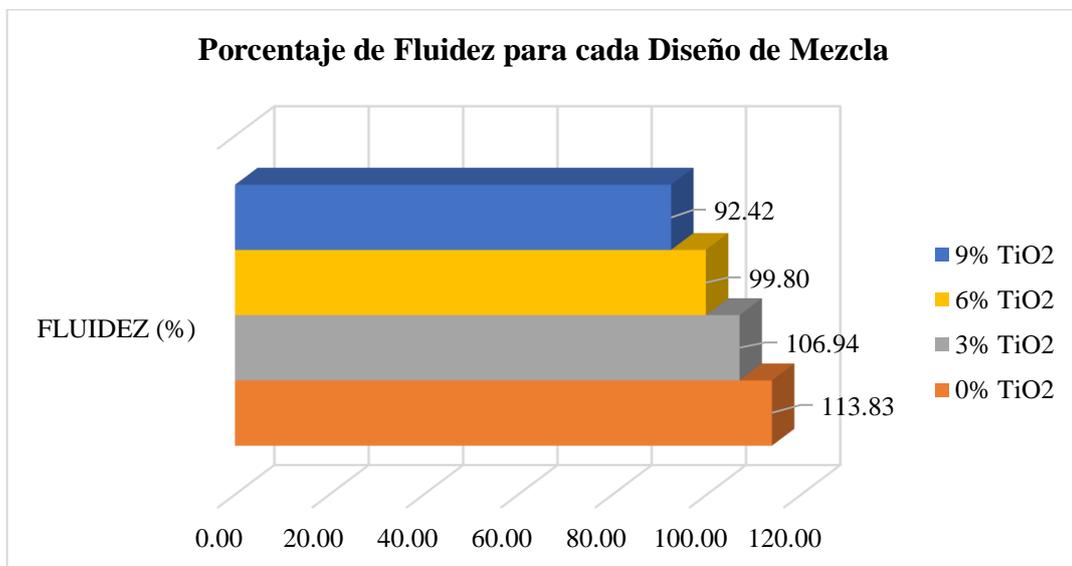


Gráfico 17. Porcentaje de Fluidéz para Cada Diseño de Mezcla.
Fuente: Elaboración Propia

A partir del anterior enunciado y del Gráfico 17, podemos interpretar que a medida que se aumenta en el diseño de mezcla el aditivo dióxido de titanio (TiO_2), este disminuye la fluidez obteniendo una consistencia más seca.

6.1.2.1. Análisis ANOVA

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 30, se procedió a realizar el análisis ANOVA, para comparar los diferentes valores de fluidez para cada diseño de mezcla. Para este análisis, se utilizó el Software StatGraphics Centurion versión 16.

a) Procesamiento de Datos

Se obtuvo la Tabla 47 de los datos del ensayo de fluidez para ser procesados en el programa.

Tabla 47.

Datos para el ANOVA del Ensayo de Fluidez.

Diseño de Mezcla	Ensayo de Fluidez (%)
0% de TiO_2	116.54
0% de TiO_2	111.61
0% de TiO_2	112.60
0% de TiO_2	114.57
3% de TiO_2	106.69
3% de TiO_2	108.66
3% de TiO_2	104.72
3% de TiO_2	107.68
6% de TiO_2	98.82
6% de TiO_2	100.79
6% de TiO_2	98.82
6% de TiO_2	100.79
9% de TiO_2	93.90
9% de TiO_2	91.93
9% de TiO_2	90.94
9% de TiO_2	92.91

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 48.

Tabla 48.

Tabla ANOVA para Ensayo de Fluidez por Diseño de Mezcla.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1018.76	3	339.588	129.07	0.0000
Intra grupos	31.5718	12	2.63098		
Total (Corr.)	1050.34	15			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 48 ANOVA descompone la varianza de Ensayo de Fluidez en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 129.073, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Ensayo de Fluidez entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

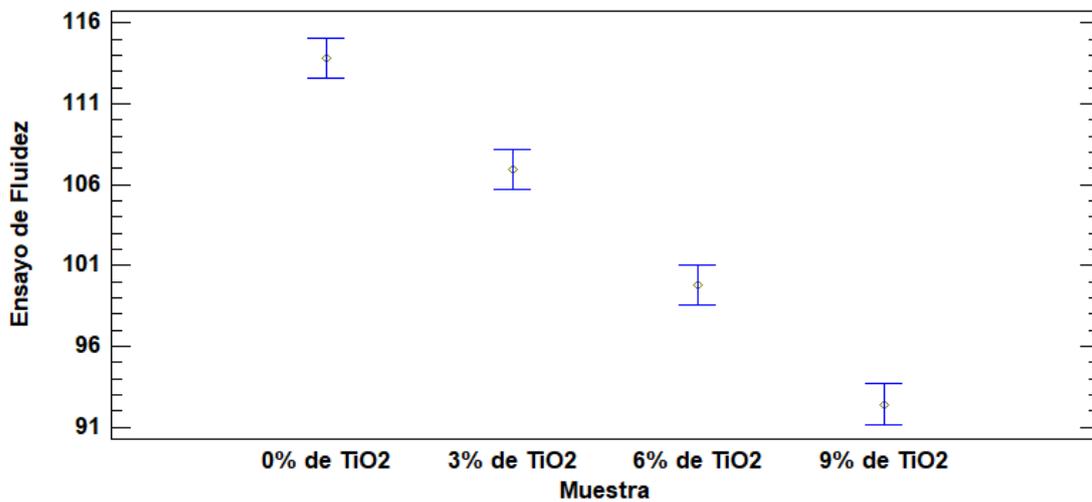


Gráfico 18. Medias y 95% de Fisher LSD para el Ensayo de Fluidez.

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 18, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO₂ tuvo la fluidez más plástica y el diseño de mezcla con 9% de TiO₂ tuvo la fluidez más seca. Nuevamente con esta gráfica se interpreta que a medida que se agrega un mayor porcentaje de aditivo, se disminuye la plasticidad de la muestra.

6.1.3. Resistencia a la Compresión

De la Tabla 31 a la Tabla 35, se puede apreciar los valores del ensayo de resistencia a la compresión obtenida de los 4 diseños de mezcla con diferentes proporciones de aditivo y sin aditivo, a los 1, 3, 7, 14 y 28 días.

Se observó que la mejor resistencia a la compresión, siempre la obtuvo en primer lugar el MORTERO PATRÓN (0% de TiO₂) con una resistencia a los 28 días de 182.70 kg/cm², en segundo lugar, estuvo el diseño con 3% de TiO₂ con una resistencia de 175.83 kg/cm², en tercer lugar, el diseño con 6% de TiO₂ con una resistencia de 168.33 kg/cm², y finalmente el diseño con 9% de TiO₂ con una resistencia de 159.80 kg/cm².

Tabla 49.

Resistencia a la Compresión para cada Diseño de Mezcla.

EDAD (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (KG/CM ²)			
	0% de TiO ₂	3% de TiO ₂	6% de TiO ₂	9% de TiO ₂
1	87.67	81.87	74.83	66.33
3	130.70	116.87	104.00	92.40
7	153.30	147.70	137.80	119.00
14	166.10	159.80	153.07	145.20
28	182.70	175.83	168.33	159.80

Fuente: Elaboración Propia

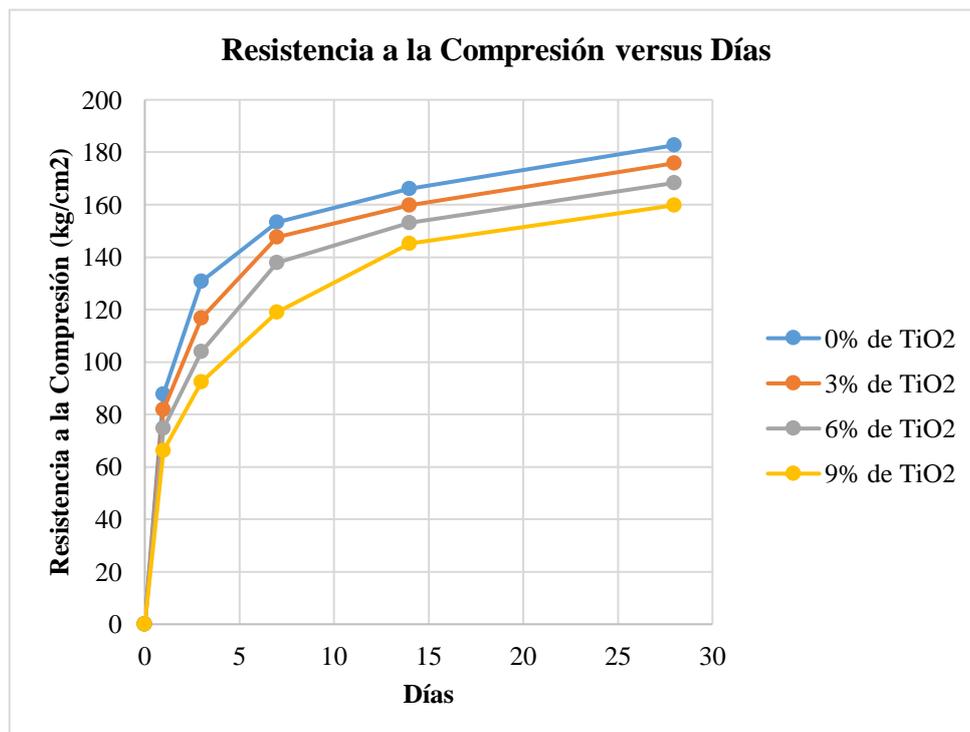


Gráfico 19. Resistencia a la Compresión versus Días.

Fuente: Elaboración Propia

A partir del anterior enunciado, la Tabla 49 y la Gráfico 19, podemos interpretar que a medida que se aumenta en el diseño de mezcla el aditivo, dióxido de titanio (TiO_2), este disminuye la resistencia a la compresión, pudiendo perjudicar a la durabilidad del mortero.

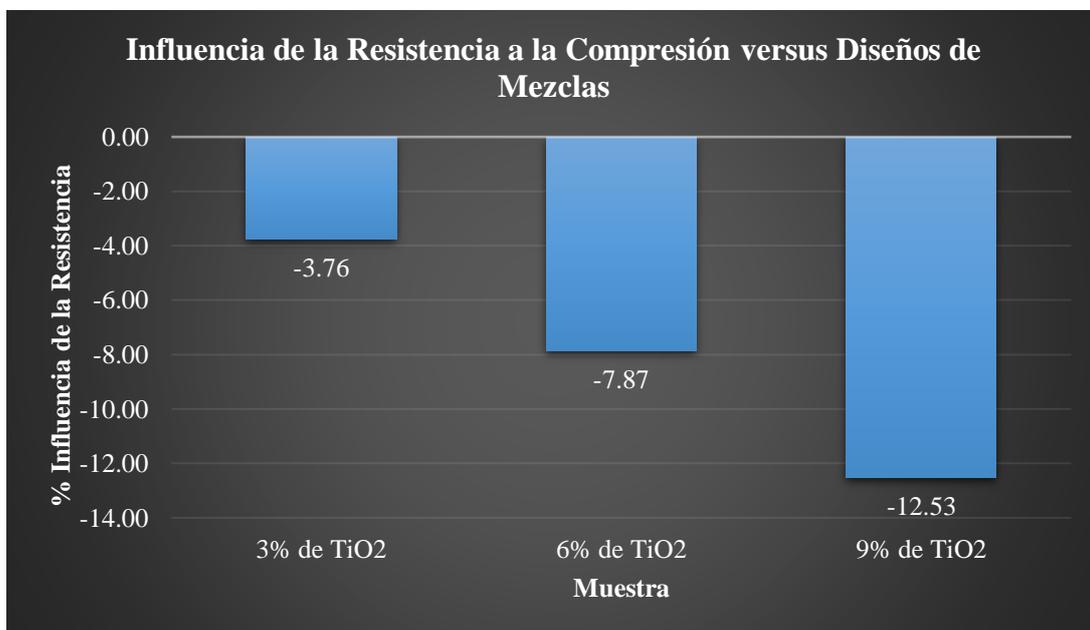


Gráfico 20. Influencia de la Resistencia a la Compresión versus Diseños de Mezclas
Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico 20, se puede observar una disminución en la resistencia de 3.76%, 7.87% y 12.53% para el Mortero con 0% de TiO_2 , 3% de TiO_2 , 6% de TiO_2 y 9% de TiO_2 respectivamente, para una edad de curado de 28 días, se demuestra una disminución poco significativa de la resistencia por la inclusión del aditivo, ya que, como se describió anteriormente el dióxido de titanio es utilizado como aditivo autolimpiante y con más pros que contras; por lo tanto, si deseamos tener mejores beneficios debemos utilizar en bajo porcentaje el aditivo en mención, en nuestro caso el diseño de mezcla de 3% con TiO_2 .

6.1.3.1. Control de Calidad

Para controlar adecuadamente la calidad de las muestras, se utilizó la norma ACI 214. Para obtener la máxima información, se debe realizar una cantidad suficiente de pruebas, para así, comprender los cambios en el mortero elaborado, y posteriormente utilizar los procedimientos estadísticos adecuados que se utilizarán para interpretar los resultados de las pruebas.

Los procedimientos estadísticos, proporcionan la mejor herramienta para determinar la resistencia, la calidad potencial del mortero y expresar los resultados de la manera más útil.

La resistencia del mortero suele aumentar con la edad. Este aumento ocurre velozmente en los primeros días después de la colocación, y se vuelve más gradual con el tiempo y seguirá aumentando en una pequeña proporción durante un período de tiempo indefinido. La resistencia a la compresión del mortero a los 28 días se determina mediante ensayos estandarizados, asumiendo que se ha curado correctamente, y se suele utilizar como indicador de calidad.

Realizando un cierto número de pruebas en las muestras de mortero y ubicando en un gráfico donde la resistencia a la compresión corresponde a la coordenada x, y la frecuencia establecida en la coordenada y. En el gráfico se observa que tienen resistencias menores que el valor promedio, y mayores que el valor promedio.

Siguiendo los requisitos del American Concrete Institute en ACI 214 R, el valor de la desviación estándar se obtiene mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 14.

Desviación Estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum \bar{X}_i)^2}{n}}{n - 1}}$$

Donde, “s” es desviación estándar, n es el número total de pruebas, X_i es la resistencia promedio del número de cilindros ensayados, en este caso 3, y \bar{X}_i es el valor promedio de X_i , es decir, el valor promedio de todas las pruebas.

NOTA: Cuando el número de resultados de pruebas disponibles es inferior a 30, se necesita un enfoque más conservador. ACI 318 permite registros de prueba; sin embargo, el valor de la desviación estándar de la muestra debe aumentarse hasta en un 16% para tener en cuenta una mayor incertidumbre en la desviación estándar estimada de la población.

De acuerdo con (Rivera, 2010), el valor “s” utilizado en la ecuación revela el grado de dispersión de los datos, en la Tabla 50, se observan diferentes valores de “s”, que muestran los valores típicos de desviación estándar y uniformidad que se pueden esperar en el mortero bajo diferentes condiciones de producción.

Tabla 50.*Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero.*

S (%)	Uniformidad	Condiciones
0 - 5	Excelente	Condiciones de Laboratorio.
5 - 10	Muy Bueno	Preciso control de materiales y dosificación por masa
10 - 15	Bueno	Buen control de materiales y dosificación por masa
15 - 20	Mediano	Algún control de materiales y dosificación por masa
20 - 25	Malo	Algún control de materiales y dosificación por volumen
> 25	Muy Malo	Ningún control de materiales y dosificación por volumen

Fuente: (Cerón, 2013)

A partir de todo lo mencionado anteriormente, se ha iniciado un proceso riguroso de ensayos y toma de muestras que permitieron verificar el control de calidad de nuestras muestras mediante un modelo probabilístico.

A. Análisis Probabilístico

Con el programa Microsoft Excel 2016, se calculó el promedio, la desviación estándar, la resistencia máxima y mínima, para poder calcular los intervalos, la distribución normal y la frecuencia. Además, a partir de la desviación estándar se obtuvo el grado de uniformidad del mortero obtenido, demostrados de la Tabla 51 a la Tabla 75, y diagramados del Gráfico 21 al Gráfico 40.

- Resistencia al Primer Día

Tabla 51.*Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al primer día (ACI 214 - 2011)*

MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	s (%)	s CORREGIDO (%)	UNIFORMIDAD
Patrón - 0% TiO ₂	90.70	87.67	3.21	3.73	Excelente
	84.30				
	88.00				
	79.40				
3% TiO ₂	83.30	81.87	2.15	2.49	Excelente
	82.90				
	71.80				
	76.50				
6% TiO ₂	76.50	74.83	2.63	3.05	Excelente
	76.20				
	63.10				
	69.70				
9% TiO ₂	69.70	66.33	3.30	3.83	Excelente
	66.20				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 52.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al primer día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
80	0.012903863	0
81	0.021616252	0
82	0.033695878	0
83	0.048877487	0
84	0.065974588	0
85	0.082866735	1
86	0.096854431	0
87	0.105340284	0
88	0.106611781	1
89	0.100404143	0
90	0.087990096	0
91	0.071754919	1
92	0.054450928	0
93	0.038449847	0
94	0.025265021	0
95	0.015448291	0
96	0.008789759	0

Fuente: Elaboración Propia

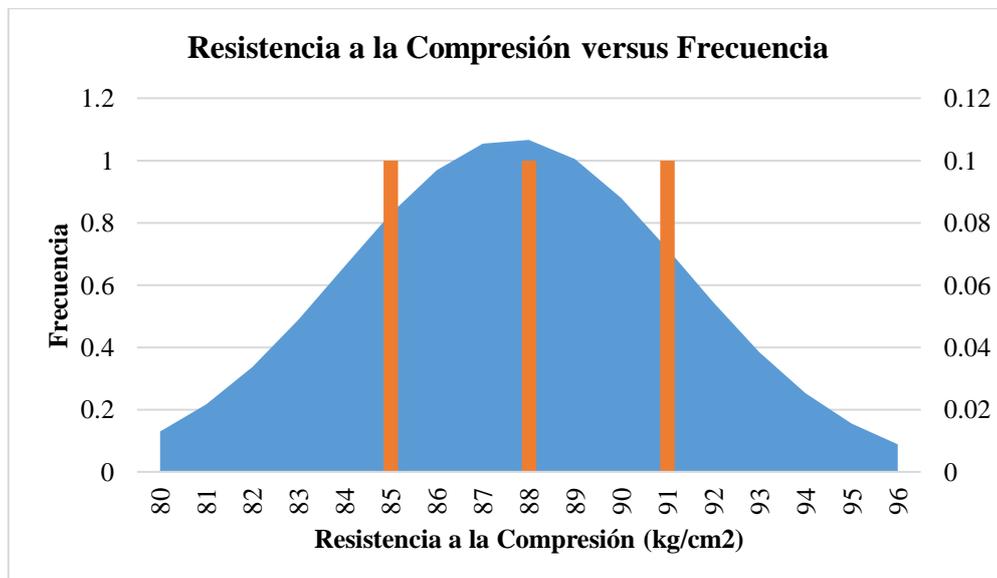


Gráfico 21. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al primer día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 53.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al primer día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
74	0.001085118	0
75	0.003564290	0
76	0.009962226	0
77	0.023693389	0
78	0.047949648	0
79	0.082571674	0
80	0.120994096	1
81	0.150863680	0
82	0.160063623	0
83	0.144506709	1
84	0.111012225	1
85	0.072567311	0
86	0.040364417	0
87	0.019104855	0
88	0.007694427	0
89	0.002636915	0

Fuente: Elaboración Propia

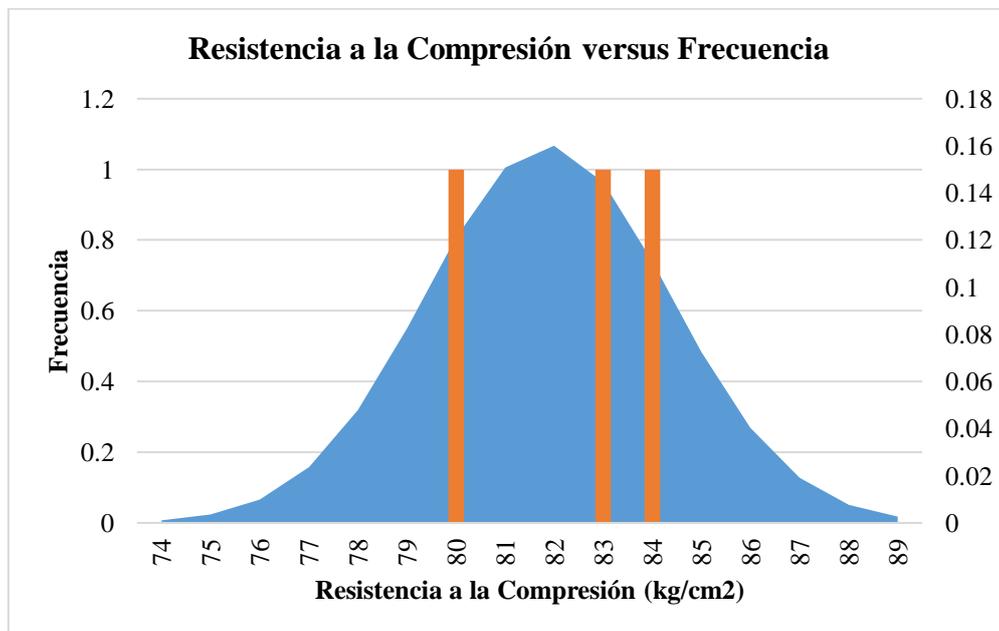


Gráfico 22. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al primer día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 54.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al primer día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
67	0.004853222	0
68	0.010663383	0
69	0.021044663	0
70	0.037305340	0
71	0.059399403	0
72	0.084952315	1
73	0.109131573	0
74	0.125923756	0
75	0.130510960	0
76	0.121497784	0
77	0.101594872	2
78	0.076305752	0
79	0.051478375	0
80	0.031194242	0
81	0.016978765	0
82	0.008300798	0

Fuente: Elaboración Propia

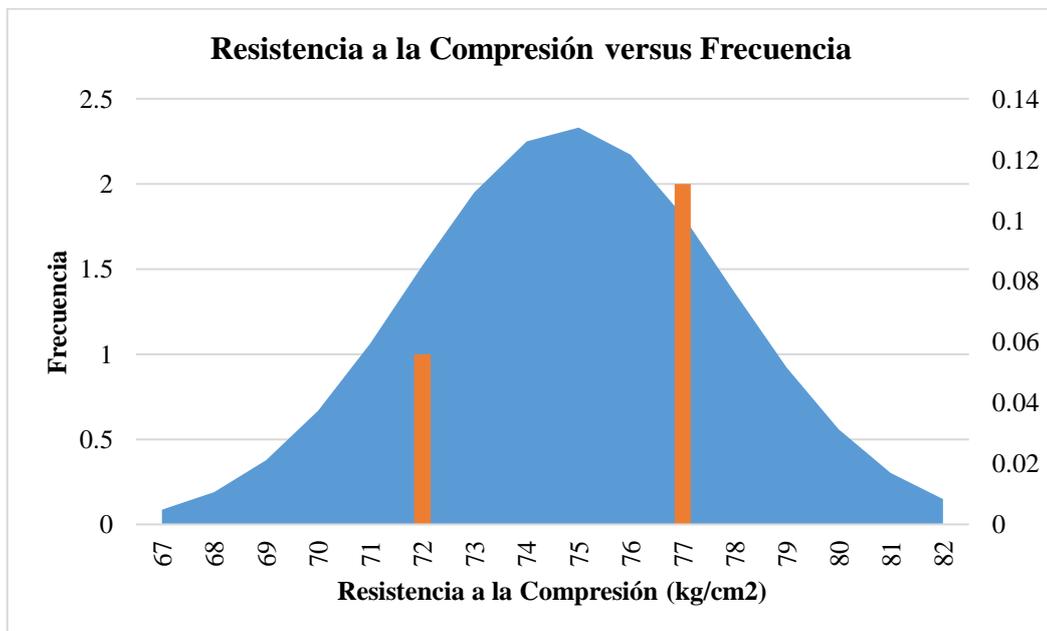


Gráfico 23. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al primer día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 55.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al primer día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
57	0.005350280	0
58	0.009769079	0
59	0.016662093	0
60	0.026546318	0
61	0.039507346	0
62	0.054922491	0
63	0.071321657	0
64	0.086515005	1
65	0.098030286	0
66	0.103759512	0
67	0.102587487	1
68	0.094745737	0
69	0.081737959	0
70	0.065869856	1
71	0.049584788	0
72	0.034866554	0
73	0.022901736	0
74	0.014051627	0
75	0.008053481	0
76	0.004311610	0

Fuente: Elaboración Propia

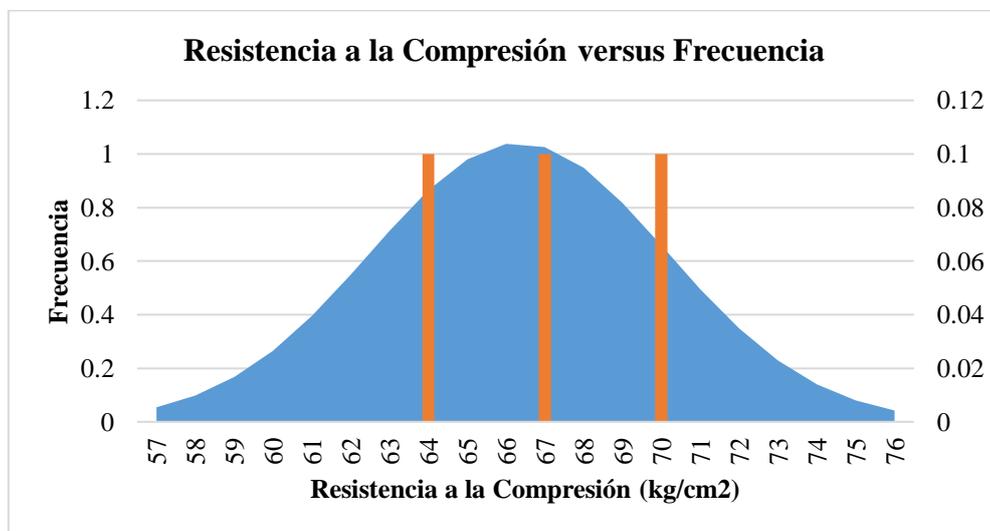


Gráfico 24. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al primer día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: El valor de las desviaciones estándar obtenidas de cada muestra, nos indica que tan dispersos son los datos, un valor mínimo como el que se halló, indica la homogeneidad en la mezcla, es decir, una buena regularidad en la producción del mortero.

Según el cuadro elaborado por (Cerón, 2013), nuestras muestras presentan una uniformidad “EXCELENTE”, y con una correcta uniformidad debido a la correcta ejecución en el laboratorio, en todos los casos al primer día.

- Resistencia al Tercer Día.

Tabla 56.

Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al tercer día (ACI 214 - 2011)

MUESTRA	RESISTENCIA		s (%)	s CORREGIDO (%)	UNIFORMIDAD
	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PROMEDIO (Kg/cm ²)			
Patrón - 0% TiO ₂	130.40				
	125.60	130.70	5.26	6.10	Muy Bueno
	136.10				
3% TiO ₂	113.90				
	116.80	116.87	3.00	3.48	Excelente
	119.90				
6% TiO ₂	100.30				
	104.50	104.00	3.48	4.03	Excelente
	107.20				
9% TiO ₂	92.40				
	88.70	92.40	3.70	4.29	Excelente
	96.10				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al tercer día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
119	0.010381065	0
120	0.014030442	0
121	0.018459486	0
122	0.023642132	0
123	0.029476266	0
124	0.035774791	0
125	0.042266914	0
126	0.048611921	1
127	0.054425675	0
128	0.059317612	0
129	0.062933560	0
130	0.064997962	0
131	0.065348554	1
132	0.063957432	0
133	0.060934726	0
134	0.056514189	0
135	0.051023347	0
136	0.044843467	0
137	0.038366151	1
138	0.031953326	0
139	0.025906140	0
140	0.020445990	0
141	0.015708416	0
142	0.011748311	0

Fuente: Elaboración Propia

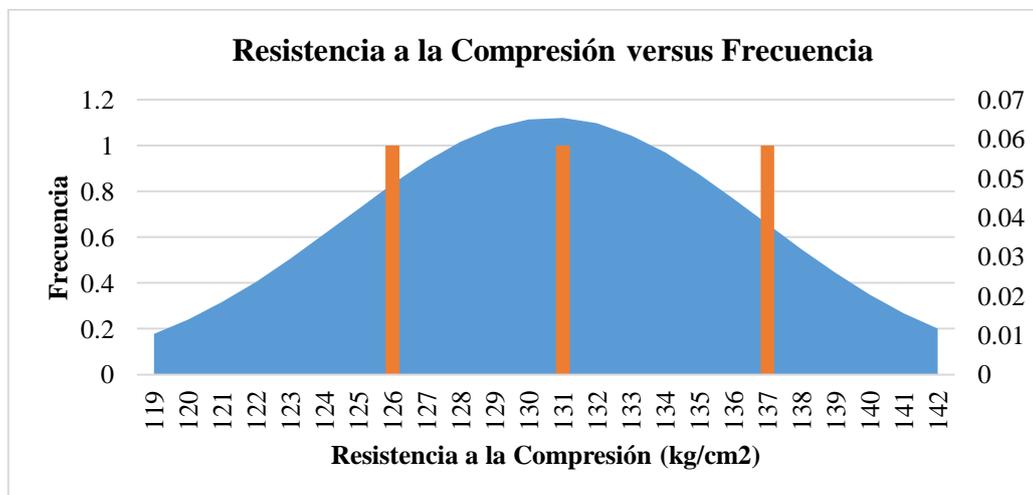


Gráfico 25. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al tercer día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 58.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al tercer día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
107	0.002062191	0
108	0.004467917	0
109	0.008913196	0
110	0.016372453	0
111	0.027691473	0
112	0.043125124	0
113	0.061839597	0
114	0.081649765	1
115	0.099264788	0
116	0.111118788	0
117	0.114533297	1
118	0.108699620	0
119	0.094989649	0
120	0.076432230	1
121	0.056627681	0
122	0.038630739	0
123	0.024265500	0
124	0.014034517	0
125	0.007474079	0
126	0.003664966	0
127	0.001654757	0
128	0.000687940	0

Fuente: Elaboración Propia

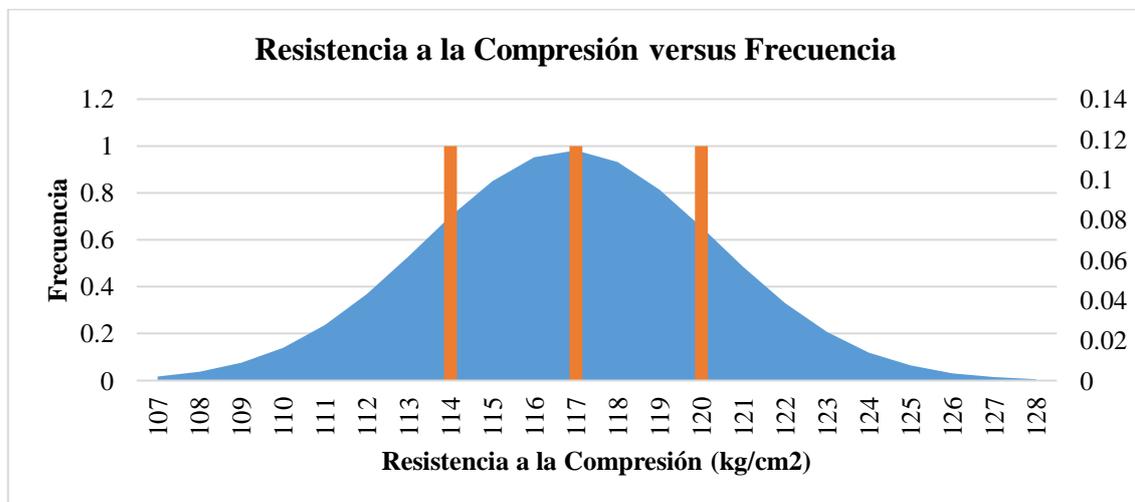


Gráfico 26. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al tercer día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al tercer día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
93	0.002399642	0
94	0.004575639	0
95	0.008204673	0
96	0.013834871	0
97	0.021937806	0
98	0.032712635	0
99	0.045871414	0
100	0.060488522	0
101	0.075008085	1
102	0.087467646	0
103	0.095915999	0
104	0.098909709	0
105	0.095915999	1
106	0.087467646	0
107	0.075008085	0
108	0.060488522	1
109	0.045871414	0
110	0.032712635	0
111	0.021937806	0
112	0.013834871	0
113	0.008204673	0
114	0.004575639	0
115	0.002399642	0

Fuente: Elaboración Propia

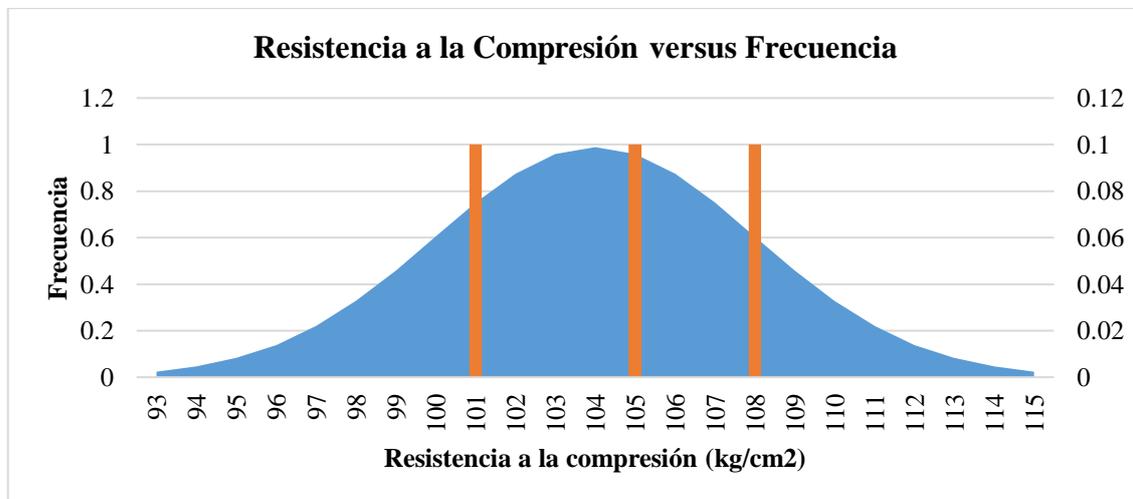


Gráfico 27. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al tercer día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 60.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al tercer día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
82	0.004934869	0
83	0.008446470	0
84	0.013693016	0
85	0.021025545	0
86	0.030578748	0
87	0.042122721	0
88	0.054958823	0
89	0.067917660	1
90	0.079497284	0
91	0.088134542	0
92	0.092547416	0
93	0.092046382	1
94	0.086710849	0
95	0.077368546	0
96	0.065385239	0
97	0.052338260	1
98	0.039681048	0
99	0.028495171	0
100	0.019381335	0
101	0.012485915	0
102	0.007618709	0
103	0.004403182	0

Fuente: Elaboración Propia

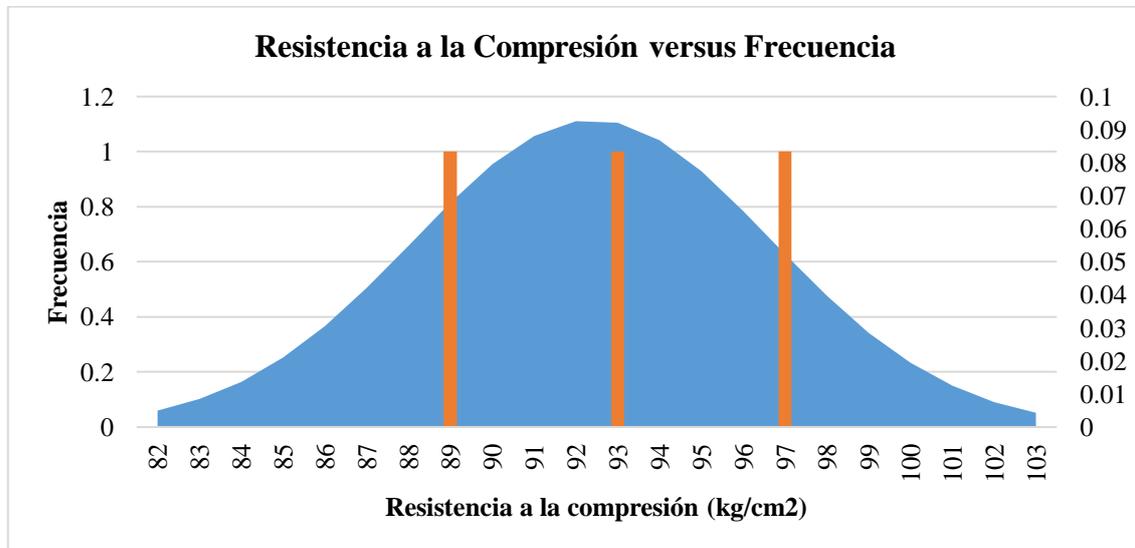


Gráfico 28. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al tercer día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: Al igual que al primer día de ensayo, el valor de las desviaciones estándar de nuestras muestras presentan una uniformidad entre “EXCELENTE y MUY BUENO”, con una correcta uniformidad debido a la correcta ejecución en el laboratorio, y el preciso control de materiales y dosificación por masa en el caso de la muestra patrón para el tercer día de ensayo.

- Resistencia al Séptimo Día.

Tabla 61.

Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al séptimo día (ACI 214 - 2011)

MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	s (%)	s CORREGIDO (%)	UNIFORMIDAD
Patrón - 0% TiO ₂	147.30	153.30	6.21	7.20	Muy Bueno
	159.70				
	152.90				
	143.10				
3% TiO ₂	147.30	147.70	4.81	5.58	Muy Bueno
	152.70				
	133.20				
6% TiO ₂	137.90	137.80	4.55	5.28	Muy Bueno
	142.30				
	115.50				
9% TiO ₂	118.70	119.00	3.66	4.24	Excelente
	122.80				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 62.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al séptimo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
140	0.010071379	0
141	0.012889213	0
142	0.016180566	0
143	0.019924661	0
144	0.024066783	0
145	0.028515109	0
146	0.033140718	0
147	0.037781455	0
148	0.042249865	1
149	0.046344892	0
150	0.049866433	0
151	0.052631363	0
152	0.054489249	0
153	0.055335891	1
154	0.055123005	0
155	0.053862778	0
156	0.051626716	0
157	0.048538924	0
158	0.044764699	0
159	0.040495903	0
160	0.035934895	1
161	0.031278907	0
162	0.026706480	0
163	0.022367199	0
164	0.018375386	0
165	0.014807822	0
166	0.011705119	0
167	0.009075913	0

Fuente: Elaboración Propia

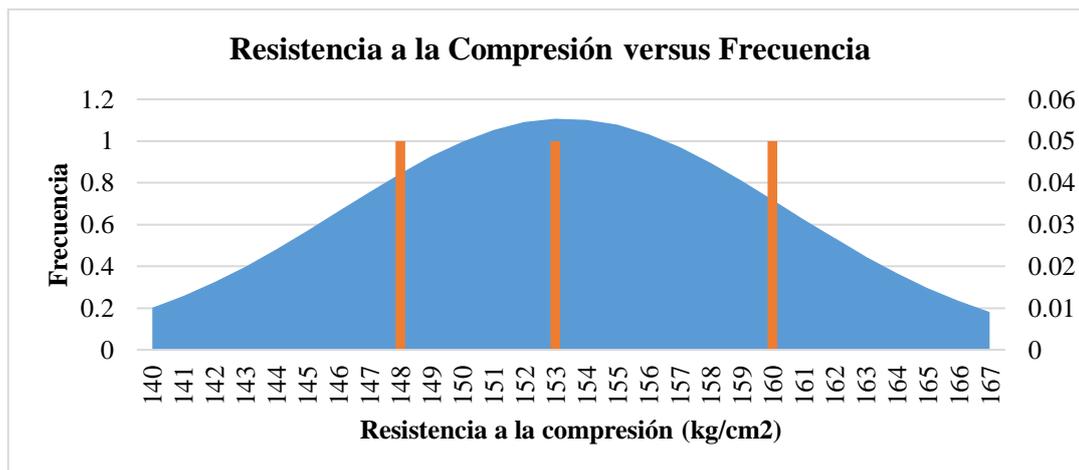


Gráfico 29. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al séptimo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 63.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
136	0.007947886	0
137	0.011384969	0
138	0.015793424	0
139	0.021217052	0
140	0.027603111	0
141	0.034777255	0
142	0.042432326	0
143	0.050137496	0
144	0.057371039	1
145	0.063575101	0
146	0.068225333	0
147	0.070903642	0
148	0.071360140	1
149	0.069551597	0
150	0.065648195	0
151	0.060007114	0
152	0.053118641	0
153	0.045536060	1
154	0.037803169	0
155	0.030392416	0
156	0.023662821	0
157	0.017841529	0
158	0.013027525	0
159	0.009212044	0
160	0.006308330	0

Fuente: Elaboración Propia

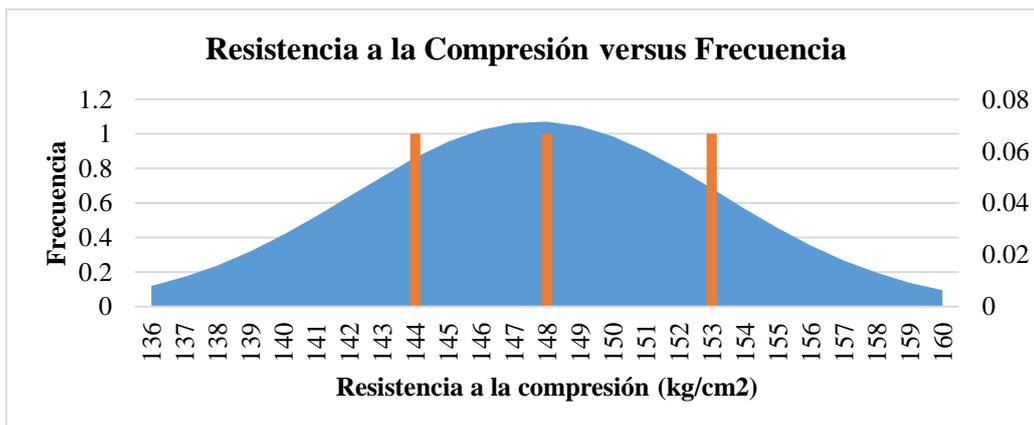


Gráfico 30. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 64.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
126	0.006214136	0
127	0.009321455	0
128	0.013489701	0
129	0.018833743	0
130	0.025368022	0
131	0.032964936	0
132	0.041326967	0
133	0.049983942	0
134	0.058323441	1
135	0.065655549	0
136	0.071304248	0
137	0.074709364	0
138	0.075517976	1
139	0.073644668	0
140	0.069286391	0
141	0.062888356	0
142	0.055069129	0
143	0.046522371	1
144	0.037916753	0
145	0.029813715	0
146	0.022616049	0
147	0.016551335	0
148	0.011685976	0
149	0.007959992	0
150	0.005230894	0

Fuente: Elaboración Propia

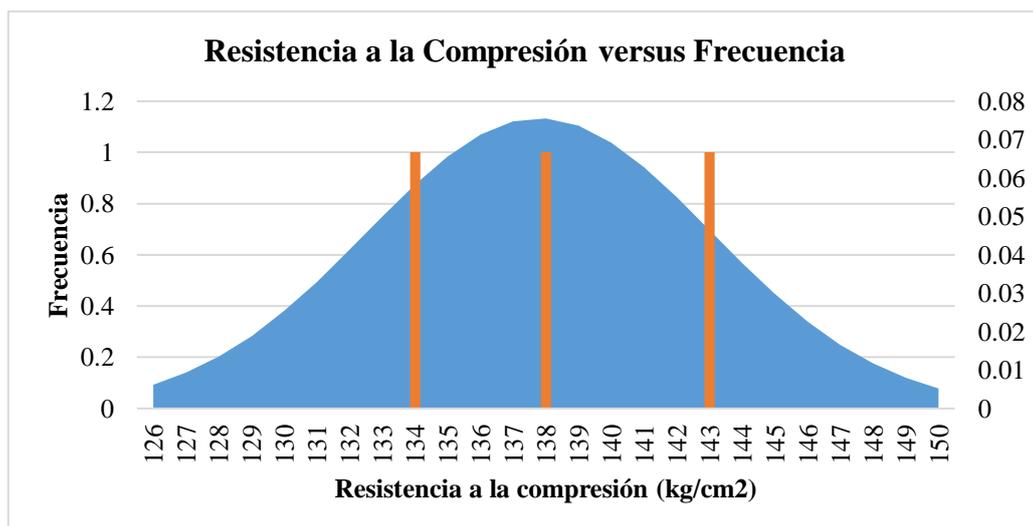


Gráfico 31. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 65.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
109	0.005859568	0
110	0.009927796	0
111	0.015912419	0
112	0.024127684	0
113	0.034609167	0
114	0.046963746	0
115	0.060287933	0
116	0.073213999	1
117	0.084111221	0
118	0.091413392	0
119	0.093985702	1
120	0.091413392	0
121	0.084111221	0
122	0.073213999	0
123	0.060287933	1
124	0.046963746	0
125	0.034609167	0
126	0.024127684	0
127	0.015912419	0
128	0.009927796	0
129	0.005859568	0

Fuente: Elaboración Propia

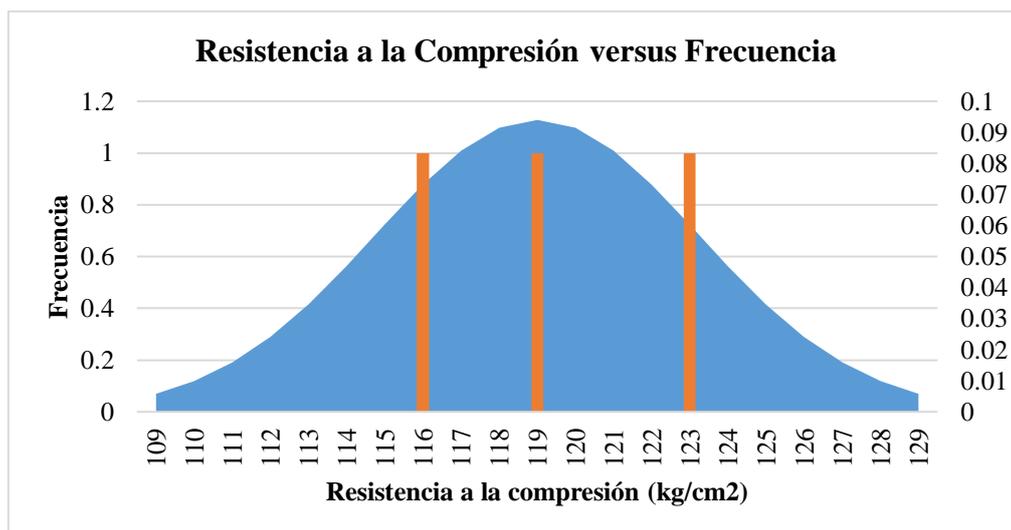


Gráfico 32. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al séptimo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: Al igual que al tercer día de ensayo, el valor de las desviaciones estándar de nuestras muestras presentan una uniformidad entre “EXCELENTE y MUY BUENO”, con una correcta uniformidad debido a la correcta ejecución en el laboratorio, y el preciso control de materiales y dosificación por masa en el caso de la muestra patrón para el 7mo día de ensayo.

- Resistencia al Catorceavo Día.

Tabla 66.

Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al catorceavo día (ACI 214 - 2011)

MUESTRA	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia Promedio (Kg/cm ²)	s (%)	s Corregido (%)	Uniformidad
Patrón - 0% TiO ₂	160.70	166.10	5.35	6.21	Muy Bueno
	166.20				
	171.40				
3% TiO ₂	156.10	159.80	3.86	4.48	Excelente
	163.80				
	159.50				
6% TiO ₂	155.70	153.07	2.55	2.96	Excelente
	150.60				
	152.90				
9% TiO ₂	140.70	145.20	4.40	5.11	Muy Bueno
	149.50				
	145.40				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 67.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al catorceavo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
154	0.009611413	0
155	0.012988419	0
156	0.017102206	0
157	0.021941929	0
158	0.027429903	0
159	0.033411852	0
160	0.039655518	0
161	0.045859943	1
162	0.051676157	0
163	0.056737958	0
164	0.060699346	0
165	0.063273392	0
166	0.064266557	0
167	0.063602730	1
168	0.061332870	0
169	0.057628541	0
170	0.052760483	0
171	0.047065937	0
172	0.040910186	1
173	0.034648387	0
174	0.028593109	0
175	0.022991460	0
176	0.018013517	0
177	0.013751729	0
178	0.010229229	0

Fuente: Elaboración Propia

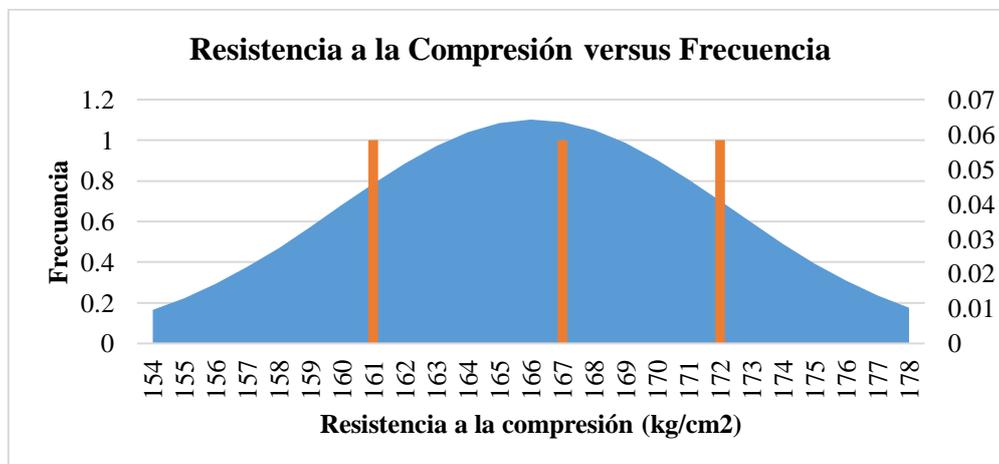


Gráfico 33. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al catorceavo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 68.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
149	0.004851504	0
150	0.008112158	0
151	0.012903890	0
152	0.019526714	0
153	0.028110072	0
154	0.038496304	0
155	0.050153399	0
156	0.062159282	0
157	0.073288509	1
158	0.082203452	0
159	0.087713915	0
160	0.089037142	1
161	0.085980151	0
162	0.078985882	0
163	0.069027956	0
164	0.057388495	1
165	0.045388823	0
166	0.034150518	0
167	0.024443868	0
168	0.016644350	0
169	0.010781720	0
170	0.006644059	0

Fuente: Elaboración Propia

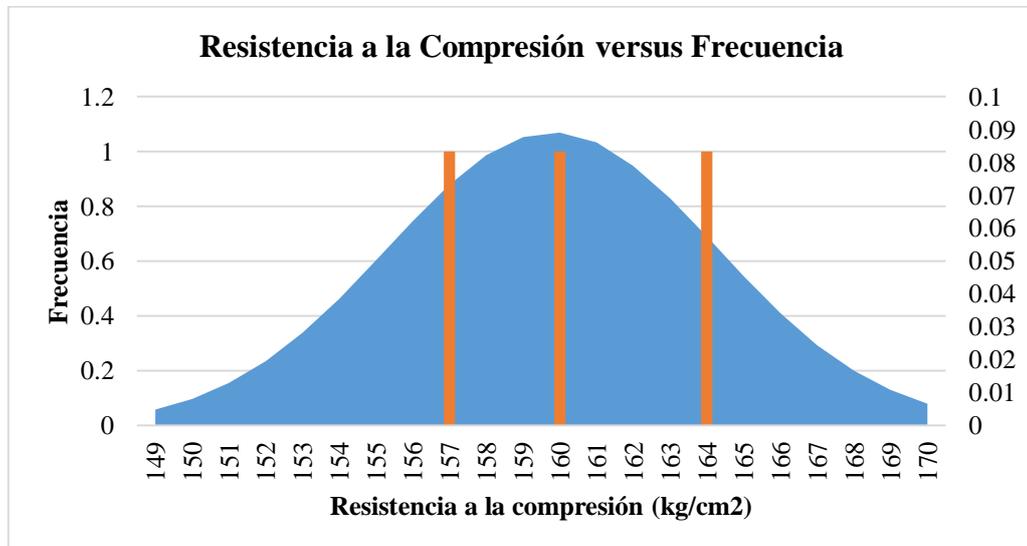


Gráfico 34. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 69.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
145	0.003307293	0
146	0.007831495	0
147	0.016547797	0
148	0.031200333	0
149	0.052493050	0
150	0.078807564	0
151	0.105574134	1
152	0.126203289	0
153	0.134619305	1
154	0.128134930	0
155	0.108830658	0
156	0.082481869	1
157	0.055781381	0
158	0.033662282	0
159	0.018126809	0
160	0.008710091	0
161	0.003734630	0

Fuente: Elaboración Propia

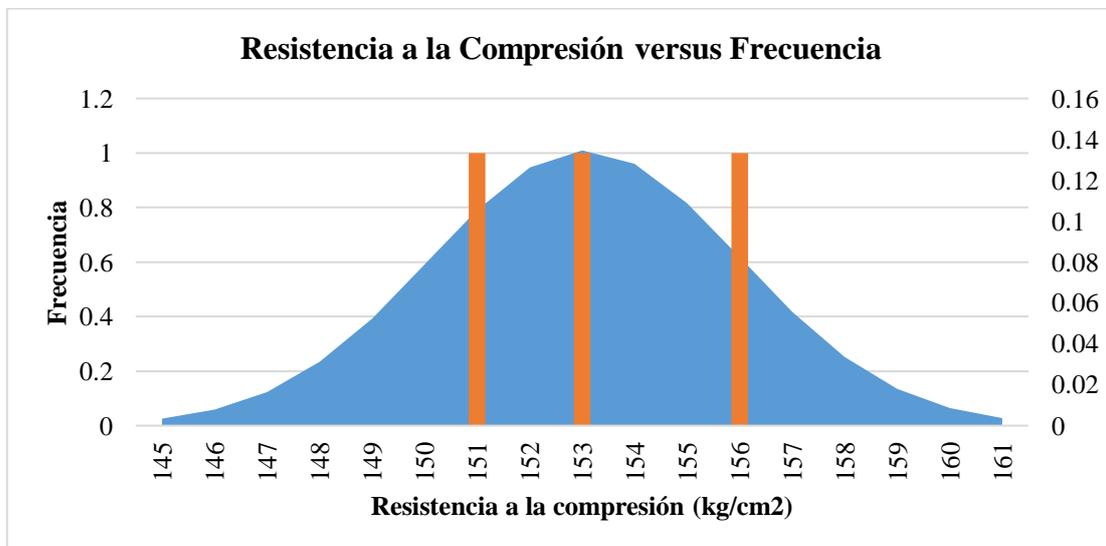


Gráfico 35. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 70.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
134	0.007057853	0
135	0.010635964	0
136	0.015425380	0
137	0.021530277	0
138	0.028921319	0
139	0.037388782	0
140	0.046517813	0
141	0.055699590	1
142	0.064185873	0
143	0.071183879	0
144	0.075976378	0
145	0.078042337	0
146	0.077150135	1
147	0.073400303	0
148	0.067206884	0
149	0.059222183	0
150	0.050223827	1
151	0.040991134	0
152	0.032197697	0
153	0.024339656	0
154	0.017707563	0
155	0.012398179	0
156	0.008354332	0
157	0.005417767	0

Fuente: Elaboración Propia

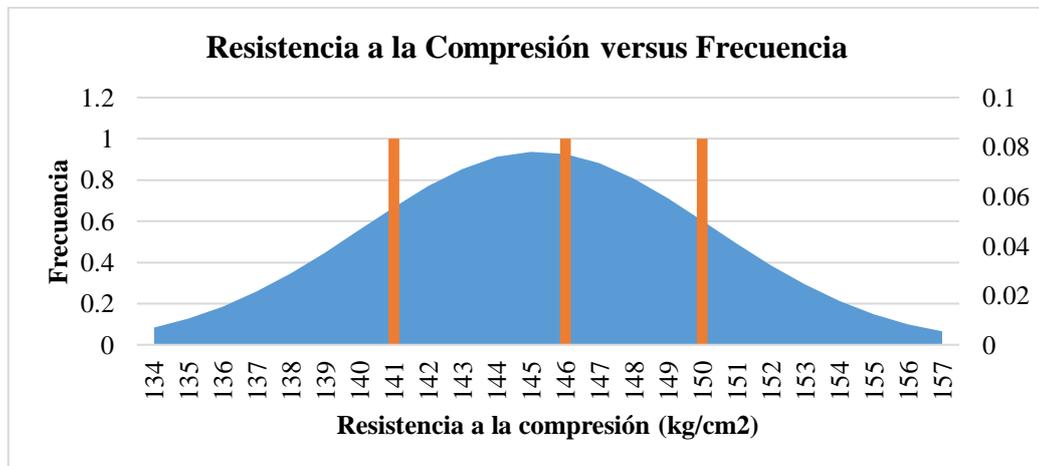


Gráfico 36. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al catorceavo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: Al igual que al séptimo día de ensayo, el valor de las desviaciones estándar de nuestras muestras presentan una uniformidad entre “EXCELENTE y MUY BUENO”, con una correcta uniformidad debido a la correcta ejecución en el laboratorio, y el preciso control de materiales y dosificación por masa en el caso de la muestra patrón para el catorceavo día de ensayo.

- Resistencia al Veintiochoavo Día

Tabla 71.

Valores de desviación estándar y grado de uniformidad del mortero al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)

MUESTRA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	s (%)	s CORREGIDO (%)	UNIFORMIDAD
Patrón - 0% TiO ₂	177.50	182.70	4.89	5.67	Muy Bueno
	187.20				
	183.40				
	180.40				
3% TiO ₂	174.10	175.83	3.99	4.63	Excelente
	173.00				
	168.40				
6% TiO ₂	165.70	168.33	2.60	3.02	Excelente
	170.90				
	150.90				
9% TiO ₂	170.10	159.80	9.68	11.22	Bueno
	158.40				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 72.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
171	0.008368715	0
172	0.011856860	0
173	0.016284360	0
174	0.021680125	0
175	0.027979695	0
176	0.035003725	0
177	0.042449800	0
178	0.049903056	1
179	0.056868101	0
180	0.062820359	0
181	0.067270119	0
182	0.069828719	0
183	0.070264516	0
184	0.068537480	1
185	0.064805268	0
186	0.059399472	0
187	0.052777032	0
188	0.045456651	1
189	0.037952467	0
190	0.030716567	0
191	0.024098801	0
192	0.018327714	0
193	0.013511740	0
194	0.009656157	0
195	0.006689405	0

Fuente: Elaboración Propia

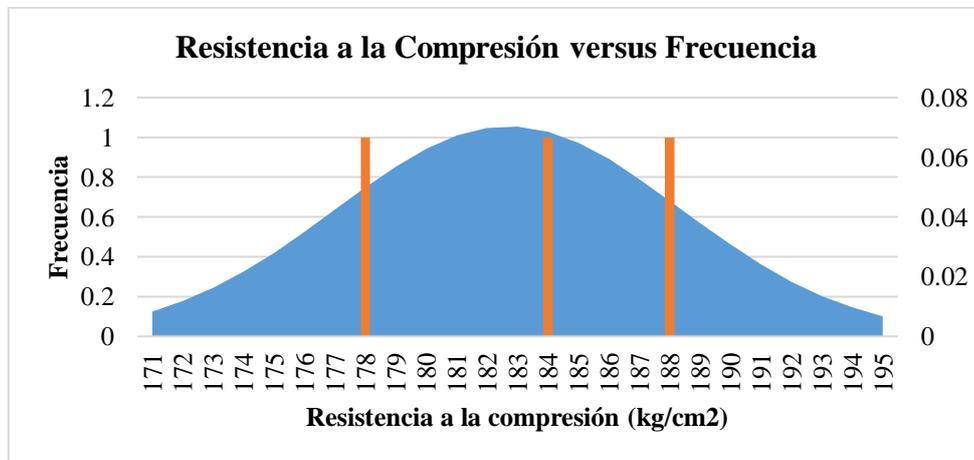


Gráfico 37. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la Mezcla Patrón – 0% al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 73.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
166	0.009045600	0
167	0.013975852	0
168	0.020609883	0
169	0.029008755	0
170	0.038970771	0
171	0.049969525	0
172	0.061154411	0
173	0.071434281	1
174	0.079641954	0
175	0.084748781	1
176	0.086075856	0
177	0.083442167	0
178	0.077205124	0
179	0.068180944	0
180	0.057469343	0
181	0.046234459	1
182	0.035501905	0
183	0.026019196	0
184	0.018200881	0
185	0.012151987	0
186	0.007743878	0

Fuente: Elaboración Propia

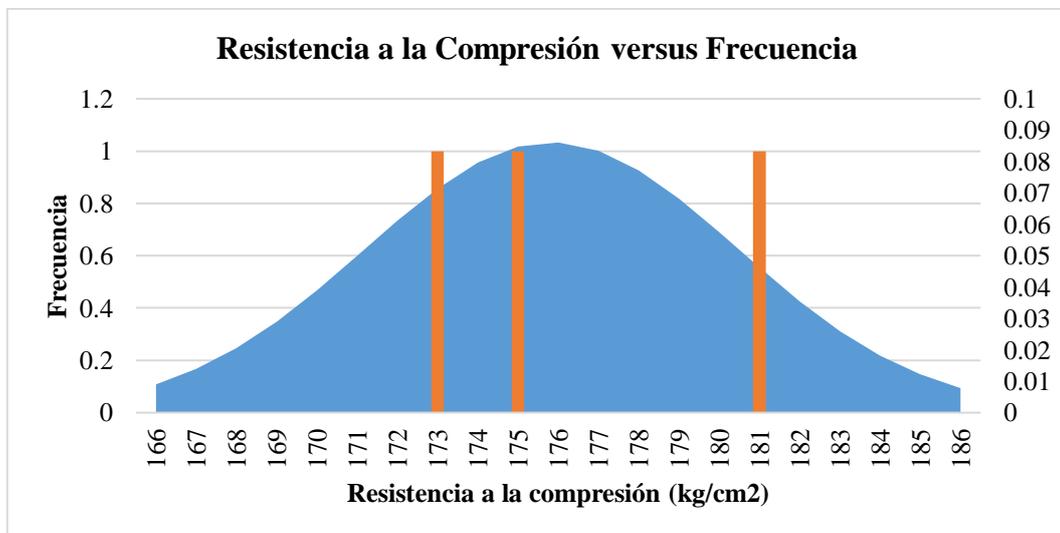


Gráfico 38. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 3% de TiO₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 74.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
161	0.006889900	0
162	0.014598388	0
163	0.027712527	0
164	0.047133162	0
165	0.071821791	0
166	0.098053954	1
167	0.119937007	0
168	0.131437874	0
169	0.129052690	1
170	0.113525342	0
171	0.089474194	1
172	0.063180344	0
173	0.039971036	0
174	0.022656250	0
175	0.011505616	0
176	0.005234931	0

Fuente: Elaboración Propia

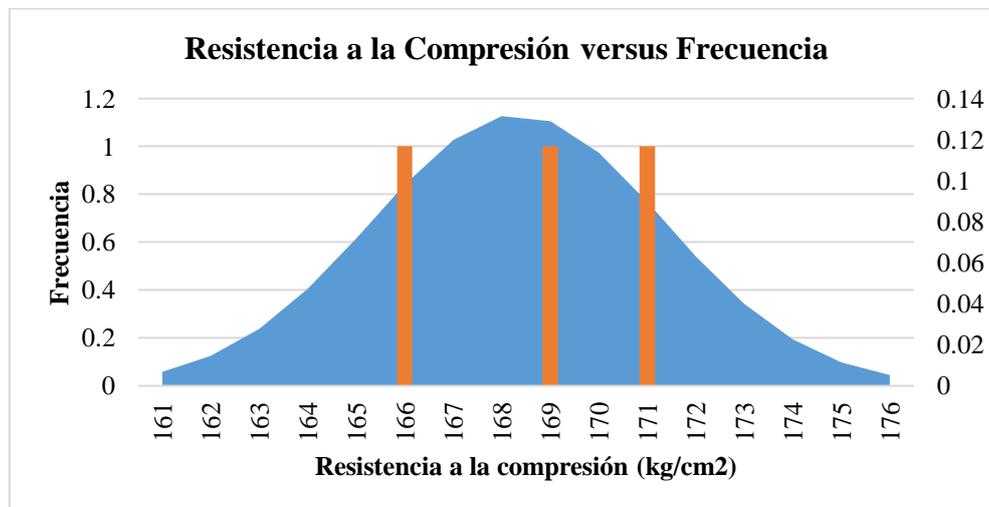


Gráfico 39. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 6% de TiO₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 75.

Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)

Intervalos	Distribución Normal	Frecuencia
144	0.013197088	0
145	0.014901112	0
146	0.016692145	0
147	0.018550623	0
148	0.020453036	0
149	0.022372265	0
150	0.024278119	0
151	0.026138041	1
152	0.027917975	0
153	0.029583375	0
154	0.031100289	0
155	0.032436503	0
156	0.033562673	0
157	0.034453389	0
158	0.035088134	0
159	0.035452062	1
160	0.035536579	0
161	0.035339684	0
162	0.034866038	0
163	0.034126790	0
164	0.033139136	0
165	0.031925656	0
166	0.030513455	0
167	0.028933159	0
168	0.027217812	0
169	0.025401741	0
170	0.023519423	0
171	0.021604426	1
172	0.019688459	0
173	0.017800558	0
174	0.015966451	0
175	0.014208103	0
176	0.012543441	0

Fuente: Elaboración Propia

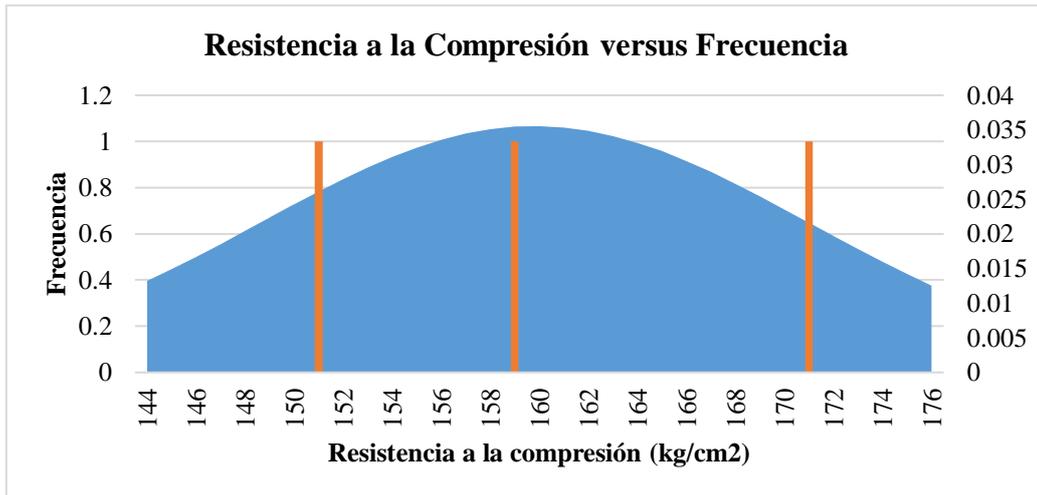


Gráfico 40. Distribución Normal de la Resistencia a la Compresión de la mezcla al 9% de TiO₂ al veintiochoavo día (ACI 214 - 2011)

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: Al igual que al catorceavo día de ensayo, el valor de las desviaciones estándar de nuestras muestras presentan una uniformidad entre “EXCELENTE”, “MUY BUENO” y “BUENO”, con una correcta uniformidad debido a la correcta ejecución en el laboratorio, y el preciso control de materiales y dosificación por masa en el caso de la muestra con la adición de 9% de TiO₂ para el veintiochoavo día de ensayo.

A partir de todos los datos obtenidos, se puede interpretar que todos los diseños se realizaron con un correcto control de calidad, ya que, no presentan una dispersión alta y se encuentran todos dentro de los rangos de uniformidad de “EXCELENTES, MUY BUENOS Y BUENOS”.

B. Análisis ANOVA

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 31, se procedió a realizar el análisis ANOVA, para comparar los diferentes valores de Resistencia a la Compresión para cada diseño de mezcla. Para este análisis, se utilizó el Software StatGraphics Centurion versión 16.

a) Procesamiento de Datos al Primer día

Se obtuvo la Tabla 76. de los datos del ensayo de resistencia a la compresión al primer día para ser procesados en el programa.

Tabla 76.*Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Primer día.*

Diseño de Mezcla	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
0% de TiO ₂	90.70
0% de TiO ₂	84.30
0% de TiO ₂	88.00
3% de TiO ₂	79.40
3% de TiO ₂	83.30
3% de TiO ₂	82.90
6% de TiO ₂	71.80
6% de TiO ₂	76.50
6% de TiO ₂	76.20
9% de TiO ₂	63.10
9% de TiO ₂	69.70
9% de TiO ₂	66.20

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 77.

Tabla 77.*Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a un día por Diseño de Mezcla.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	762.336	3	254.112	31.03	0.0001
Intra grupos	62.5067	8	8.18833		
Total (Corr.)	827.842	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 77 ANOVA descompone la varianza de Resistencia a la Compresión a un (1) día en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 31.0334, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Resistencia a la Compresión a un (1) día entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

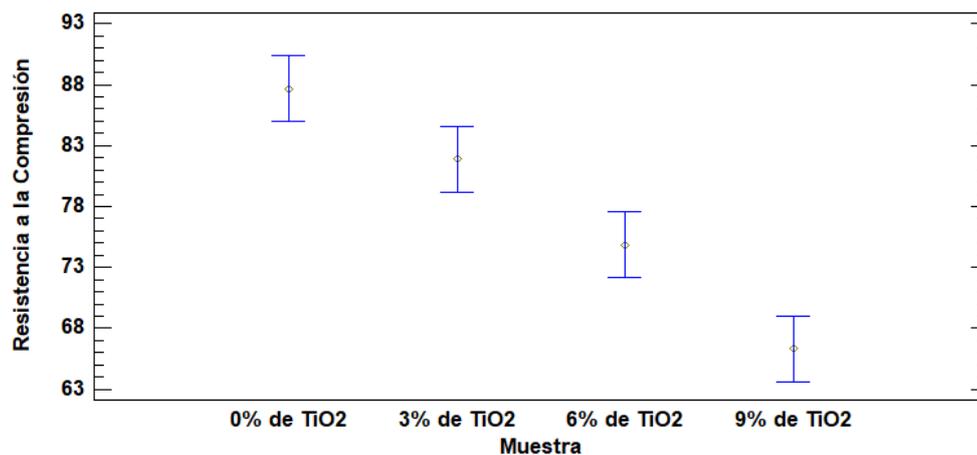


Gráfico 41. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a un día.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 41, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO₂ tuvo la mayor resistencia de compresión y el diseño de mezcla con 9% de TiO₂ tuvo la menor resistencia de compresión. Nuevamente con esta gráfica se interpreta que a medida que se agrega un mayor porcentaje de aditivo, se disminuye la resistencia de la muestra.

b) Procesamiento de Datos al Tercer día

Se obtuvo la Tabla 78 de los datos del ensayo de resistencia a la compresión al tercer día para ser procesados en el programa.

Tabla 78.

Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Tercer día.

Diseño de Mezcla	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
0% de TiO ₂	130.40
0% de TiO ₂	125.60
0% de TiO ₂	136.10
3% de TiO ₂	113.90
3% de TiO ₂	116.80
3% de TiO ₂	119.90
6% de TiO ₂	100.30
6% de TiO ₂	104.50
6% de TiO ₂	107.20
9% de TiO ₂	92.40
9% de TiO ₂	88.70
9% de TiO ₂	96.10

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 79.

Tabla 79.

Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a tres días por Diseño de Mezcla.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2452.4	3	817.468	52.39	0.0000
Intra grupos	124.827	8	15.6033		
Total (Corr.)	2577.23	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 79 ANOVA descompone la varianza de Resistencia a la Compresión a tres (3) días en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 52.3906, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Resistencia a la Compresión a tres (3) días entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

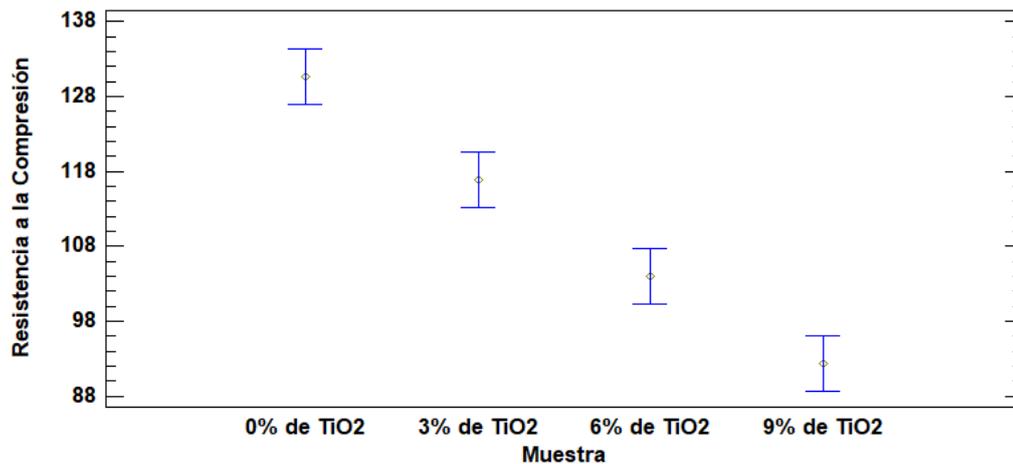


Gráfico 42. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a tres días.

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 42, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO₂ tuvo la mayor resistencia de compresión y el diseño de mezcla con 9% de TiO₂ tuvo la menor resistencia de compresión. Nuevamente con esta gráfica se interpreta que a medida que se agrega un mayor porcentaje de aditivo, se disminuye la resistencia de la muestra.

c) Procesamiento de Datos al Séptimo día

Se obtuvo la Tabla 80 de los datos del ensayo de resistencia a la compresión al séptimo día, para ser procesados en el programa.

Tabla 80.

Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Séptimo día.

Diseño de Mezcla	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
0% de TiO ₂	147.30
0% de TiO ₂	159.70
0% de TiO ₂	152.90
3% de TiO ₂	143.10
3% de TiO ₂	147.30
3% de TiO ₂	152.70
6% de TiO ₂	133.20
6% de TiO ₂	137.90
6% de TiO ₂	142.30
9% de TiO ₂	115.50
9% de TiO ₂	118.70
9% de TiO ₂	122.80

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 81.

Tabla 81.

Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a siete días por Diseño de Mezcla.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2042.43	3	680.81	28.42	0.0001
Intra grupos	191.64	8	23.955		
Total (Corr.)	2234.07	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 81 ANOVA descompone la varianza de Resistencia a la Compresión a siete (7) días en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 28.4204, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Resistencia a la Compresión a siete (7) días entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

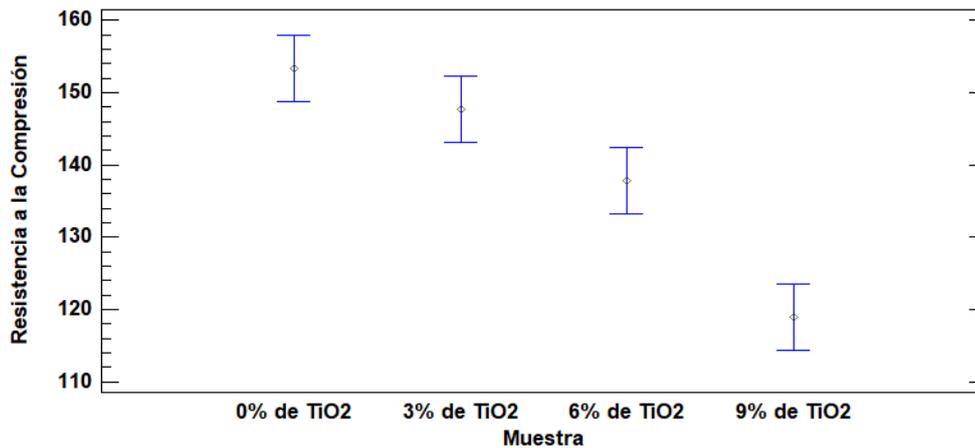


Gráfico 43. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a siete días.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 43, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO₂ tuvo la mayor resistencia de compresión, pero la diferencia que existe entre este y el diseño con 3% de TiO₂ es mínima a los siete (7) días. También se observa que el diseño de mezcla con 9% de TiO₂, tuvo la menor resistencia de compresión. Nuevamente con esta gráfica se interpreta que a medida que se agrega un mayor porcentaje de aditivo, se disminuye la resistencia de la muestra.

d) Procesamiento de Datos al Catorceavo día

Se obtuvo la Tabla 82 de los datos del ensayo de resistencia a la compresión al catorceavo día para ser procesados en el programa.

Tabla 82.

Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Catorceavo día.

Diseño de Mezcla	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
0% de TiO ₂	160.70
0% de TiO ₂	166.20
0% de TiO ₂	171.40
3% de TiO ₂	156.10
3% de TiO ₂	163.80
3% de TiO ₂	159.50
6% de TiO ₂	155.70
6% de TiO ₂	150.60
6% de TiO ₂	152.90
9% de TiO ₂	140.70
9% de TiO ₂	149.50
9% de TiO ₂	145.40

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 83.

Tabla 83.

Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a catorce días por Diseño de Mezcla.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	725.062	3	241.687	13.92	0.0015
Intra grupos	138.867	8	17.3583		
Total (Corr.)	863.929	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 83 ANOVA descompone la varianza de Resistencia a la Compresión a catorce (14) días en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 13.9234, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Resistencia a la Compresión a catorce (14) días entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

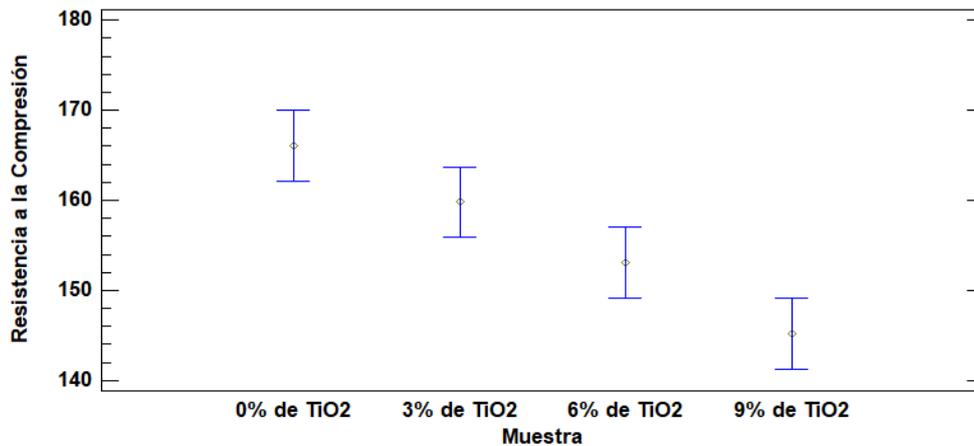


Gráfico 44. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a catorce días.

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 44, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO₂ tuvo la mayor resistencia de compresión, y el diseño de mezcla con 9% de TiO₂ tuvo la menor resistencia de compresión. Nuevamente con esta gráfica se interpreta que a medida que se agrega un mayor porcentaje de aditivo, se disminuye la resistencia de la muestra.

e) Procesamiento de Datos al Veintiochoavo día

Se obtuvo la Tabla 84 de los datos del ensayo de resistencia a la compresión al veintiochoavo día para ser procesados en el programa.

Tabla 84.

Datos para el ANOVA de la Resistencia a la Compresión al Veintiochoavo día.

Diseño de Mezcla	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
0% de TiO ₂	177.50
0% de TiO ₂	187.20
0% de TiO ₂	183.40
3% de TiO ₂	180.40
3% de TiO ₂	174.10
3% de TiO ₂	173.00
6% de TiO ₂	168.40
6% de TiO ₂	165.70
6% de TiO ₂	170.90
9% de TiO ₂	150.90
9% de TiO ₂	170.10
9% de TiO ₂	158.40

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 85.

Tabla 85.

Tabla ANOVA para la Resistencia a la Compresión a veintiocho días por Diseño de Mezcla.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	873.073	3	291.024	8.30	0.0077
Intra grupos	280.453	8	35.0567		
Total (Corr.)	1153.53	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 85 ANOVA descompone la varianza de Resistencia a la Compresión a veintiocho (28) días en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 8.30154, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Resistencia a la Compresión a veintiocho (28) días entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

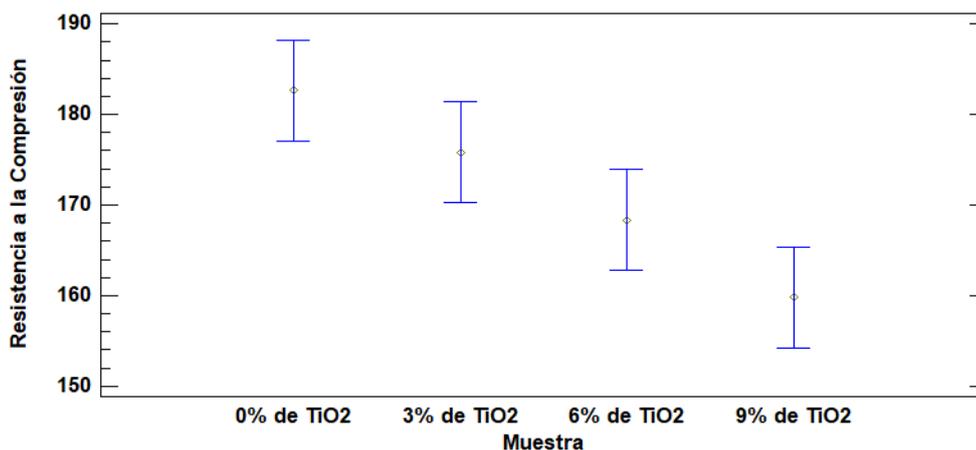


Gráfico 45. Medias y 95% de Fisher LSD para la Resistencia a la Compresión a veintiocho días.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 45, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO_2 tuvo la mayor resistencia de compresión, y el diseño de mezcla con 9% de TiO_2 tuvo la menor resistencia de compresión. Nuevamente con esta gráfica se interpreta que a medida que se agrega un mayor porcentaje de aditivo, se disminuye la resistencia de la muestra.

6.1.4. Ensayo de Rodamina B

En la Tabla 36 y Tabla 37 se muestra la actividad fotocatalítica obtenida de los 4 diseños de mezcla con diferentes proporciones de aditivo y sin aditivo.

Se observó que los diseños de mezcla con 3%, 6% y 9% con TiO_2 se degradaron, y esto significa que poseen propiedades fotocatalíticas. También, podemos verificarlo por medio de los factores, ya que, el factor R4 es superior al 20% y el factor R26 es superior al 50%. Por otro lado, el mortero con 0% de TiO_2 no posee ninguna actividad fotocatalítica.

Tabla 86.

Ensayo de Rodamina para cada Diseño de Mezcla.

EDAD (Horas)	ENSAYO DE RODAMINA			
	0% de TiO_2	3% de TiO_2	6% de TiO_2	9% de TiO_2
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4	6.34%	27.92%	44.93%	51.78%
26	7.74%	71.89%	80.09%	87.37%

Fuente: Elaboración Propia

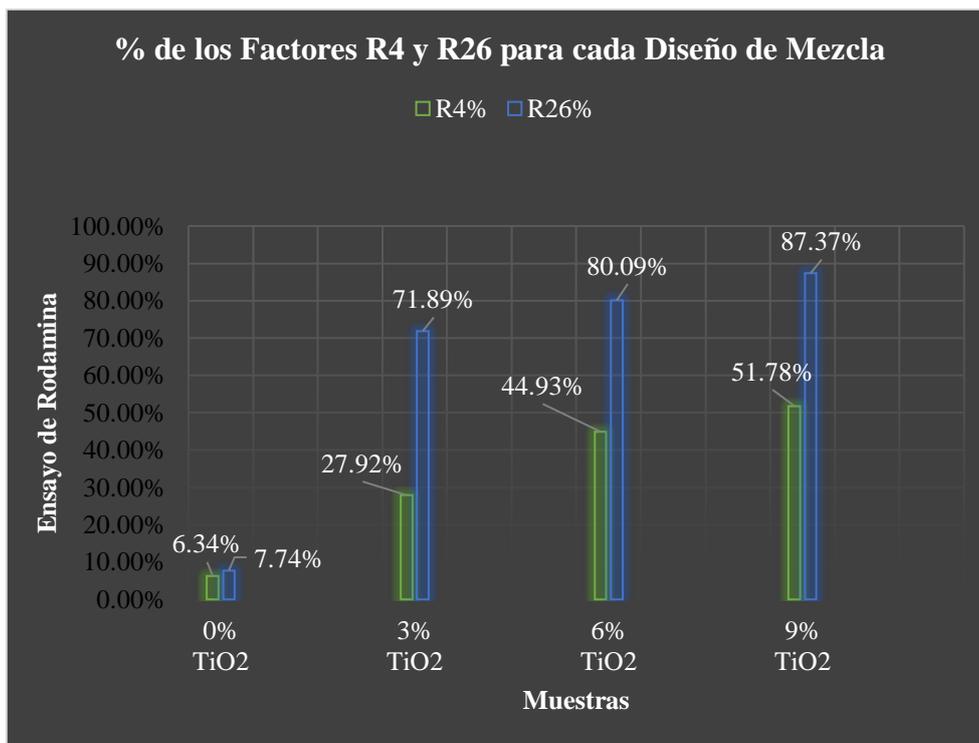


Gráfico 46. Porcentaje de los factores R4 y R26 para Cada Diseño de Mezcla
Fuente: Elaboración Propia

A partir del anterior enunciado, de la Tabla 86 y del Gráfico 46, podemos interpretar que cuando se le adiciona el aditivo TiO₂, el mortero adquiere la propiedad de ser fotocatalítico, lo que hace que este sea autolimpiable.

6.1.4.1. Análisis ANOVA

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 87, se procedió a realizar el análisis ANOVA, para comparar los diferentes valores de R4 para cada diseño de mezcla.

Para este análisis, se utilizó el Software StatGraphics Centurion versión 16.

a) Procesamiento de Datos

Se obtuvo la Tabla 87 de los datos del factor R4 obtenidos del ensayo de rodamina para ser procesados en el programa.

Tabla 87.*Datos para el ANOVA del factor R4 obtenidos del Ensayo de Rodamina*

Diseño de Mezcla	R4 obtenido del Ensayo de Rodamina
0% de TiO ₂	0.044
0% de TiO ₂	0.067
0% de TiO ₂	0.079
3% de TiO ₂	0.238
3% de TiO ₂	0.284
3% de TiO ₂	0.316
6% de TiO ₂	0.379
6% de TiO ₂	0.402
6% de TiO ₂	0.566
9% de TiO ₂	0.531
9% de TiO ₂	0.525
9% de TiO ₂	0.498

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 88.

Tabla 88.*Tabla ANOVA para factor R4 por Diseño de Mezcla.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.36947	3	0.123157	39.22	0.0000
Intra grupos	0.0251233	8	0.00314042		
Total (Corr.)	0.394593	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 88 ANOVA descompone la varianza de factor R4 en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 39.2166, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del factor R4 entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

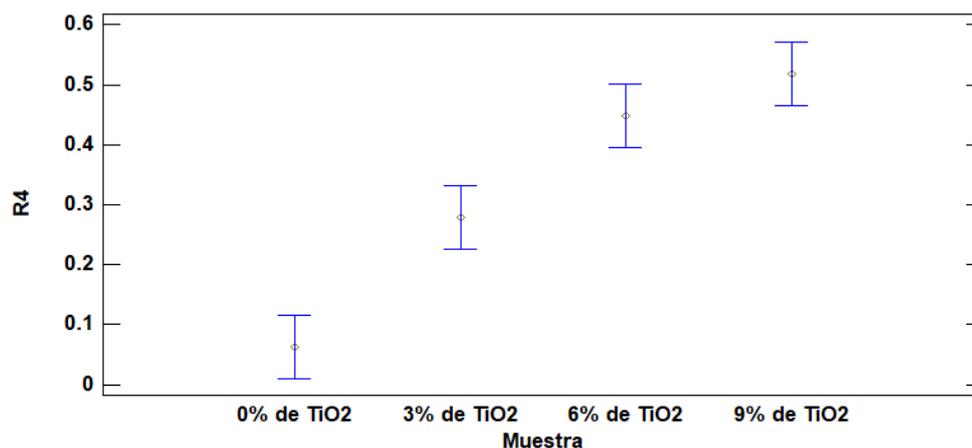


Gráfico 47. Medias y 95% de Fisher LSD para el factor R4.

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 47, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO₂ no alcanza como mínimo el 0.20 (20%) que debe alcanzar para considerarse como material fotocatalítico, en cambio, los demás diseños superan este porcentaje.

b) Procesamiento de Datos

Se obtuvo la Tabla 89 de los datos del factor R26 obtenidos del ensayo de rodamina para ser procesados en el programa.

Tabla 89.

Datos para el ANOVA del factor R26 obtenidos del Ensayo de Rodamina

Diseño de Mezcla	R26 obtenido del Ensayo de Rodamina
0% de TiO ₂	0.058
0% de TiO ₂	0.080
0% de TiO ₂	0.094
3% de TiO ₂	0.718
3% de TiO ₂	0.760
3% de TiO ₂	0.678
6% de TiO ₂	0.789
6% de TiO ₂	0.786
6% de TiO ₂	0.827
9% de TiO ₂	0.890
9% de TiO ₂	0.876
9% de TiO ₂	0.855

Fuente: Elaboración Propia

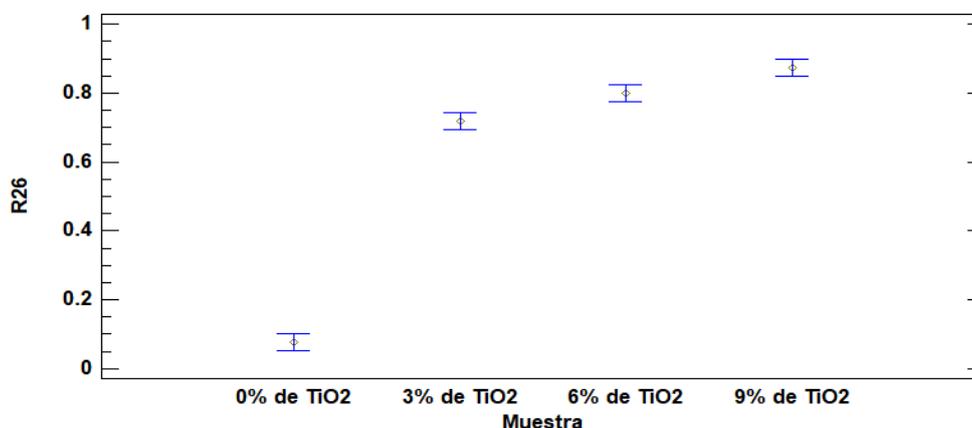
A partir de los datos anteriores se obtuvo la Tabla 90.

Tabla 90.*Tabla ANOVA para factor R26 por Diseño de Mezcla.*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.20356	3	0.401186	564.39	0.0000
Intra grupos	0.00568667	8	0.000710833		
Total (Corr.)	1.20924	11			

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

La Tabla 90 ANOVA descompone la varianza de factor R26 en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 564.388, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del factor R26 entre un nivel de Diseño de Mezcla y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

**Gráfico 48.** Medias y 95% de Fisher LSD para el factor R26.*Fuente:* StatGraphics Centurion versión 16

A partir del Gráfico 48, se observa que el diseño de mezcla con 0% de TiO_2 , no alcanza como mínimo el 0.50 (50%) que debe alcanzar para considerarse como material fotocatalítico, en cambio, los demás diseños superan este porcentaje.

6.1.5. Intemperismo

De la Figura 35 a la Figura 38, se puede apreciar los cambios que han ido teniendo los paneles de TiO_2 durante 4 meses (Noviembre – Febrero) con el fin de observar cómo reaccionan en contacto con el sol y los diferentes cambios de clima de nuestra ciudad.

De la Tabla 91 a la Tabla 94, se puede observar las variaciones de temperatura y humedad que se fueron efectuando en la provincia y ciudad de Arequipa a lo largo de los meses mencionados anteriormente, ellos nos podrán indicar las diferentes propiedades adquiridas basándose en el mes

realizado, de la misma forma las figuras presentadas nos darán un mayor alcance de la información durante cada mes.

En la Figura 35 correspondiente al primer mes, se observa en los paneles de 3%, 6% y 9% de TiO_2 la presencia del color blanco, característico del dióxido de titanio, mientras que el mortero sin aditivo tiene un color plomo característico del cemento con arena.

En la Tabla 91, se observa que la temperatura máxima que se tuvo durante el mes fue de 27.2°C y la mínima fue de 5.8°C , esta temperatura permitió que el sol actúe directamente a los paneles con adición y haga que su actividad fotocatalítica se active durante el día, es por ello por lo que, durante el primer mes se notó el color blanquecino en su esplendor; además, se obtuvo una humedad relativa promedio de 42%, que permitió que el mortero con y sin adición no presente fisuras. Por otra parte, el mortero sin adición no presentó ninguna modificación notable a la vista.



Figura 35. Paneles de TiO_2 correspondiente al Primer mes.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 91.

Temperatura Máxima, Mínima y Humedad Relativa de la provincia y región de Arequipa, Mes de Noviembre 2020

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD
	MAX	MIN	RELATIVA (%)
01/11/2020	24.0	5.8	41.5
02/11/2020	25.2	7.8	36.8
03/11/2020	23.8	7.0	38.2
04/11/2020	24.8	7.8	64.9
05/11/2020	25.0	6.6	41.7
06/11/2020	26.4	10.2	43.4
07/11/2020	26.8	11.0	36.4
08/11/2020	27.2	11.6	41.7
09/11/2020	26.0	11.8	42.5
10/11/2020	25.2	10.8	39.5
11/11/2020	23.8	9.2	36.8
12/11/2020	23.6	8.8	35.9
13/11/2020	24.0	8.2	37.5
14/11/2020	25.0	8.2	40.3
15/11/2020	23.8	8.0	42.1
16/11/2020	22.8	7.2	40.5
17/11/2020	23.4	6.8	37.5
18/11/2020	24.4	7.8	36.5
19/11/2020	22.6	7.6	43.6
20/11/2020	24.4	7.4	36.1
21/11/2020	25.8	8.2	32.5
22/11/2020	26.8	10.0	33.3
23/11/2020	27.0	11.4	42.8
24/11/2020	26.8	11.6	40.9
25/11/2020	27.0	7.6	59.1
26/11/2020	24.6	11.6	34.9
27/11/2020	24.8	10.8	40.1
28/11/2020	24.0	10.4	52.6
29/11/2020	23.8	9.0	59.7
30/11/2020	27.2	8.8	52.7

Fuente: SENAMHI, 2021.

En la Figura 36 correspondiente al segundo mes, se observa que el panel con 0% de TiO_2 presenta polvo y demás contaminantes adheridos, que se pueden observar expresadas en manchas, mientras que el panel de 3% de TiO_2 solo posee una mínima cantidad de polvo y los otros dos paneles con mayores porcentajes de TiO_2 no presentan ninguna de estas.

En la Tabla 92, se observa que la temperatura máxima que se tuvo durante el mes fue de 26.2°C y la mínima fue de 8.2°C , la temperatura este mes fue menor al anterior, pero de la misma forma actuó fotocatalíticamente durante el día, por el contrario, al anterior mes, la temperatura no descendió mucho, lo que permitió que no suceda la fragmentación por gelifracción. También, se obtuvo una humedad relativa promedio de 55.4%, que permitió que el mortero con y sin adición no posean fisuras, ya que, se encuentran dentro del rango permitido.



Figura 36. Paneles de TiO_2 correspondiente al Segundo mes.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 92.

Temperatura Máxima, Mínima y Humedad Relativa de la provincia y región de Arequipa, Mes de Diciembre 2020

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD
	MAX	MIN	RELATIVA (%)
01/12/2020	24.0	11.8	54.3
02/12/2020	25.6	11.0	47.2
03/12/2020	24.8	13.2	52.8
04/12/2020	23.2	9.2	57.1
05/12/2020	25.2	11.4	56.6
06/12/2020	24.4	11.8	49.7
07/12/2020	25.4	11.6	45.6
08/12/2020	25.8	11.2	46.5
09/12/2020	26.0	10.2	41.3
10/12/2020	26.2	9.4	40.3
11/12/2020	23.2	10.0	40.2
12/12/2020	24.4	9.6	46.9
13/12/2020	25.2	10.4	46.3
14/12/2020	25.8	10.0	48.5
15/12/2020	26.2	8.6	49.5
16/12/2020	25.8	10.4	48.7
17/12/2020	23.6	10.8	52.2
18/12/2020	24.2	11.4	54.4
19/12/2020	24.8	11.8	51.4
20/12/2020	25.8	10.8	53.1
21/12/2020	25.0	9.0	57.6
22/12/2020	24.8	8.2	54.9
23/12/2020	25.8	13.8	66.7
24/12/2020	24.8	13.8	64.1
25/12/2020	24.8	13.4	67.4
26/12/2020	22.4	12.8	59.8
27/12/2020	20.0	10.4	62.9
28/12/2020	17.0	10.8	78.7
29/12/2020	19.6	10.0	81.7
30/12/2020	23.2	10.2	71.5
31/12/2020	24.8	12.8	69.4

Fuente: SENAMHI, 2021.

En la Figura 37 correspondiente al tercer mes, se registró presencia de lluvias, típica en nuestra ciudad en los meses de enero a marzo, esto nos permitió observar los diferentes comportamientos que tuvieron los paneles, en primer lugar, el panel con 0% de TiO_2 , absorbió una mayor cantidad de agua de lluvia a comparación de los otros paneles, y a medida que los paneles poseían mayor porcentaje de TiO_2 , estos se volvían más impermeables, verificando el ensayo de absorción realizado anteriormente.

En la Tabla 93, se observa que la temperatura máxima que se tuvo durante el mes fue de 26.2°C y la mínima fue de 9.4°C , la temperatura durante este mes se mantuvo constante al anterior, pero, por el contrario, de los anteriores meses, en este hubo precipitaciones pluviales, que hicieron que la propiedad hidrofóbica del TiO_2 se active y haga que las gotas de lluvia se repelan en los morteros con adición. También, se obtuvo una humedad relativa promedio de 62%, que permitió que el mortero con y sin adición no posean fisuras, pero si esta fuera mayor al 70% puede que se presentaran fisuras, según bibliografía.



Figura 37. Paneles de TiO_2 correspondiente al Tercer mes.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 93.

Temperatura Máxima, Mínima y Humedad Relativa de la provincia y región de Arequipa, Mes de Enero 2021

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)
	MAX	MIN	
01/01/2021	24.2	12.4	70.9
02/01/2021	23.0	12.8	70.7
03/01/2021	24.2	13.8	82.3
04/01/2021	25.0	11.2	73.7
05/01/2021	23.8	11.8	64.8
06/01/2021	22.8	12.0	70.9
07/01/2021	20.0	12.8	66.5
08/01/2021	23.8	12.0	64.7
09/01/2021	24.0	10.6	59.2
10/01/2021	24.8	11.2	59.1
11/01/2021	26.2	12.4	67.7
12/01/2021	24.0	12.8	65.3
13/01/2021	23.0	12.0	58.8
14/01/2021	21.6	13.2	70.0
15/01/2021	22.4	13.4	75.0
16/01/2021	23.2	12.4	71.4
17/01/2021	22.4	11.6	67.9
18/01/2021	24.0	10.0	56.1
19/01/2021	24.2	11.6	63.8
20/01/2021	25.2	11.0	66.3
21/01/2021	23.6	11.0	57.1
22/01/2021	24.0	12.6	61.5
23/01/2021	24.6	13.8	60.1
24/01/2021	23.8	12.8	60.8
25/01/2021	25.2	13.8	56.4
26/01/2021	24.8	13.4	50.3
27/01/2021	25.6	9.6	46.8
28/01/2021	26.0	9.6	44.7
29/01/2021	25.4	9.6	44.8
30/01/2021	25.4	9.4	48.8
31/01/2021	26.2	13.2	45.7

Fuente: SENAMHI, 2021.

En la Figura 38 correspondiente al cuarto mes, se observó que a pesar de que los paneles adicionados con TiO_2 se encontraban en contacto con el medio ambiente cambiante (altas temperaturas en las mañanas, bajas temperaturas en la noche, y lluvias), estos seguían presentando su color blanquecino y sin manchas, mientras que el panel que no tenía aditivo se encontraba con manchas provocadas por la lluvia y otras partículas, además de polvo adherido.

En la Tabla 94, se observa que la temperatura máxima que se tuvo durante el mes fue de 27°C y la mínima fue de 5.8°C , durante este mes las precipitaciones pluviales ocurrieron en menor frecuencia, y se presentó el sol con mayor periodicidad lo que permitió que la propiedad fotocatalítica se active y ayude a la limpieza de los morteros con adición de TiO_2 . Además, durante este mes se obtuvo la mayor humedad relativa promedio de 62.92%, pero de igual forma el mortero con y sin adición no tuvieron fisuras.

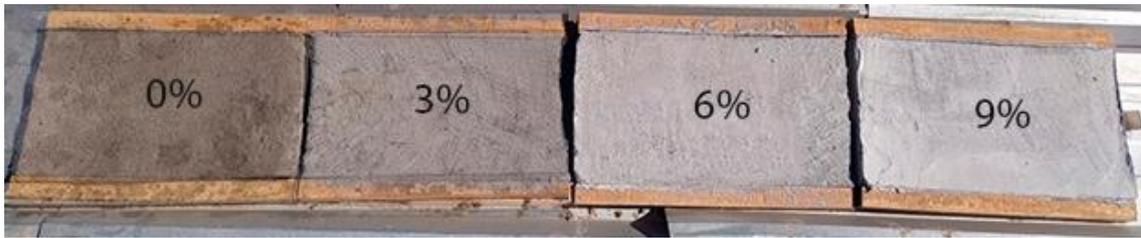


Figura 38. Paneles de TiO_2 correspondiente al Cuarto mes.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 94.

Temperatura Máxima, Mínima y Humedad Relativa de la provincia y región de Arequipa, Mes de Febrero 2021

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)
	MAX	MIN	
01/02/2021	26.0	12.6	52.9
02/02/2021	25.8	14.2	57.5
03/02/2021	26.4	14.2	60.8
04/02/2021	25.2	12.4	65.4
05/02/2021	25.8	12.6	58.3
06/02/2021	24.6	13.0	74.0
07/02/2021	26.0	11.8	67.8
08/02/2021	24.8	12.8	72.5
09/02/2021	24.2	12.6	69.4
10/02/2021	24.6	11.2	65.4
11/02/2021	25.0	12.0	79.4
12/02/2021	24.0	9.8	57.0
13/02/2021	25.2	11.6	73.2
14/02/2021	24.8	11.0	62.6
15/02/2021	25.2	10.2	58.5
16/02/2021	24.0	9.4	57.8
17/02/2021	23.6	9.4	61.7
18/02/2021	24.2	9.4	59.8
19/02/2021	25.0	5.8	53.2
20/02/2021	25.4	11.0	43.8
21/02/2021	25.0	10.6	53.6
22/02/2021	23.8	12.2	65.8
23/02/2021	25.4	13.4	66.1
24/02/2021	26.0	12.6	63.2
25/02/2021	26.4	12.8	58.3
26/02/2021	27.0	12.6	69.5
27/02/2021	26.6	13.2	67.3
28/02/2021	25.2	11.4	67.0

Fuente: SENAMHI, 2021.

Gracias a todas estas figuras y tablas, podemos concluir que a medida que se adicionó TiO_2 en mayor proporción a los paneles, estos cerraron los poros del mortero haciendo que el agua no penetre al interior, previniendo hongos y ácaros, además de permitir que el polvo no se adhiera al panel. Las altas temperaturas permitieron que se active su propiedad fotocatalítica, y la humedad relativa característica del distrito de Arequipa permitió que los paneles de mortero con y sin adición no presenten fisuraciones.

6.1.6. Comportamiento Autolimpiante

De la Figura 39 a la Figura 43, se aprecian los cambios que han ido teniendo los morteros de TiO_2 durante cada hora, desde las 8.30 am hasta la 1.30 pm, donde se tiene una mayor presencia del sol. Este ensayo nos permitirá verificar el comportamiento autolimpiante característico en el TiO_2 verificada por el ensayo de rodamina.

En la Figura 39 correspondiente a la primera hora, se observa que los pigmentos colocados se evaporaron, dejando solo la mancha característica dependiendo del color inicial de esta. Por otro lado, los morteros adicionados con 6% y 9% de TiO_2 mantuvieron superficialmente las sustancias, mientras que los morteros con 0% y 3% de TiO_2 absorbieron en su interior los pigmentos.



Figura 39. Morteros de TiO_2 correspondiente a la Primera hora – 9:30 am.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 40 correspondiente a la segunda hora, se observa que el color no varió mucho entre los paneles, solo perdieron un poco de pigmento, por otro lado, el mortero con 0% de TiO_2 presenta adherido polvo a su superficie.



Figura 40. Morteros de TiO_2 correspondiente a la Segunda hora – 10:30 am.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 41 correspondiente a la tercera hora, se observa que el pigmento verde de la anilina se está desapareciendo en cada uno de los morteros, y los paneles adicionados con TiO_2 presentan mayor cantidad de limpieza.



Figura 41. Morteros de TiO_2 correspondiente a la Tercera hora – 11:30 am.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 42 correspondiente a la cuarta hora, se observó que los morteros que poseían TiO_2 en su composición, los pigmentos iban perdiendo nitidez y se iban consumiendo a medida que el sol estaba en su más alto grado de contacto, en cambio, el mortero con 0% de aditivo permaneció siendo constante.



Figura 42. Morteros de TiO_2 correspondiente a la Cuarta hora – 12:30 pm.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 43 correspondiente a la quinta hora, se observó la presencia de lluvias, que permitió observar su propiedad hidrofóbica, además de observar que luego de secar, los paneles con aditivo poseían los pigmentos casi invisibles, mientras el mortero con 0% de TiO_2 , presento suciedad en su superficie y luego de limpiar la fina capa de esta que poseía se volvió a observar los pigmentos vertidos.



Figura 43. Morteros de TiO₂ correspondiente a la Quinta hora – 1:30 pm.
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se concluyó que a medida que se adicionó el TiO₂, los morteros se autolimpiaron en contacto con el sol, esto se debe a la propiedad fotocatalítica que presenta nuestro aditivo. En cambio, el mortero con 0% de TiO₂ no obtuvo el mismo resultado, ya que durante las 5 horas permaneció con el mismo color y sin autolimpiarse.

6.1.7. Análisis de Costos

Como se muestra en la Tabla 39, el costo del mortero aumenta linealmente de acuerdo con la cantidad de TiO₂ agregado, aumentándose el costo en 220%, 339% y 459% para morteros adicionados con 3%, 6% y 9% de dióxido de titanio, respectivamente. En el Gráfico 49, se observa el incremento en el costo debido a la adición de diferentes porcentajes de dióxido de titanio.

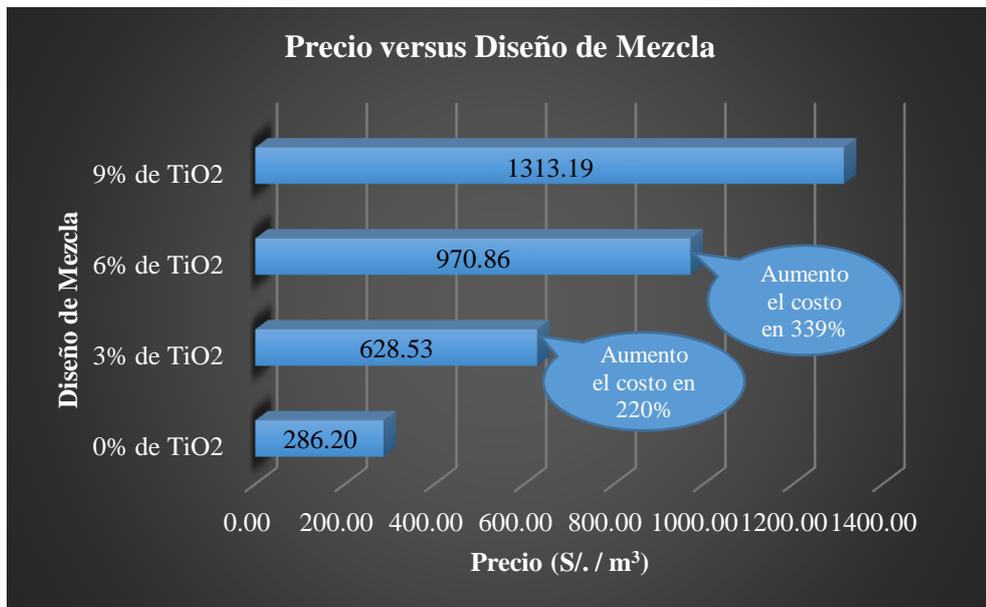


Gráfico 49. Costo unitario de Mortero en Base al diseño con 0% de TiO₂
Fuente: Elaboración Propia

Con el fin de complementar el informe de costo-beneficio, se obtuvo el costo de limpieza de fachadas en estructuras de mortero, a través de la página Generador de Precios. Rehabilitación Perú (CYPE Ingenieros, S.A.), tomando en cuenta un promedio de acuerdo con el estado de conservación de la fachada y el grado de dificultad, como se muestra en la Tabla 95.

Tabla 95.

Costo por 1m², limpieza de fachadas superficiales.

Limpieza mecánica de fachada de mortero en estado de conservación regular, mediante proyección de spray de agua atomizada (tamaño de gota 1 µm) a baja presión (hasta 5 atm).

Estado de Conservación	Grado de Complejidad	P.U. (m ²)
Regular	Medio	17.77
Regular	Alto	19.36
Malo	Medio	19.36
Malo	Alto	21.13
PROMEDIO:		19.405

Fuente: CYPE Ingenieros, S.A.

Para realizar un correcto análisis de beneficio-costos, es necesario calcular el consumo de mortero en los componentes en donde se aplicará. En el caso de mortero, corresponde a un revestimiento de forma recta (aplanada) de 2.5 cm de espesor, como se muestra en la Tabla 96 se halla el volumen requerido de mortero para 1 m² de aplanado con mortero y su correspondiente costo.

Tabla 96.

Costo de mezcla de mortero en 1m² de aplanado.

Costo mezcla de mortero en 1m ² de aplanado						
Tipo de Mortero	P.U. (m ³)	Lado (m)	Lado (m)	Espesor (m)	Vol. (m ³)	P.U. (m ²)
0% de TiO ₂	286.20	1	1	0.025	0.025	7.16
3% de TiO ₂	628.53	1	1	0.025	0.025	15.71
6% de TiO ₂	970.86	1	1	0.025	0.025	24.27
9% de TiO ₂	1,313.19	1	1	0.025	0.025	32.83

Fuente: Elaboración Propia

6.1.7.1. Análisis beneficios-costos

El análisis de beneficio costo se llevó a cabo mediante una comparativa de gasto inicial y gastos de mantenimiento a un periodo de 10 años, consultando el costo a expertos en la materia, tomando en cuenta que el mantenimiento de las fachadas se realiza cada dos años en morteros sin adición de TiO₂, y a cada 5 años en morteros adicionados con 3%, 6% y 9% de TiO₂.

A su vez, se calculó el incremento anual en el mantenimiento de fachadas, el cual se obtuvo del valor promedio del índice IPC de Perú de los años 2012 a 2021. Debido a que el valor promedio del índice IPC ha variado en los últimos años, se optó por tomar un índice promedio del IPC. A continuación, en la Tabla 97, se presentan el presupuesto de morteros sin adición y con adición de dióxido de titanio.

Tabla 97.

Análisis de Flujo Económico en Morteros con y sin adición de TiO₂.

Promedio IPC 2012 a 2021	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	1.612%	
Costo de Mantenimiento	S/ -19.41	S/ -19.72	S/ -20.04	S/ -20.36	S/ -20.69	S/ -21.02	S/ -21.36	S/ -21.70	S/ -22.05	S/ -22.41	S/ -22.77			
N° de Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			TOTAL
EGRESOS MORTERO CON 0% DE TiO₂														
Costo de Fabricación	S/ -7.16	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -7.16									
Costo de Mantenimiento	S/ -	S/ -	S/ -20.04	S/ -	S/ -20.69	S/ -	S/ -21.36	S/ -	S/ -22.05	S/ -	S/ -22.77	S/ -	S/ -22.77	S/ -106.90
Total de Egresos	S/ -7.16	S/ -	S/ -20.04	S/ -	S/ -20.69	S/ -	S/ -21.36	S/ -	S/ -22.05	S/ -	S/ -22.77	S/ -	S/ -22.77	S/ -114.06
N° de Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
EGRESOS MORTERO CON 3% DE TiO₂														
Costo de Fabricación	S/ -15.71	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -15.71									
Costo de Mantenimiento	S/ -	S/ -21.02	S/ -	S/ -	S/ -22.77	S/ -43.79								
Total de Egresos	S/ -15.71	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -21.02	S/ -	S/ -	S/ -22.77	S/ -59.50				
N° de Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
EGRESOS MORTERO CON 6% DE TiO₂														
Costo de Fabricación	S/ -24.27	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -24.27									
Costo de Mantenimiento	S/ -	S/ -21.02	S/ -	S/ -	S/ -22.77	S/ -43.79								
Total de Egresos	S/ -24.27	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -21.02	S/ -	S/ -	S/ -22.77	S/ -68.06				
N° de Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
EGRESOS MORTERO CON 9% DE TiO₂														
Costo de Fabricación	S/ -32.83	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -32.83									
Costo de Mantenimiento	S/ -	S/ -21.02	S/ -	S/ -	S/ -22.77	S/ -43.79								
Total de Egresos	S/ -32.83	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -21.02	S/ -	S/ -	S/ -22.77	S/ -76.62				

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en la Gráfica 50, que el gasto proyectado a 10 años por mantenimiento y por costo inicial es mayor en la mezcla sin adición de dióxido de titanio (TiO_2), en comparación de las mezclas adicionadas con 3%, 6% y 9% de TiO_2 , las cuales presentan un ahorro a los diez años entre el 48%, 40% y 33% respectivamente.

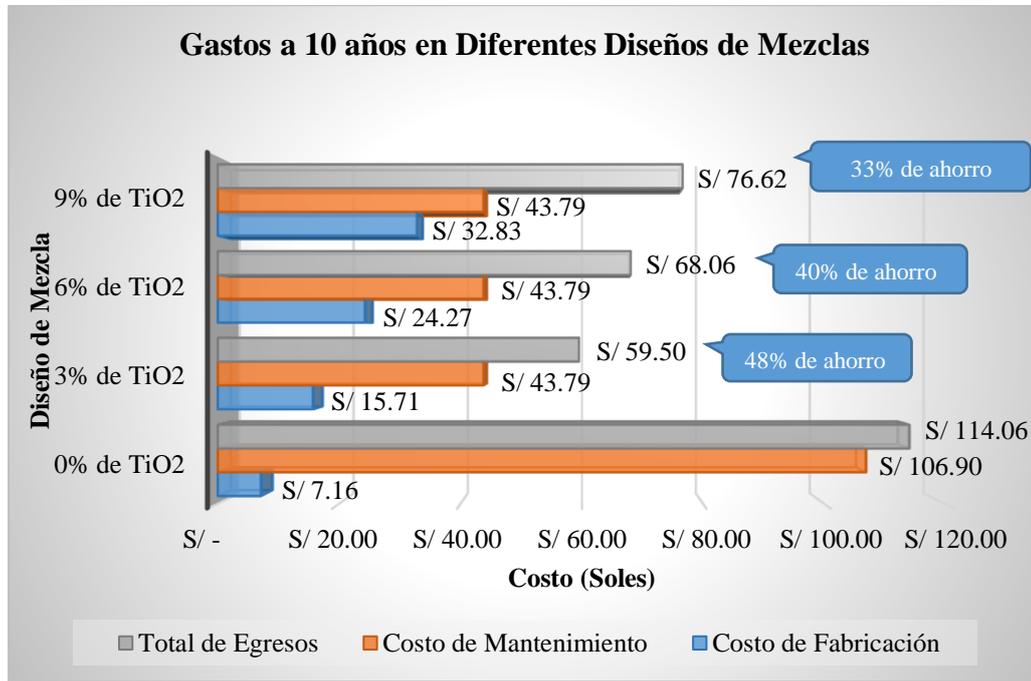


Gráfico 50. Gastos a 10 años en diferentes Diseños de Mezclas.

Fuente: Elaboración Propia

A partir de todas las tablas, gráficos y figuras anteriormente desarrolladas, se pudo verificar que la relación existente entre el beneficio y el costo es factible. A pesar de que los morteros adicionados con 3%, 6% y 9% de TiO_2 fueron más caros con respecto a la muestra con 0% de TiO_2 por 220%, 339% y 459% respectivamente, ellos mostraron que tenían un beneficio mayor en un periodo proyectado de diez años presentando un ahorro de 48%, 40% y 33% respectivamente.

CONCLUSIONES

El objetivo principal de la presente tesis, fue el de analizar el efecto del dióxido de titanio en diferentes proporciones dentro del mortero, comparándolo con uno convencional y analizando sus propiedades físico – mecánicas y químicas, extrayendo así las siguientes conclusiones:

- 1) Se concluye, a partir de todas las pruebas realizadas, el porcentaje de adición óptimo es el de 3% de TiO_2 , debido a sus propiedades fotocatalíticas, de autolimpieza, de impermeabilidad, de fluidez y de hidrofobicidad.
- 2) Se concluye que, según el ensayo de fluidez, el mortero patrón con 0% y el mortero óptimo con 3% de TiO_2 , tuvieron 113.83% y 106.94% respectivamente, estos cumplieron con la fluidez plástica necesaria para tarrajeos, mientras que los que tuvieron un mayor porcentaje de aditivo, tuvieron una consistencia seca.
- 3) Se concluye que, según el ensayo de absorción, a medida que se aumentaba el porcentaje de TiO_2 disminuía la absorción del mortero siendo conveniente para prever los hongos y aumentar su durabilidad, por ende, en este ensayo el mortero que mejor actuó fue el mortero con 9% de TiO_2 .
- 4) Se concluye que, según el ensayo de intemperismo, los paneles que contenían el aditivo al entrar en contacto a temperaturas altas y en contacto directo con el sol, poseían la actividad fotocatalítica y su propiedad hidrófoba, esto lo observamos, ya que mantuvo su color blanquecino en todo el proceso de observación y, cuando se presentaron lluvias estas no fueron absorbidas, además se eligieron los meses seleccionados porque mostraban condiciones ambientales adversas.
- 5) Se concluye que, según el ensayo de comportamiento autolimpiante, se observó al igual que los paneles, los morteros con adición de TiO_2 poseían la propiedad autolimpiante, eliminando de esta forma todos los pigmentos vertidos en su superficie.
- 6) Se concluye que, según sus propiedades mecánicas, a los 28 días, el mortero patrón obtuvo una resistencia a la compresión de 182.70 kg/cm^2 ; por ello, se ha determinado que existe una disminución de 3.76% (3% de TiO_2), 7.87% (6% de TiO_2), 12.53% (9% de TiO_2), con respecto al mortero patrón, pero todos ellos continuaron siendo mayores al diseño que fue de 130 kg/cm^2 , por lo que no se vio afectado directamente.
- 7) Se concluye que, según sus propiedades químicas, del ensayo de rodamina se obtuvo que todos los morteros que contaban con adición de TiO_2 poseían actividad fotocatalítica adquiriendo así la propiedad de autolimpieza, pero a partir del mortero con 9% de TiO_2 la decoloración disminuyó, ya que no tenía poros para rellenar, por ello no es necesario adicionar una mayor proporción de aditivo.

- 8) Se concluye que el costo beneficio de nuestro aditivo es económicamente factible, ya que, a pesar de que los morteros con 3%, 6% y 9% de TiO_2 tienen un costo de producción superior de 220%, 339% y 459% respectivamente, estos tienen un ahorro de 48%, 40% y 33% a lo largo de los diez años posteriores, lo que es beneficioso porque su coloración no se verá afectada por las manchas causadas principalmente por la polución, y así enfrentar el creciente problema de emisiones contaminantes que presenta nuestra ciudad.

RECOMENDACIONES

Una vez finalizado el presente trabajo de investigación y realizados los diferentes análisis, se puede extraer las siguientes recomendaciones:

- 1) Se recomienda realizar pruebas de pH para las dosificaciones analizadas, para descartar problemas de ataques químicos en periodos mayores a 365 días.
- 2) Se recomienda realizar análisis químicos de la fase en la que se encuentra el dióxido de titanio (rutilo, anatasa, brookita e ilmenita), para realizar diferentes diseños de mezcla con sus diferentes fases y observar los distintos resultados.
- 3) Se recomienda realizar pruebas de adherencia sobre superficies lisas, de acuerdo con los procesos constructivos de edificaciones.
- 4) Se recomienda utilizar el cemento tipo IP con diferentes porcentajes de adición de TiO_2 , para comprobar sus propiedades mecánicas (resistencia a la compresión) y de durabilidad.
- 5) Se recomienda realizar pruebas de adherencia para base imprimante y pinturas para exteriores a base de pigmentos.
- 6) Se recomienda que en la preparación de la mezcla se debe seguir estrictamente el proceso de producción y de ensayos de control de calidad, ya que, una preparación inadecuada del mortero puede generar fisuras, aumentando así la absorción de la humedad.
- 7) Se debe garantizar el proceso de curado del mortero durante mínimo 7 días; de esta forma, se reducen las microfisuras y por ende su absorción a la humedad.
- 8) Se debe considerar el correcto diseño de mezcla con esta adición, para que las diferentes superficies que estén sometidas a fuentes de humedad tengan una disminución de absorción.
- 9) Se recomienda desencofrar las probetas (50mm x 50mm x 50mm) en 24 horas como mínimo a su posterior realización para evitar roturas de los cubos en sus aristas o en su cuerpo.
- 10) Se recomienda realizar el ensayo de tiempo de fragua con el penetrómetro (ASTM 403) (NTP 339.082) para obtener los tiempos de fraguado de la mezcla.
- 11) Se recomienda mezclar con aditivos de funcionalidades distintas, para estudiar nuevos comportamientos en las propiedades de desempeño.
- 12) Se recomienda realizar más investigaciones de la disminución de la absorción en el campo de la construcción, teniendo en cuenta siempre un marco convenientemente funcional y económico.

- 13) Se recomienda realizar pruebas de permeabilidad para que se pueda considerar como un mortero de impermeabilización, utilizado en estructuras que sean sometidas bajo presión de agua como reservorios.
- 14) Se recomienda generar una norma específicamente para morteros, en el cual se haga diferenciación entre morteros de pega, de relleno y de revestimiento, con las respectivas características y especificaciones que merece cada tipo, ya que en la normativa actual no se encuentra mucha información sobre ello.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELLA, G. Mejora de las propiedades de materiales a base de cemento que contienen TiO_2 : propiedades autolimpiantes. Tesis (Master en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015. Disponible en: https://oa.upm.es/38343/1/Tesis_master_Gonzalo_Abella_Rodriguez.pdf
- ARQUITECTURAYEMPRESA. Hormigón auto limpiante. [En línea]. Valencia : aye, 2014 [Fecha de consulta: 22 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/hormigon-auto-limpiante>
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM – C109: Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Muestras Cúbicas de 2 pulgadas), 2021.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM-C117: Método de ensayo normalizado para materiales más finos que una criba No. 200 (75 μ m) en agregados minerales mediante lavado, 2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM-C128: Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos, 2015.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM-C136: Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos, 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM-C138: Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto, 2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM-C150: Especificación Normalizada para Cemento Portland, 2021.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM-C29: Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados, 2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM-C33: Especificación Normalizada para Agregados para Concreto, 2003.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM-C494: Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto, 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Perú). ASTM-C566: Método Estándar para medir el contenido total de humedad en agregados mediante secado, 2019.

- ANCORA, R., BORSA, M., CASSAR, L. Titanium dioxide based photocatalytic composites and derived products on a metakaolin support. [En línea]. Italia: Italmecementi, 2009. Disponible en:
<https://patentimages.storage.googleapis.com/d4/07/06/a7a2d85c2657bf/WO2009080647A1.pdf>
- BALLARI, M., HUNGER, M., HÜSKEN, G., BROUWERS, H. NO_x photocatalytic degradation employing concrete pavement containing titanium dioxide. [En línea]. The Netherlands: Applied Catalysis B: Environmental, 2010. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926337310000081>
- BENAVIDES, F. Efecto del dióxido de titanio (TiO₂) en la resistencia a la compresión del concreto auto limpiante en Colombia. Tesis (Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil). Colombia: Universidad de La Salle, 2016. Disponible en:
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1090&context=ing_civil
- BENEDIX, R., DEHN, F., MARKO, J. Application of titanium dioxide photocatalysis to create self-cleaning building materials. [En línea]. Canadá: Lacer N°5, 2000. Disponible en:
<https://d3pcsg2wj9izr.cloudfront.net/files/24683/download/23222/Self-CleanMaterials.pdf>
- BERMEJO, M. Fotocatálisis y su capacidad descontaminante. Aplicación en Gran Vía. Tesis (Trabajo de Grado para Optar al Grado de Fundamentos de la Arquitectura). Madrid : E.T.S. Arquitectura (UPM), 2018. Disponible en:
https://oa.upm.es/49612/1/TFG_Bermejo_Fernandez_Marina.pdf
- BLANCO, J. Detoxificación fotocatalítica de efluentes industriales. [En línea]. España: Plataforma Solar de Almería, 1997. Disponible en: [Dialnet-DetoxificacionFotocataliticaDeEfluentesIndustriale-566686.pdf](http://dialnet-DetoxificacionFotocataliticaDeEfluentesIndustriale-566686.pdf)
- BLÖß, S., ELFENTHAL, L. Doped titanium dioxide as a photocatalyst for UV and visible light. [En línea]. Florence: Proc. Int. RILEM Symposium on Photocatalysis, Environment and Construction Materials, 2007. Disponible en:
<https://www.rilem.net/images/publis/9d0cabdca68829cbd8f3e2795c61079e.pdf>
- BOEHM, H.P. Surface chemical characterization of carbons from adsorption studies. [En línea]. United States: Bottani and Tascón Editors, 2008. Disponible en:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/anie.196406691>
- BOGUTYN, S., ARBOLEDA, C., BORDELON, A., TIKALSKY, P. Rejuvenation techniques for mortar containing photocatalytic TiO₂ material. [En línea]. Utah: Construction and Building Materials, 2015. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061815302142>

- BORGARELLO, E. TX Active Principio activo fotocatalítico. [En línea]. Málaga: Italcementi Group, 2012. Disponible en: <https://www.prefabricadossanblas.com/uploaddoc/contenidos/1/DossierTXActive.pdf>
- BOUBEL, R., TURNER B., FOX, D., STERN A. Fundamentals of Air Polution. [En línea]. USA: Ed. Academic Press, 1994. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780080507071/fundamentals-of-air-pollution>
- BROTO, C. Enciclopedia Broto de Patología de la Construcción. [En línea]. Barcelona : Ed. Links International, 2006. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/110719747/Enciclopedia-Broto-de-Patologias-de-La-Construccion-MOD>
- CALVO, M. Minerales y Minas de España. [En línea]. Madrid : Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, 2009. Disponible en: <http://milksci.unizar.es/min.html>
- CALVO, D., MOLINA, M., SALVACHÚA, J. Ciencias de la tierra y Medioambientales. [En línea]. España: McGraw Hill Education, 2009. Disponible en: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448609395.pdf>
- CERÓN, Z. Análisis Probabilístico del Concreto de Alta Resistencia. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2013. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1081/2/AN%c3%81LISIS%20PROBABLE%c3%8dSTICO%20DEL%20CONCRETO%20DE%20ALTA%20RESISTENCIA.pdf>
- COHEN, J. Evaluación de Propiedades Fotocatalíticas de Cemento adicionado con Nanopartículas de TiO_{2-x}N_x (Oxinitruro de Titanio). Tesis (Master en Ingeniería de Materiales y Procesos). Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2015. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56304/1047405232.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CONKO, K., RICE, K., KENNEDY, M. Atmospheric wet deposition of trace elements to a suburban environment. [En línea]. Virginia : Atmospheric Environment, 2004. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/223426839_Atmospheric_wet_deposition_of_trace_elements_to_a_suburban_environment_Reston_Virginia_USA
- COTTON, A., WILKINSON, G. Química Inorgánica Avanzada. Wiley, S.A. : Editorial Limusa, 1973.
- CYPE INGENIEROS, S.A. Generador de Precios - Rehabilitación. [En línea]. Perú, 2021. [Fecha de consulta: 03 de Abril de 2021]. Disponible en: http://www.peru.generadordeprecios.info/rehabilitacion/calculaprecio.asp?Valor=5|0|FZB030|fzb_limp_agua%20atomizada:_0_1_1_0_0_0.
- DE LA HOZ, F. Desinfección de aguas de uso agrícola, mediante la utilización de un fotocatalizador inmovilizado en mortero de cemento y activado por luz solar. Tesis (Doctor en Ingeniería

- Agrícola, con mención en Recursos Hídricos). Chillán : Universidad de Concepción, Dpto. Recursos Hídricos, 2009. Disponible en: <http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/1431/1/Desinfecci%C3%B3n%20de%20aguas%20de%20uso%20agr%C3%ADcola%20mediante%20la%20utilizaci%C3%B3n%20de%20un%20fotocatalizador%20inmovilizado.pdf>
- DE LA SOTTA, J. Análisis comparativo entre mortero de junta para albañilería fabricado en obra y mortero premezclado húmedo para albañilería. Tesis (Título de Ingeniero Constructor). Chile : Universidad Austral de Chile, 2010. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcis718a/doc/bmfcis718a.pdf>
- DEZA, E. Estudio de catalizadores basados en nanopartículas de TiO₂ para la degradación fotocatalítica del colorante cibacrón navy H-2G presente en efluentes textiles. Tesis (Master en Química con Mención en Fisicoquímica). Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos , 2017. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6801/Deza_me.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- DKV. Causas de la Contaminación Atmosférica. [En línea]. España: DKV Seguros, 2019 [Fecha de consulta: 27 de Octubre de 2020.] Disponible en: <https://360.dkvseguros.com/medioambiente/contaminacion/causas-de-la-contaminacion-atmosferica>
- ECURED. Mineralización. [En línea]. Cuba: EcuRed. [Fecha de consulta: 15 de Junio de 2020.] Disponible en: <https://www.ecured.cu/Mineralizaci%C3%B3n>
- EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural . España, 2008.
- ELIZONDO, V., GEIDEL, O. Resistencia vs. relación A/C del concreto a tres edades y con dos tipos de cemento (UG y MPAR). Proyecto final (Licenciatura en Ingeniería en Construcción). Costa Rica : Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2013. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3211/resistencia_relacion_ac_concreto_tres_edades.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FERNÁNDEZ, M. Hormigón. España: Séptima edición, 2004.
- FUENTES, T., VAZQUEZ, C. Y VAZQUEZ, K. Incorporación de nanomateriales en el concreto fotocatalítico para la reducción de NO_x y CO₂. [En línea]. Bolivia : Revista de Energía Química y Física, 2016. Disponible en: https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol3num8/Revista_Energia_Quimica_Fisica_V3_N8_6.pdf

- FUJISHIMA, A., HONDA, K. Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. Japón: Nature, 1972.
- FUJISHIMA, A., ZHANG, X. Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. [En línea]. Japón: Comptes Rendus Chimie, 2006. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631074805003036>
- FUJISHIMA, A., HASHIMOTO, K. Y WATANABE, T. TiO₂ photocatalysis. [En línea]. Tokyo: Fundamentals and applications, 1999. Disponible en: https://www.jsap.or.jp/jsapi/Pdf/Number14/04_JJAP-IRP.pdf
- FUJISHIMA, A., RAO, T., TRYK, D. Titanium dioxide photocatalysis. [En línea]. Japan: Photochemistry, 2000. Disponible en: <http://www.solarwaterworks.org/about/tech/Titanium%20dioxide%20photocatalysis.pdf>
- GALLARDO, L., ESCRIBANO, J., DAWIDOWSKI, L., ROJAS, N., ANDRADE, M., OSSES, M. Evaluation of vehicle emission inventories for carbon monoxide and nitrogen oxides. [En línea]. Bogotá, Buenos Aires, Santiago, and Sao Paulo : Atmospheric Environment, 2012. Disponible en: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/125630/Gallardo_Laura.pdf;jsessionid=F20B9F1E5088B7110EE65CAB64F9130E?sequence=1
- GIRALDO, C., MENDOZA, O., TOBÓN J., RESTREPO, J. Durabilidad del Cemento Portland blanco adicionado con Pigmento azul ultramar. [En línea]. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2010. Vol. 77. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49620414005.pdf>
- GONZALÉZ, I. Uso de morteros catalíticos sobre paneles, para el análisis de la reducción de partículas contaminantes en el aire. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Colombia : Universidad Católica de Colombia, 2017. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14777/1/USO%20DE%20MORTEROS%20CATAL%20C%3%8DTICOS%20SOBRE%20PANELES,%20PARA%20EL%20AN%20C%3%8LISIS%20DE%20LA%20REDUCCI%20C%3%93N%20DE%20PART%20C%3%8DCULAS%20CONTAMINANTES%20EN%20EL%20AIRE.pdf>
- HAIDER, A., AL- ANBARI, R., RASIM, G., SALAME, C. Exploring potential Environmental applications of TiO₂ Nanoparticles. [En línea]. Iraq : Energy Procedia, 2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217326711>
- HASHIMOTO, K., IRIE, H., FUJISHIMA, A. TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects. [En línea]. Japan: Japanese Journal of Applied Physics, 2005. Disponible en: https://www.jsap.or.jp/jsapi/Pdf/Number14/04_JJAP-IRP.pdf

- HASSAN, M., LOUAY, M., COOPER, S., DYLLA, H. Evaluation of the durability of titanium dioxide photocatalyst coating for concrete pavement. [En línea]. United States: Construction and building materials, 2010. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061810000218#:~:text=Evaluation%20of%20concrete%20pavements%20treated,source%20of%20pollution%20%5B4%5D>.
- HERNANDEZ, R., FERNANDEZ, C., BAPTISTA, P. Metodología de la investigación. [En línea]. México DF : McGraw - Hill Interamericana de México, 1991. Disponible en: https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- HERRMANN, J., DUCHAMP, C., KARKMAZ, B., LACHHEB, H. PUZENAT, E., GUILLARD, C. Environmental green chemistry as defined by photocatalysis. [En línea]. France: Hazardous Materials, 2007. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407005559>
- HOFFMANN, M., MARTIN, S., CHOI, W., BAHNEMANN, D. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. [En línea]. California : Chem. Rev., 1995. Disponible en: <http://web.missouri.edu/~glaserr/3700s15/cr00033a004.pdf>
- HOUSECROFT, C., SHARPE, A. Inorganic Chemistry. Dunfermline: Prentice Hall, 2005. 2nd Edition.
- HÜSKEN, G., HUNGER, M., BROUWERS, H. Experimental Study of Photocatalytic Concrete Products for Air Purification. The Netherlands: Building and Environment, 2009. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132309001152>
- INECC. Efectos de los contaminantes del aire en la Salud Humana. [En línea]. México: Gobierno de México, 2007. [Fecha de Consulta: 2020 de Octubre de 27]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/574/cap5.pdf>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. Principios de Medición de la Calidad del Aire. [En línea]. México: Sinaica, 2010. Manual 1. Disponible en: <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- JENCKS, W. Catalysis in Chemistry and Enzymology. New York : McGraw-Hill, 1969.
- JIMENEZ, D., MORENO, J. Efecto del Reemplazo del Cemento Portland por Dióxido de Titanio en las Propiedades Mecánicas del Mortero. [En línea]. Cali : Pontificia Universidad Javeriana Cali, 2016. Disponible en: <http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/7627/ARTICULO+-EFECTO+DEL+REEMPLAZO+DEL+CEMENTO+PORTLAND+POR+DIOXIDO+DE>

- +TITANIO+EN+LAS+PROPIEDADES+MECANICAS+DEL+MORTERO.pdf?sequence=9
- KURTH, J. Mitigating biofilm growth through the modification on concrete design and practice. Tesis (Master en Ciencias en Ingeniería Civil). Georgia: Georgia Institute of Technology, 2007.
- LA WEB DE FÍSICA. Interacción fotón - electrón. [En línea]. 2015. [Fecha de consulta: 5 de Mayo de 2017.] Disponible en: <https://forum.lawebdefisica.com/blogs/alriga/316739-interacci%C3%B3n-fot%C3%B3n-electr%C3%B3n>
- LOWRY, T. The uniqueness of hydrogen. London: Journal of the Society of Chemical Industry, 1923.
- MARTÍNEZ, K. Efecto del Dióxido de Titanio (TiO₂) en el Comportamiento del Mortero de Cemento Pórtland Tipo I para Fachadas - Lima Metropolitana (2018). Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2019. Disponible en: http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/1973/TESIS_MART%c3%8dNEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MASEL, R. Chemical Kinetics and Catalysis Wiley-Interscience. New York: University of Tennessee, 2001.
- MAURY, A., DE BELIE, N. State of the art of TiO₂ containing cementitious materials: self-cleaning properties. [En línea]. Bélgica: Revista Materiales de construcción, 2010. Disponible en: <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/243/289>
- MEDINA, E. Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades autolimpiables y mecánicas del mortero de cemento - arena 1:4 - Cajamarca. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2017. Disponible en: https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1007/T016_46420160_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MINAM. Informe Nacional de la Calidad del Aire. [En línea]. 2013. [Fecha de consulta: 10 de Noviembre de 2020.] Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- MONTEAGUDO, S. Estudio microestructural y de los procesos de hidratación del cemento con adiciones. Tesis (Doctor de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2014. Disponible en: https://oa.upm.es/30409/1/Silvia_Monteagudo_Viera.pdf
- MULLER, P. IUPAC Recommendations - Glossary of Terms Used in Physical Organic Chemistry. Suisse: Université de Genève, 1994. Disponible en: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac199466051077/html>

- NEVILLE, A.M. Tecnología del concreto. México : Editorial Limusa, 1988. Tomo II.
- NIÑO, J. Tecnología del concreto. Bogotá D.C : Asocreto, 2010. Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas. Tercera edición.
- NORHASRI, M., HAMIDAH, M., FADZIL, A. Applications of using nano material in concrete: A review. Malaysia: Construction and Building Materials, 2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816319110>
- NOVAIS, J. La contaminación atmosférica en el deterioro del patrimonio monumental : Medidas de prevención. Madrid : Instituto de Geología Económica, 2007.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-334.051 : Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50mm de lado, 2019.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-334.057 : Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Portland, 2019.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-339.088: Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de Cemento Portland. Requisitos, 2014.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-339.185: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado, 2013.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-339.631: Método de ensayo normalizado para la tasa de absorción del agua de morteros de albañilería, 2013.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-400.010: Extracción y preparación de las muestras, 2011.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, 2013.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-400.017: Método de ensayo para determinar el Peso Unitario del agregado, 2011.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-400.018: Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75µm (N° 200) por lavado de agregados, 2013.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-400.021: Método de ensayo para determinar el Peso Específico y Absorción del agregado grueso, 2013.
- NORMA TÉCNICA PERUANA (Perú). NTP-400.037: Requisitos del Agregado, 2018.
- OHAMA, Y., VAN GEMERT, D. Applications of Titanium Dioxide Photocatalysis to Construction Materials. Switzerland: Springer, 2011.
- O'REGAN, B., GRATZEL, M. A low cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. Switzerland: Institute of Physical Chemistry, 1991.

- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD & ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe. Washington: Organización Mundial de la Salud, 2005. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=AC971F5F784736B772121A958EC6B9B7?sequence=1
- OUZZINE, M. Materiales basados en nanopartículas de TiO₂ para la oxidación fotocatalítica de propeno en fase gas a baja concentración. España : Universidad de Alicante, 2014.
- PAZ, Y. Application of TiO₂ Photocatalysis for Air Treatment: Patents. Israel: Applied Catalysis B: Environmental, 2008. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926337310002109>
- RADIATION DOSIMETRY. Qué es la semiconductividad – Teoría de bandas – Definición. [En línea]. 2020. [Fecha de consulta : 10 de Marzo de 2020.]. Disponible en: <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-la-semiconductividad-teoria-de-bandas-definicion/>.
- RIVERA, G. Concreto Simple. Cali : Universidad del Cauca, 2010.
- SALAMANCA, R. La Tecnología de los Morteros. Colombia: Universidad Militar "Nueva Granada", 2001.
- SANCHEZ DE GUZMAN, D. Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 1987.
- SCALARONE, D., LAZZARI, M., CHIANTORE, O. Acrylic protective coatings modified with titanium dioxide nanoparticles: Comparative study of stability under irradiation. Italy: Polymer Degradation and Stability, 2012. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391012003394>
- SEMMARTIN, M. Contaminación Atmosférica. Buenos Aires, 2008.
- SOLIS, S. Mejoramiento de las Propiedades mecánicas del Concreto con Aditivos de Nanopartículas de Sílice y Hierro ZVI a partir de precursores. Tesis (Título de Ingeniero de Materiales). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
- STRAUSS, W., MAINWARING, S. Contaminación del aire: causas, efectos y soluciones. México: Ed. Trillas, 1990. 1era edic.
- SUNADA, K., WATANABE, T., HASHIMOTO, K. Studies on photokilling bacteria on TiO₂ thin film. Japan: Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2003. Disponible en: <https://www.nadicare.at/wp-content/uploads/2020/11/Studies-on-photokilling-of-bacteria-on-TiO2-thin-film.pdf>
- TIPLER, P., MOSCA, G. Física para la ciencia y la tecnología: Electricidad y magnetismo, luz, física moderna. Barcelona: Reverté, 2005.

- TORO, C., JOBSON, B., HASELBACH, S., CHUNG, S. Photoactive roadways: Determination of CO, NO and VOC uptake coefficients and photolabile side product yields on TiO₂ treated asphalt and concrete. Washington: Atmospheric Environment, 2016.
- UGARTEBURU, A. Optimización de la Aplicación de Nanopartículas Fotocatalíticas en Morteros. Tesis (Master en Ingeniería Estructural y de la Construcción). Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports., 2013. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26094/TFM-Ander-Elkoro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UNE-EN 413-1. Cementos para albañilería. España: Especificaciones, 1995.
- UNE-EN 459-1. Cales para la construcción. España: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad, 2016.
- UNIVERSITY OF COLORADO. Mineral Structure and Property Data - TiO₂ Group. [En línea]. Colorado: University of Colorado, 2010. [Fecha de consulta: 09 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://ruby.colorado.edu/~smyth/min/tio2.html>
- UNIVERSIDAD DE CÁDIZ. Guía para el análisis de datos SPSS . [En línea]. Universidad de Cádiz, 2002. [Fecha de consulta: 17 de Abril de 2021.]. Disponible en: <http://www2.uca.es/serv/ai/formacion/spss/Pantalla/verguia.pdf>.
- VÁSQUEZ, M. Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en la propiedad autolimpiable del concreto f'c=210 Kg/cm². Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2016. Disponible en: https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1296/T016_46196996_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- VOET, D., VOETWILEY, J., SONS. Biochemistry. 1995. 2ª edición.
- WATANABE, T., NAKAJIMA, A., WANG, R., MINABE, M., KOIZUMI, S., FUJISHIMA, A., HASHIMOTO K. Photocatalytic activity and photoinduced hydrophilicity of titanium dioxide coated glass. China: Thin Solid films, 1999.
- XIE, R., SHANG, J. Morphological control in solvothermal synthesis of titanium oxide. Illinois: Journal of Materials Science, 2007.
- YUE, X., UNGER, N. Fire air pollution reduces global terrestrial productivity. Boston: Nature Communications, 2018.
- ZHUANG, Q., KYOTANI, T., TOMITA, A. DRIFT and TK/TPD analyses of surface oxygen complexes formed during carbon gasification. Energy & Fuel, 1994.

ANEXOS

A-1: MEMORIA DE CÁLCULO – ANALISIS ANOVA

A-2: HOJA TÉCNICA DEL CEMENTO YURA TIPO I

A-3: HOJA TÉCNICA DEL ADITIVO DIÓXIDO DE TITANIO

A-4: CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO

A-5: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

A-1 MEMORIA DE CÁLCULO – ANALISIS ANOVA

En este anexo, a través de ejemplos, se muestra cómo utilizar el software de análisis estadístico para el cálculo del análisis de varianza con el programa Statgraphics Centurion.

- **Cálculo del ANOVA con el programa Statgraphics Centurion**

Primero, ingresamos al programa donde nos aparecerá la ventana principal donde podemos distinguir la barra de menú, herramientas y de tareas; mostrada en la Figura 44.

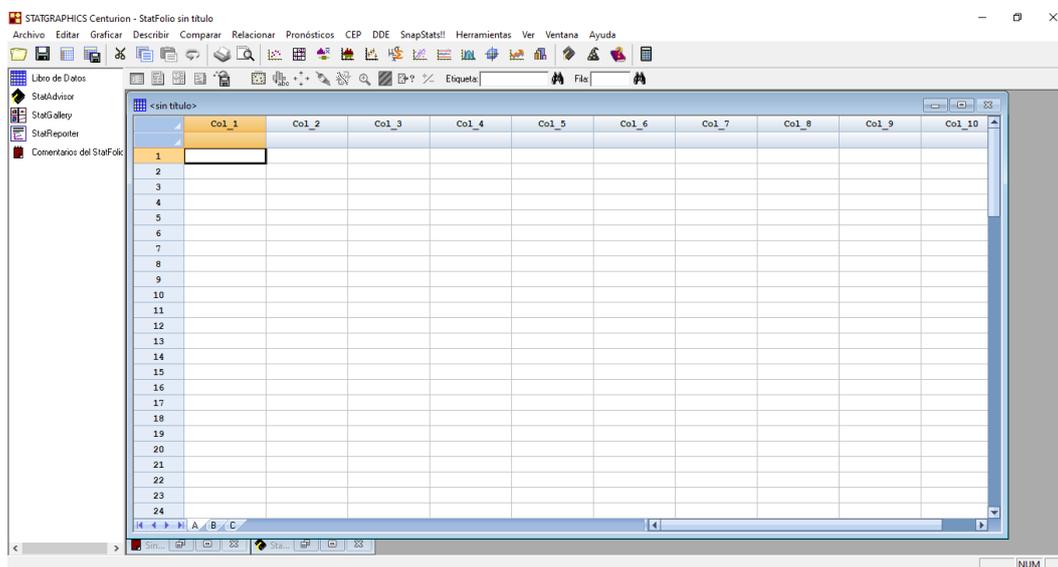


Figura 44. Ventana Principal del programa Statgraphics Centurion

Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

Los datos que van a analizarse mediante Statgraphics pueden introducirse directamente desde el teclado en la ventana de datos.

Para poder analizar una variable es necesario definirla realizando las siguientes operaciones:

Seleccionamos la columna en la que queremos introducir los datos. Para ello clickeamos sobre la etiqueta de la columna (Inicialmente será Co1_1), y aparecerá la Figura 45, donde colocamos el nombre de la etiqueta y seleccionamos el tipo de entrada que tendrá.

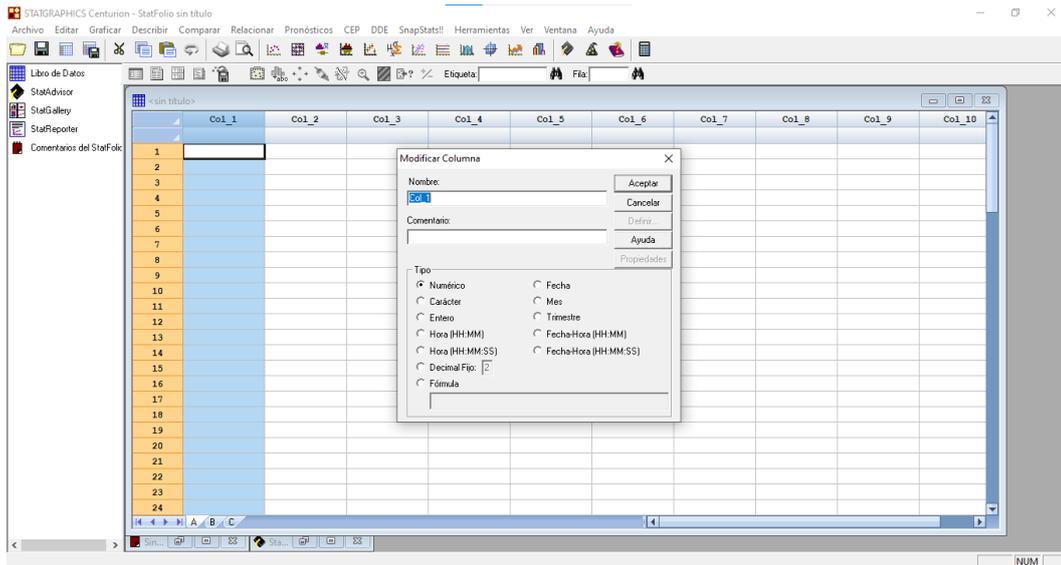


Figura 45. Selección del nombre y tipo de la etiqueta.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

Ahora se introducen los datos tal y como se haría en una hoja de cálculo, utilizando las teclas de flechas para moverse de celda en celda. Cuando finalice, la hoja debe tener la apariencia de la Figura 46.

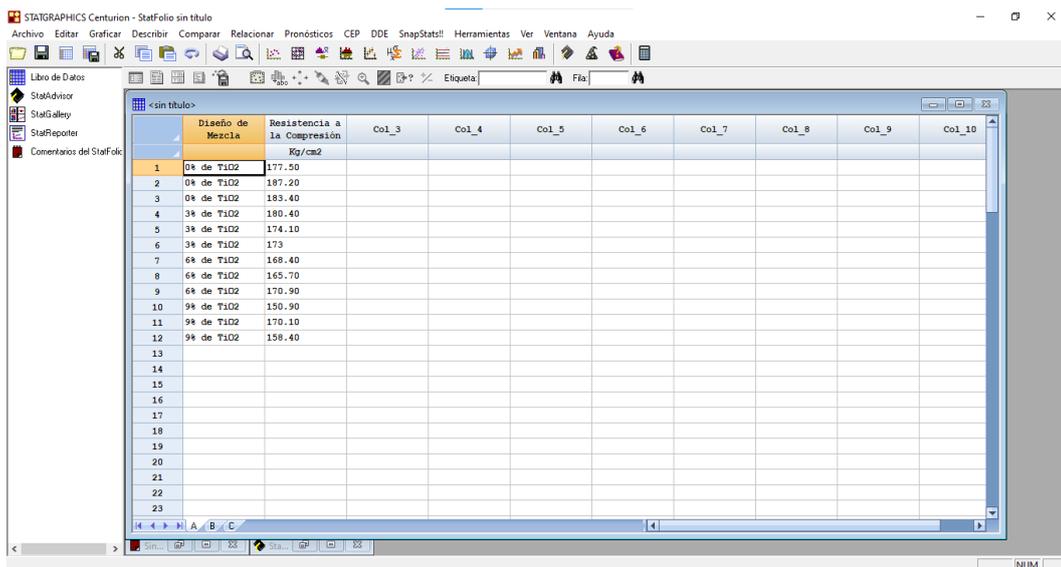


Figura 46. Introducción de Datos a la plataforma de Statgraphics Centurion.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

Posteriormente, para realizar el análisis estadístico se busca dentro de la barra menú la opción Comparar, luego a la opción Análisis de Varianza y finalmente a la opción ANOVA Simple, mostrada en la Figura 47

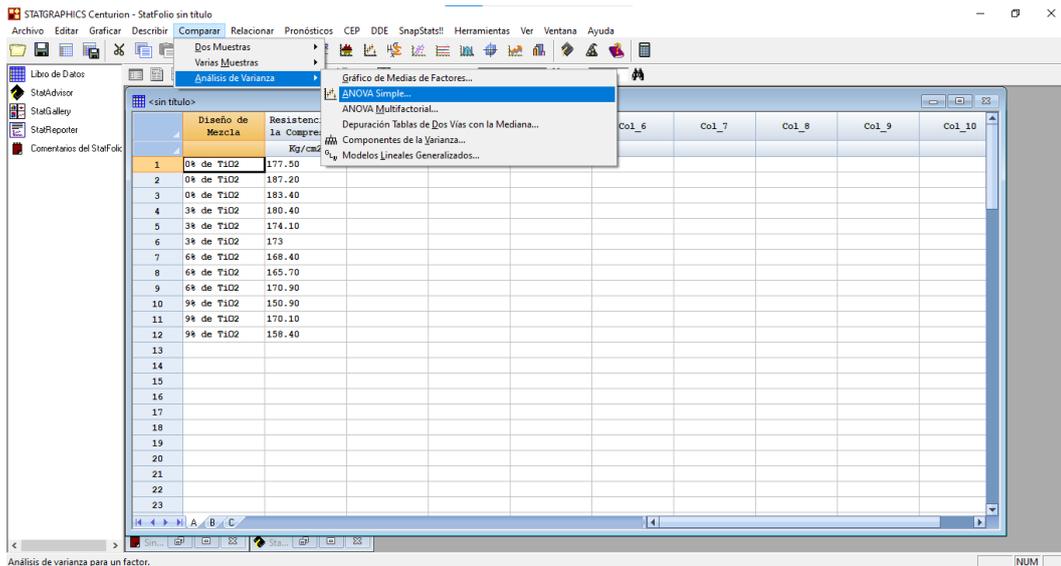


Figura 47. Proceso del Análisis Estadístico a seleccionar
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

Luego, se debe identificar la variable dependiente y la variable independiente o factor, finalmente se pulsa la tecla aceptar, tal como se muestra en la Figura 48.

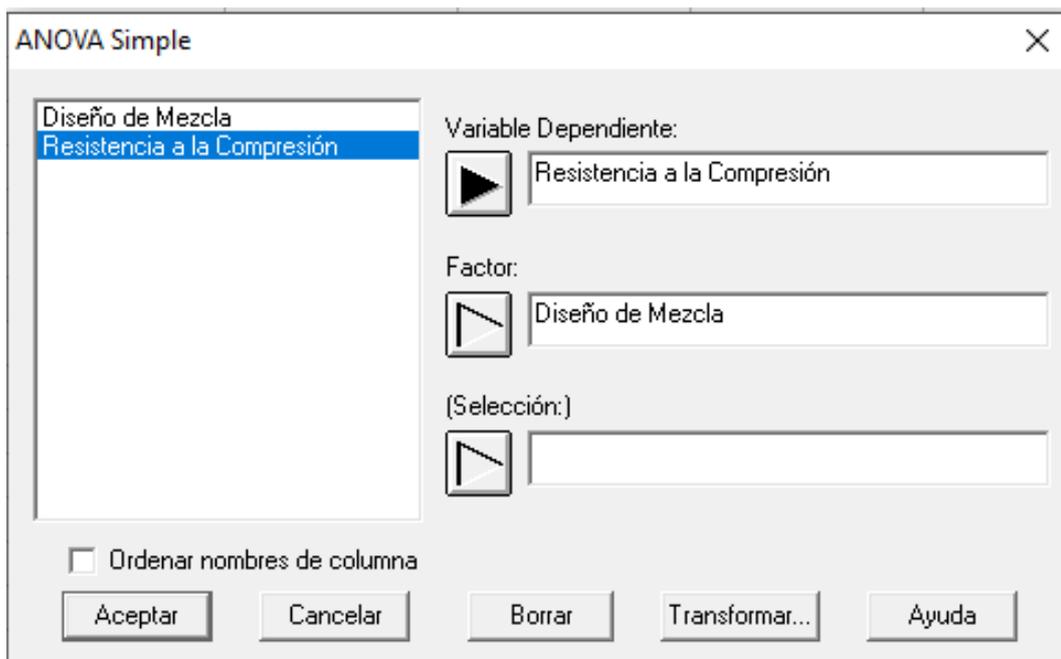


Figura 48. Elección de la Variable Dependiente e Independiente.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

Posteriormente, se elige debe elegir las tablas y gráficos a utilizar, tal como se muestra en la Figura 49.

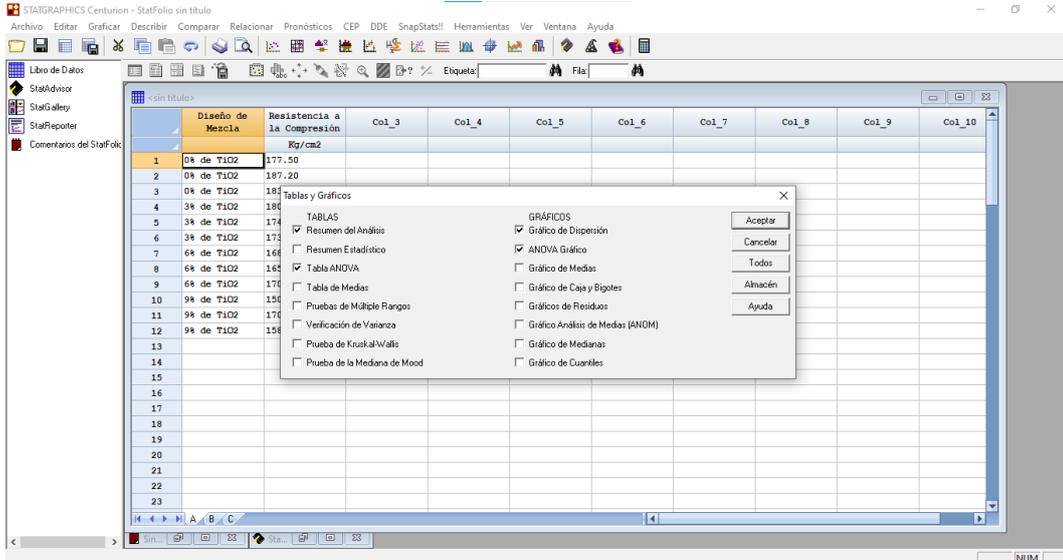


Figura 49. Elección de la Tablas y Gráficos a Utilizar.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

Finalmente, se tiene la interpretación de los datos de las tablas y seleccionados, tal como se muestra en la Figura 50.

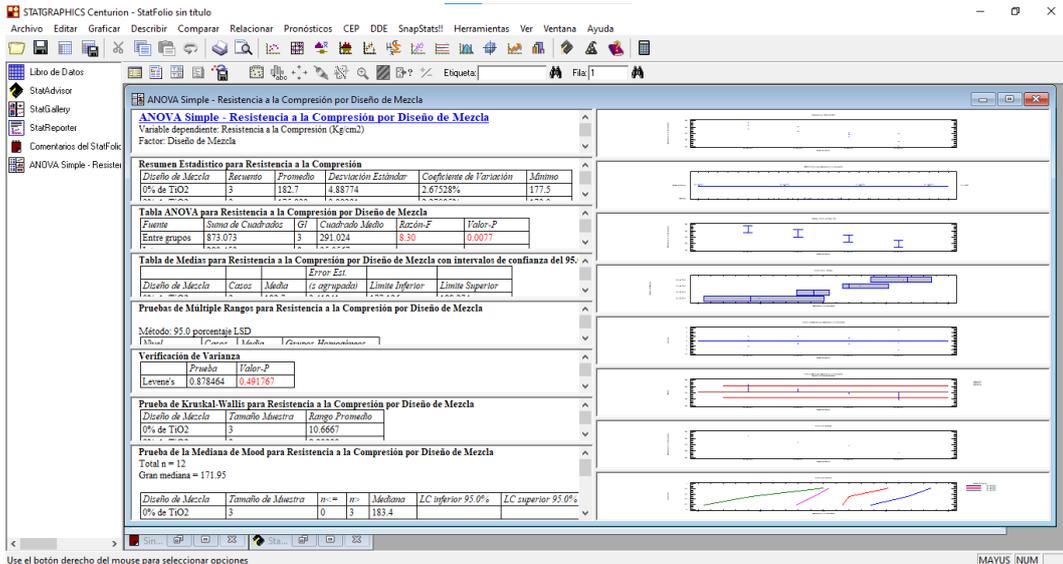


Figura 50. Interpretación de los Datos según Tablas y Gráficos seleccionados.
Fuente: StatGraphics Centurion versión 16

A-2 FICHA TECNICA: CEMENTO YURA TIPO I



CEMENTO PORTLAND TIPO I

<u>REQUERIMIENTOS QUIMICOS:</u>	YURA	ASTM C 150
Oxido de Silicio, SiO ₂ , %	21.25	NTP 334.009
Oxidos de Aluminio, Al ₂ O ₃ , %	4.14	No Especifica
Oxido Ferroso, Fe ₂ O ₃ , %	3.06	No Especifica
Oxido de Calcio, CaO, %	63.61	No Especifica
Oxido de Magnesio, MgO, %	2.96	6.00 Máximo
Trisulfato de Azufre, SO ₃ , %	2.47	3.00 Máximo
Pérdida por Ignición, %	1.15	3.00 Máximo
Residuo Insoluble, R.I. %	1.06	1.50 Máximo
Alcalí equivalente, (Na ₂ O+0.658K ₂ O), %	0.65	
 <u>REQUERIMIENTOS FISICOS:</u>		
Peso Específico, g/cm ³	3.13	No Especifica
Finura, Superficie Específica, cm ² /g	3670	2500 Mínimo
Finura (Retenido malla N° 200 (45 µm)), %	11.56	No Especifica
Expansión en Autoclave, %	0.06	0.80 Máximo
Tiempo de Fragado, Ensayo de Vicat, minutos		
Tiempo de Fragado: no menor que:	150	45 Mínimo
Tiempo de Fragado: no mayor que:	220	375 Máximo
Contenido de Aire del mortero, %	7.20	12.00 Máximo
Resistencia a la Compresión, MPa, (Kg-f/cm ²)		Mínimo :
01 día	14.72	
	(150)	No Especifica
03 días	27.96	
	(280)	12.00
07 días	34.42	
	(351)	(122)
28 días	39.24	
	(400)	(194)

Este Documento muestra Características Típicas del Promedio Mensual de la Producción del mes de Julio del 2020 confirmando que este cemento cumple con las especificaciones de las normas NTP 334.009 y ASTM C-150

Arequipa, 03 de Agosto 2020




Gonzalo Álvarez Cárdenas
Jefe de Control de Calidad
Yura S.A.

Planta: Carratera Yura Km. 25 - Arequipa
Oficina comercial: Av. General Olay 327 - Arequipa
Tel.: (01 54) 489080 / 201000
www.yura.com.pe

A-3 FICHA TECNICA: ADITIVO DIÓXIDO DE TITANIO

江苏宏远药业有限公司
 JIANGSU HONGYUAN PHARMACEUTICAL CO., LTD.
 ADD: FANGZHUANG, XUSHE TOWN, YIXING, JIANGSU PROVINCE, CHINA

CERTIFICATE OF ANALYSIS

PRODUCT: TITANIUM DIOXIDE FOOD GRADE CRYSTAL FORM: ANATASE
 BATCH NO.: 1907210 QUANTITY: 10000KGS
 MFG. DATE: JUL 12, 2019 PACKAGING: 25KGS/PAPER BAG
 EXP. DATE: JUL 12, 2024 REPORT DATE: JUL 18, 2019
 STANDARDS: E 171 (COMMISSION REGULATION (EU) NO 231/2012) TYPE: HongYuan 3200

TEST	SPECIFICATIONS	TEST RESULTS
CHARACTERISTICS	WHITE TO SLIGHTLY COLORED POWDER	WHITE POWDER
IDENTIFICATION SOLUBILITY	INSOLUBLE IN WATER AND ORGANIC SOLVENTS DISSOLVES SLOWLY IN HYDROFLUORIC ACID AND IN HOT CONCENTRATED SULPHURIC ACID	CONFORMS
LOSS ON DRYING(105°C, 3 HOURS)	0.5% MAX	0.34%
LOSS ON IGNITION A VOLATILE MATTER FREE BASIS(800°C)	1.0% MAX	0.30%
WATER SOLUBLE SUBSTANCE	0.5% MAX	0.18%
ACID SOLUBLE SUBSTANCE(0.5N HCl) ALUMINA / SILICA FREE	0.5% MAX	0.28%
ACID SOLUBLE SUBSTANCE(0.5N HCl) CONTAINING ALUMINA / SILICA	1.5% MAX	NOT APPLICABLE
LEAD (0.5N HCl SOLUBLE)	10 PPM MAX	2.55
ARSENIC (0.5N HCl SOLUBLE)	1 PPM MAX	0.54
ANTIMONY (0.5N HCl SOLUBLE)	2 PPM MAX	0.39
MERCURY (0.5N HCl SOLUBLE)	1 PPM MAX	<0.01
CADMIUM (0.5N HCl SOLUBLE)	1 PPM MAX	<0.01
Al ₂ O ₃ AND/OR SiO ₂	2.0% MAX	<0.02%
ASSAY(TiO ₂) ALUMINA / SILICA FREE	99.0% MIN	99.06%
MICROBIOLOGY TEST BACTERIA, MOULDS, YEASTS	100 CFU/G MAX 100 CFU/G MAX	CONFORMS CONFORMS
SPECIFIED MICROBIAL TEST ENTEROBACTERIACEAE ESCHERICHIA COLI SALMONELLA PSEUDOMONAS AERUGINOSA STAPHYLOCOCCUS AUREUS CLOSTRIDIA CANDIDA ALBICANS	NOT DETECTED NOT DETECTED NOT DETECTED NOT DETECTED NOT DETECTED NOT DETECTED	CONFORMS CONFORMS CONFORMS CONFORMS CONFORMS CONFORMS

ANALYST: PAN QINGQING

APPROVED BY: ZI YOU LING




A-4 CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO



“Año de la universalización de la salud”

CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO

Quien que suscribe, el Ing. Angel Manuel Calcín Quequezana identificado con DNI 42738104, Jefe de Laboratorio de H&M INGENIERÍA TOPOGRAFÍA Y CONSTRUCCIÓN SRL con RUC 20456345078, hace constar que los señores:

**HUAMANI MOLLO, MARCO ANTONIO
SOLIS GUERRA, STEPHANY**

De la Tesis denominada: **“EFECTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y QUÍMICAS DEL MORTERO CONVENCIONAL ADICIONADO CON DIÓXIDO DE TITANIO PARA EL SECTOR CONSTRUCCIÓN EN LA PROVINCIA Y REGIÓN DE AREQUIPA, JULIO – DICIEMBRE 2020”**, han realizado durante los meses de octubre a diciembre del 2020, los ensayos de los morteros dentro del Laboratorio de la empresa bajo mi dirección.

Se emite la presente constancia para los fines que los interesados estimen convenientes.

Arequipa, 21 de Enero del 2021



.....
ANGEL MANUEL CALCÍN QUEQUEZANA
INGENIERO GEÓLOGO
CIP N° 230094

1/1

A-5 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 1702007

VERIFICACION

1.- GENERALIDADES.

A solicitud de: H&M INGENIERIA TOPOGRAFIA Y CONSTRUCCION SRL se procedió a verificar el comportamiento de un Sistema Digital de Prensa de Concreto, La verificación se realizó en Lima el 02 de Julio del 2020 y vence el 02 de Enero del 2021.

2.- DEL SISTEMA A VERIFICAR.

Prensa : ORION
Indicador : SAFIR
Transductor : AEP Transducers

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

ING. LUIS TAROMA PALACIOS
Jefe de Laboratorio
CIP 36351

3.- DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN.

Dispositivo : Celda de Carga
Fabricante : AEP Transducers
Tipo : C2S-100T
Serie N° : 88054-100B
Carga Nominal : 100,000 Kg
Modalidad : Compresión
Indicador : MP10 N° 6094-2006-06

Calibrado en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica - (INF-LE 095-17A)

4.- PROCEDIMIENTO

El procedimiento toma como referencia a la norma ASTM E4-07 y la Norma NTP ISO/IEC 17025, Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

5.- RESULTADOS

En la Tabla N° 1 se muestran los promedios de las series de verificación y los errores correspondiente.

En el Gráfico N°1 se muestra la curva de regresión y la ecuación de ajuste correspondientes a la presente calibración.