

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DEL
POLIPROPILENO RECICLADO EN LA CALIDAD DEL
CONCRETO $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$**

LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD:

NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PROCESOS

LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE

INGENIERIA CIVIL:

GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS EN PROCESO

CONSTRUCTIVO

PRESENTADO POR:

BACH. CHRISTIAN IRVIN PUENTES CALDERON

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERU

2019

ASESORES

Ing. Vladimir Ordóñez Camposano

Mg. Jacqueline Santos Julca

DEDICADO A:

Dios, mis padres Franklin y Maribel, mi hermano Fernando y a todas aquellas personas que me contribuyen con su energía positiva para emprender este largo camino profesional.

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

DR. CASIO AURELIO TORRES LÓPEZ
PRESIDENTE

ING. JULIO FREDY PORRAS MAYTA
JURADO

MG. JUAN JOSÉ BULLÓN ROSAS
JURADO

ING. MARIA LUISA MUERAS GUTIÉRREZ
JURADO

MG. MIGUEL ÁNGEL CARLOS CANALES
SECRETARIO DOCENTE

Índice general

Índice general.....	v
Índice de tablas.....	ix
Índice de cuadros.....	xiii
Índice de gráficos.....	xiv
Índice de figuras.....	xv
Resumen.....	xvi
Abstract.....	xvii
Introducción.....	xviii
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.1. Planteamiento del problema.....	19
1.2. Formulación del problema.....	21
1.2.1. Problema general.....	21
1.2.2. Problemas específicos.....	21
1.3. Justificación.....	21
1.3.1. Justificación práctica.....	21
1.3.2. Justificación metodológica.....	21
1.4. Delimitación del problema.....	22
1.4.1. Delimitación espacial.....	22
1.4.2. Delimitación temporal.....	22
1.4.3. Delimitación económica.....	22
1.5. Limitaciones.....	22
1.5.1. Limitación de recursos.....	22
1.6. Objetivos.....	22
1.6.1. Objetivo general.....	22
1.6.2. Objetivos específicos.....	22
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. Antecedentes.....	24
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	24
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	26
2.2. Marco conceptual.....	27
2.2.1. Los plásticos.....	27
2.2.1.1. Origen del plástico.....	28
2.2.1.2. Propiedades de los plásticos.....	29
2.2.1.3. Residuos plásticos a nivel nacional.....	29

2.2.1.4.	Residuos plásticos a nivel local.....	30
2.2.1.5.	Reciclaje de los plásticos	31
2.2.1.5.1.	Proceso del reciclaje de los plásticos.....	33
2.2.1.6.	El polipropileno reciclado (PP)	34
2.2.1.6.1.	Propiedades del Polipropileno (PP).....	36
2.2.2.	Calidad del concreto.....	37
2.2.2.1.	Conceptos generales sobre el concreto y los materiales para su elaboración.....	37
2.2.2.2.	Composición del concreto	38
2.2.2.2.1.	El cemento	39
2.2.2.2.2.	Agua para el concreto	42
2.2.2.2.3.	Agregados para el concreto	43
2.2.2.2.4.	Aditivos en el concreto	47
2.2.2.3.	Propiedades del concreto.....	48
2.2.2.3.1.	Propiedades del concreto en estado fresco	48
2.2.2.3.2.	Propiedades del concreto en estado endurecido	49
2.2.2.4.	Diseño de mezclas	50
2.2.2.4.1.	Factores que rigen la selección de proporciones de la mezcla	51
2.2.2.4.2.	Métodos de diseño para el proporcionamiento de las mezclas	52
2.2.2.4.3.	Secuencia del diseño de mezclas según ACI-211	53
2.2.2.4.4.	Secuencia del diseño de mezclas por el método del módulo de fineza	58
2.2.2.5.	Concretos de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	59
2.3.	Definición de términos básicos.....	59
2.4.	Hipótesis	61
2.4.1.	Hipótesis general.....	62
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	62
2.5.	Variables	62
2.5.1.	Definición conceptual de las variables	62
2.5.1.1.	Variable independiente.....	62
2.5.1.2.	Variable dependiente	62
2.5.2.	Definición operacional de las variables	63
2.5.2.1.	Variable independiente.....	63
2.5.2.2.	Variable dependiente	63
2.5.3.	Operacionalización de las variables	63
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....		65
3.1.	Método de investigación.....	65

3.2.	Tipo de investigación.....	65
3.3.	Nivel de investigación.....	65
3.4.	Diseño de la investigación.....	65
	66
3.5.	Población y muestra.....	67
3.5.1.	Población	67
3.5.2.	Muestra	67
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	67
3.7.	Procesamiento de la información	68
3.8.	Técnicas y análisis de datos	70
3.8.1.	Selección de los materiales.....	70
3.8.1.1.	Cemento.....	70
3.8.1.2.	Agua para concreto.....	71
3.8.1.3.	Agregados para concreto	71
3.8.1.3.1.	Extracción y preparación de las muestras.....	71
3.8.1.3.2.	Reducción de las muestras a tamaños de ensayo	72
3.8.1.3.3.	Agregado fino	73
3.8.1.3.4.	Agregado grueso.....	74
3.8.1.3.5.	Polipropileno reciclado	74
3.8.2.	Caracterización de las propiedades de los materiales	75
3.8.2.1.	Cemento portland.....	75
3.8.2.2.	Agua para concreto	76
3.8.2.3.	Agregados para el concreto	76
3.8.2.3.1.	Agregado fino	76
3.8.2.3.2.	Agregado grueso.....	82
3.8.2.3.3.	Polipropileno reciclado	88
3.8.3.	Diseño de mezclas	90
3.8.3.1.	Características de los materiales	91
3.8.3.2.	Diseño para la mezcla patrón.....	92
3.8.3.3.	Diseño para la mezcla con 10% de Polipropileno reciclado	92
3.8.3.4.	Diseño para la mezcla con 20% Polipropileno reciclado	92
3.8.3.5.	Diseño para la mezcla con 30%Polipropileno reciclado	93
3.8.4.	Ensayos de calidad al concreto en estado fresco	93
3.8.5.	Ensayos de calidad al concreto en estado endurecido	99
3.8.6.	Costos de producción.....	107
3.8.6.1.	Costos de la mezcla patrón.....	108

3.8.6.2.	Costos de la mezcla con 10% Polipropileno reciclado	108
3.8.6.3.	Costos de la mezcla con 20% Polipropileno reciclado	108
3.8.6.4.	Análisis de los costos de la mezcla con 30% Polipropileno reciclado	109
CAPITULO IV: RESULTADOS.....		110
4.1.	Resultados	110
4.2.	Resultados de los ensayos de calidad al concreto en estado fresco	110
4.2.1.	Asentamiento del concreto (NTP 339.035)	110
4.2.2.	Temperatura del concreto (NTP 339.184).....	111
4.2.3.	Exudación del concreto (NTP 339.077).....	113
4.2.4.	Peso unitario del concreto (NTP 339.046)	114
4.2.5.	Tiempo de fragua del concreto (NTP 339.082)	115
4.3.	Resultados de los ensayos de calidad al concreto en estado endurecido	117
4.3.1.	Resistencia a la compresión axial (NTP 339.034).....	117
4.3.2.	Resistencia a la tracción simple por compresión diametral	118
4.4.	Análisis de los costos	120
4.5.	Contrastación de hipótesis	121
4.5.1.	Prueba de hipótesis específica “a”	121
4.5.2.	Prueba de hipótesis específica “b”	127
CAPITULO V: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....		131
5.1.	Resultados de la calidad del concreto en estado fresco	131
5.1.1.	Asentamiento	131
5.1.2.	Temperatura del concreto	132
5.1.3.	Exudación del concreto	132
5.1.4.	Peso unitario del concreto.....	133
5.1.5.	Tiempo de fragua del concreto.....	133
5.2.	Resultados de la calidad del concreto en estado endurecido	134
5.2.1.	Resistencia a la compresión axial	134
5.2.2.	Resistencia a la tracción simple por compresión diametral	135
5.3.	Resultados de los análisis de costos de producción	136
CONCLUSIONES		137
RECOMENDACIONES		138
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		139
ANEXOS		142

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades del Polipropileno reciclado	36
Tabla 2. Requisitos químicos del cemento Pórtland	41
Tabla 3. Requisitos físicos del cemento Pórtland.....	41
Tabla 4. Límites permisibles máximos para gua de mezcla y de curado	43
Tabla 5. Granulometría del agregado fino.....	44
Tabla 6. Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino.	45
Tabla 7. Requisitos granulométricos del agregado grueso.	45
Tabla 8. Límites para sustancias deletéreas en el agregado grueso.	47
Tabla 9. Factor de modificación para desviación estándar.	53
Tabla 10. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles.	54
Tabla 11. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles.	54
Tabla 12. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción....	55
Tabla 13. Requerimientos de agua de mezclado y de contenido de aire.	55
Tabla 14. Relación agua - cemento y resistencia a la compresión del concreto	56
Tabla 15. Requisitos para condiciones especiales de exposición.....	56
Tabla 16. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	57
Tabla 17. Módulo de fineza de la combinación de agregados.	58
Tabla 18. Diseño con posprueba únicamente y grupos intactos.....	66
Tabla 19. Masa mínima de las muestras a extraer.	72
Tabla 20. Propiedades físicas y químicas del cemento Andino tipo I.....	75
Tabla 21. Granulometría del agregado fino.....	77
Tabla 22. Módulo de finura del agregado fino.	78
Tabla 23. Peso específico y absorción del agregado fino.	79
Tabla 24. Peso unitario del agregado fino.....	80
Tabla 25. Contenido de humedad del agregado fino.	80
Tabla 26. Material más fino que la malla N° 200.....	81
Tabla 27. Granulometría del agregado grueso.....	83
Tabla 28. Módulo de finura del agregado grueso.....	84

Tabla 29. Tamaño máximo nominal del agregado grueso	84
Tabla 30. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	85
Tabla 31. Peso unitario del agregado grueso	86
Tabla 32. Contenido de humedad del agregado grueso.	87
Tabla 33. Material más fino que la malla N° 200 para el agregado grueso.....	87
Tabla 34. Granulometría del polipropileno reciclado.	88
Tabla 35. Tamaño máximo nominal del polipropileno reciclado.....	89
Tabla 36. Peso unitario del polipropileno reciclado.....	90
Tabla 37. Características del cemento.	91
Tabla 38. Características del agua para la mezcla.	91
Tabla 39. Características de los agregados.....	91
Tabla 40. Diseño de la mezcla patrón.....	92
Tabla 41. Diseño de la mezcla con 10% de PP reciclado.	92
Tabla 42. Diseño de la mezcla con 20% de PP reciclado.	92
Tabla 43. Diseño de la mezcla con 30% de PP reciclado.	93
Tabla 44. Asentamiento del concreto fresco.	94
Tabla 45. Temperatura del concreto fresco.	95
Tabla 46. Exudación del concreto fresco.	95
Tabla 47. Peso unitario del concreto fresco.	96
Tabla 48. Tiempo de fragua del concreto fresco – Mezcla patrón.....	97
Tabla 49. Tiempo de fragua del concreto fresco – Mezcla 10%PP.....	97
Tabla 50. Tiempo de fragua del concreto fresco – Mezcla 20%PP.....	97
Tabla 51. Tiempo de fragua del concreto fresco – Mezcla 30%PP.....	98
Tabla 52. Resistencia a la compresión axial a los 7 días.....	102
Tabla 53. Coeficiente de variación de la resistencia a la compresión axial a los 7 días.	102
Tabla 54. Resistencia a la compresión axial a los 14 días.....	103
Tabla 55. Coeficiente de variación de la resistencia a la compresión axial a los 14 días.	104
Tabla 56. Resistencia a la compresión axial a los 28 días.....	104
Tabla 57. Coeficiente de variación de la resistencia a la compresión axial a los 28 días.	105

Tabla 58. Resistencia a la tracción simple por compresión diametral a los 28 días.	107
Tabla 59. Coeficiente de variación de la resistencia a la compresión diametral a los 28 días.....	107
Tabla 60. Costo por m ³ del concreto patrón.	108
Tabla 61. Costo del concreto con 10% de PP para 1m ³	108
Tabla 62. Costo del concreto con 20% de PP para 1m ³	108
Tabla 63. Costo del concreto con 30% de PP para 1m ³	109
Tabla 64. Resultados de los asentamientos del concreto obtenidos.....	110
Tabla 65. Resultados de las temperaturas del concreto obtenidas.....	112
Tabla 66. Resultados de las exudaciones obtenidas.	113
Tabla 67. Resultados de los pesos unitarios del concreto obtenidos.....	114
Tabla 68. Resultados de los tiempos de fragua obtenidos.....	116
Tabla 69. Resultados de las resistencias a la compresión axial.	117
Tabla 70. Variación de los resultados de las resistencias a la compresión axial.	117
Tabla 71. Resultados de las resistencias a la compresión diametral.	119
Tabla 72. Porcentaje de variación de las resistencias a la compresión diametral.	119
Tabla 73. Variación de los costos con respecto a la mezcla patrón.....	120
Tabla 74. Análisis de varianza para el asentamiento del concreto.....	122
Tabla 75. Comparaciones múltiples para el asentamiento del concreto.	122
Tabla 76. Subconjuntos homogéneos para el asentamiento del concreto.	122
Tabla 77. Análisis de varianza para la temperatura del concreto.....	123
Tabla 78. Comparaciones múltiples para la temperatura del concreto.	123
Tabla 79. Subconjuntos homogéneos para la temperatura del concreto.	123
Tabla 80. Análisis de varianza para la exudación del concreto.....	124
Tabla 81. Comparaciones múltiples para la exudación del concreto.	124
Tabla 82. Subconjuntos homogéneos para la exudación del concreto.	124
Tabla 83. Análisis de varianza para el peso unitario del concreto.....	124
Tabla 84. Comparaciones múltiples para el peso unitario del concreto.	125
Tabla 85. Subconjuntos homogéneos para el peso unitario del concreto.	125
Tabla 86. Análisis de varianza para el tiempo de fragua inicial del concreto. .	125

Tabla 87. Comparaciones múltiples para el tiempo de fragua inicial del concreto.	125
Tabla 88. Subconjuntos homogéneos para el tiempo de fragua inicial del concreto.	126
Tabla 89. Análisis de varianza para el tiempo de fragua final del concreto.....	126
Tabla 90. Comparaciones múltiples para el tiempo de fragua final del concreto.	126
Tabla 91. Subconjuntos homogéneos para el tiempo de fragua final del concreto.	126
Tabla 92. Análisis de varianza para la compresión axial del concreto.	128
Tabla 93. Comparaciones múltiples para la compresión axial del concreto....	128
Tabla 94. Subconjuntos homogéneos para la compresión axial del concreto.	128
Tabla 95. Análisis de varianza para la tracción diametral del concreto.....	129
Tabla 96. Comparaciones múltiples para la tracción diametral del concreto. .	129
Tabla 97. Comparaciones múltiples para la tracción diametral del concreto. .	129

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición física de los residuos sólidos urbanos.	30
Cuadro 2. Composición física de los residuos sólidos domiciliarios.....	31
Cuadro 3. Código SPI de los plásticos reciclables	33
Cuadro 4. Operacionalización de las variables.	64

Índice de gráficos

Gráfico 1. Curva Granulométrica del agregado fino.....	78
Gráfico 2. Curva granulométrica del agregado grueso.....	83
Gráfico 3. Curva granulométrica del polipropileno reciclado	89
Gráfico 4. Asentamiento del concreto vs % de Polipropileno reciclado (PP) ..	111
Gráfico 5. Porcentaje de variación del asentamiento con respecto a la mezcla patrón.....	111
Gráfico 6. Temperatura del concreto vs % de Polipropileno reciclado (PP)....	112
Gráfico 7. Porcentaje de variación de la temperatura con respecto a la mezcla patrón.....	112
Gráfico 8. Exudación del concreto vs % de Polipropileno (PP).....	113
Gráfico 9. Porcentaje de variación de la exudación con respecto a la mezcla patrón.....	114
Gráfico 10. Peso unitario del concreto vs % de Polipropileno (PP).....	115
Gráfico 11. Porcentaje de variación del peso unitario con respecto a la mezcla patrón.....	115
Gráfico 12. Tiempo de Fragua vs % de Polipropileno (PP).....	116
Gráfico 13. Resistencia a la compresión axial vs Edad del concreto	118
Gráfico 14. Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión axial con respecto a la mezcla patrón.	118
Gráfico 15. Resistencia a la compresión diametral a los 28 días vs % de Polipropileno (PP).	119
Gráfico 16. Porcentaje de Variación de la Resistencia vs % de Polipropileno (PP).....	120
Gráfico 17. Costo del concreto vs % de Polipropileno reciclado (PP).....	121

Índice de figuras

Figura 1. Código SPI del Polipropileno	35
Figura 2. Envases que usan el Polipropileno	35
Figura 3. Variaciones de las proporciones usadas en el concreto.	38
Figura 4. Esquema con posprueba únicamente y grupos intactos.....	66
Figura 5. Cemento Andino Portland Tipo I	71
Figura 6. Reducción de muestras para tamaños de ensayo.	73
Figura 7. Agregado fino seleccionado.....	73
Figura 8. Agregado grueso seleccionado.....	74
Figura 9. Polipropileno reciclado.	75
Figura 10. Análisis granulométrico del agregado fino.	77
Figura 11. Peso específico y absorción del agregado fino.	79
Figura 12. Impurezas orgánicas en el agregado fino.	82
Figura 13. Análisis granulométrico del agregado grueso.	82
Figura 14. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	85
Figura 15. Peso unitario del agregado grueso.	86
Figura 16. Análisis granulométrico del Polipropileno reciclado.	88
Figura 17. Peso unitario del polipropileno reciclado.....	90
Figura 18. Asentamiento del concreto.....	94
Figura 19. Exudación del concreto.....	95
Figura 20. Tiempo de fragua.....	96
Figura 21. Especímenes de concreto.....	99
Figura 22. Curado de especímenes de concreto.	99
Figura 23. Refrentado de los testigos de concreto.....	100
Figura 24. Ensayo de resistencia a la compresión axial	101
Figura 25. Ensayo a la tracción simple por compresión diametral.	106

Resumen

Esta investigación respondió al problema general siguiente: ¿De qué manera la incorporación del polipropileno reciclado influye en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?, el objetivo general fue: Determinar la influencia de la incorporación del polipropileno reciclado en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y la hipótesis general que se verificó fue: La incorporación del polipropileno reciclado influye en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

El método de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicada, el nivel de la investigación fue el explicativo y el diseño fue cuasiexperimental. La población estuvo constituida por los concretos de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, el tipo de muestreo fue no probabilístico y la muestra estuvo constituida por un diseño de mezcla convencional de un concreto de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y otros bajo la incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30%.

Se concluyó que con la incorporación del polipropileno reciclado hubo una influencia en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, ya que al incorporarse este material en los porcentajes del 10%, 20% y 30% se produjo una disminución del asentamiento, temperatura, exudación, peso unitario, resistencia a la compresión axial y la resistencia a la tracción simple por compresión diametral.

Palabras clave: Calidad del concreto, residuos sólidos del tipo plástico y polipropileno reciclado

Abstract

This research responded to the following general problem: How does the incorporation of recycled polypropylene influence concrete quality $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$? The general objective was to determine the influence of the incorporation of recycled polypropylene on quality of concrete $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ and the general hypothesis that was verified was the incorporation of recycled polypropylene influences concrete quality $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

The research method was the scientific, the type of research was applied also the level of the research was the explanatory and the design was quasi-experimental. The population consisted of quality concrete $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, the type of sampling was non-probabilistic and the sample was constituted by a conventional mixture design of a quality concrete $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ and others under the incorporation of recycled polypropylene in the percentages of 10%, 20% and 30%.

It was concluded that with the incorporation of recycled polypropylene there was an influence on the quality of the concrete $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, since when this material was incorporated in the percentages of 10%, 20% and 30% there was a decrease in the settlement, temperature, exudation, unit weight, resistance to axial compression and simple tensile strength by diametric compression.

Keywords: Recycled polypropylene, quality of concrete, solid waste of the plastic type.

Introducción

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la influencia de la incorporación del polipropileno en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, para lo cual se realizó los ensayos de calidad del concreto al estado fresco y en endurecido.

Con el resultado obtenido se busca incentivar el uso del polipropileno reciclado para la elaboración de mezclas de concreto, como una alternativa de agregado grueso y así tratar de reutilizar los residuos del tipo plástico que hoy en día contaminan el medio ambiente.

La investigación consta de cinco capítulos, los cuales se detallan a continuación:

El capítulo I: comprende el problema de la investigación, considerando la descripción de la realidad problemática, la formulación del problema, la justificación y los objetivos generales y específicos.

El capítulo II: comprende el marco teórico constituido por los antecedentes de la investigación, el marco conceptual, definición de términos e hipótesis de la investigación.

El capítulo III: comprende la metodología, considerando el método, tipo, nivel y diseño de la investigación, así como también la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y el procesamiento de la información del trabajo de investigación.

El capítulo IV: comprende los resultados de la investigación, en donde se analizan los datos y se prueba la hipótesis.

En el capítulo V: se discuten los resultados obtenidos de la investigación.

Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos de la investigación.

Bach. Christian Irvin Puentes Calderón

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

A nivel mundial, la industria de la construcción es la mayor consumidora de materias minerales, estos forman parte de los materiales básicos para la construcción de puentes, carreteras, edificios y otras obras necesarias para el desarrollo de la infraestructura de un país. El proceso de obtención de estos materiales es a través de la explotación de canteras, estos procesos generan daños sobre el medio ambiente, que van desde la disminución a la pérdida de las áreas vegetales y por consiguiente de la fauna.

Asimismo, la tasa de crecimiento demográfico de la población mundial va en aumento, este hecho viene generando un incremento desmedido de la generación de residuos sólidos, esto constituye una preocupación latente, considerando que cuando la disposición de dichos residuos sólidos se realiza en forma inadecuada e indebida se genera contaminación ambiental, siendo este uno de los mayores problemas de la actualidad con respecto a la calidad de vida de los que habitamos en ella.

En el Perú con respecto al ámbito urbano se presentan muchos problemas ocasionados por el inapropiado manejo de los residuos sólidos en la totalidad de sus ciudades, actualmente se ha venido incrementado el uso de los materiales plásticos y por consiguiente la generación de residuos sólidos de este tipo de material ha ido en aumento.

La ciudad de Huancayo no es ajena a este problema actual de la disposición indebida de los residuos sólidos, pudiéndose encontrar estos como basura por todos los espacios urbanos de la Incontrastable. El aumento descontrolado del uso de este material es un promotor alarmante de la contaminación del aire, agua y suelo (Promoción del desarrollo sostenible [IPES], 2004).

En la última década han surgido una serie de investigaciones sobre la reutilización de residuos de desechos y materiales reciclados para la elaboración de mezclas de concreto, materiales como la ceniza volante, llantas desechadas, pedazos de metal, vidrio, concreto reciclado y entre otros materiales de diversos tipos. Las adiciones de cada uno de los materiales mencionados han proporcionado un efecto específico en la calidad del concreto, tanto en el estado fresco como en el endurecido.

El uso de materiales reciclables y de desecho para la elaboración de mezclas de concreto no solo hace que se obtenga un material económico, sino que también ayuda a mitigar de cierto modo la problemática actual que se tiene con la eliminación de los desechos de residuos sólidos.

Ante estos hechos es necesario investigar nuevas formas de disponer y reutilizar los residuos sólidos, no planteando medidas de eliminación que contaminen en menor grado al medio ambiente, sino encontrando una forma de reutilizar estos desechos como un posible agregado artificial en la industria de la construcción, específicamente reutilizando el plástico reciclado de polipropileno (PP) como un sustituto parcial del agregado grueso para la elaboración de mezclas de concreto de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

Entorno a esta realidad problemática se pretende establecer una alternativa tecnológica mediante la elaboración de un concreto ecológico que cumpla con los con los parámetros físicos y mecánicos de calidad que las normas técnicas peruanas vigentes exigen.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la incorporación del polipropileno reciclado influye en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?

1.2.2. Problemas específicos

a) ¿De qué manera la incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?

b) ¿De qué manera la incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?

c) ¿De qué manera la incorporación del polipropileno reciclado influye en los costos de producción del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación práctica

Son tiempos en los que todo lo que se realiza se hace pensando en el medio ambiente, la disposición de los residuos de plásticos son un gran problema ambiental, la incorporación del plástico de Polipropileno reciclado como agregado grueso en determinados porcentajes para la elaboración de mezclas de concreto, ayudará de cierto modo a contrarrestar los efectos devastadores que tienen los residuos plásticos sobre el medio ambiente. Ante esto se pretende elaborar concretos más ecológicos para su uso en la industria de la construcción.

1.3.2. Justificación metodológica

El presente proyecto de investigación está basado en la aplicación, seguimiento, evaluación y establecimiento de una serie de pasos que regirán en la elaboración de una mezcla de concreto convencional patrón y otras mezclas experimentales con la incorporación del plástico reciclado de Polipropileno como agregado grueso en los porcentajes del 10%, 20% y 30% respectivamente, por lo que se propone una metodología para el uso de este material en la fabricación del concreto.

1.4. Delimitación del problema

1.4.1. Delimitación espacial

La presente investigación tiene como delimitación espacial:

- Distrito : Huancayo
- Provincia : Huancayo
- Región : Junín

1.4.2. Delimitación temporal

El desarrollo y ejecución de la presente investigación se realizó y evaluó durante los meses de junio a septiembre del 2018.

1.4.3. Delimitación económica

La presente investigación estuvo delimitada económicamente en lo concerniente a la obtención de los materiales, a la ejecución y certificación de los ensayos de calidad del concreto en estado fresco y endurecido, cuya ejecución fue financiada bajo recursos propios.

1.5. Limitaciones

1.5.1. Limitación de recursos

La limitación que se presentó para el desarrollo de la investigación, fue la obtención del plástico reciclado de polipropileno, puesto que en la ciudad de Huancayo no existen entes públicos ni empresas dedicadas a reciclar y procesar los residuos sólidos del tipo plástico, limitándose su obtención a la ciudad de Lima.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la incorporación del polipropileno reciclado en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la influencia de la incorporación del polipropileno reciclado en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
- b) Determinar la influencia de la incorporación del polipropileno reciclado en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

- c)** Determinar la influencia de la incorporación del polipropileno reciclado en los costos de producción del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

- a) Hernández (2011), en su trabajo de graduación titulado *“Estudio comparativo de la resistencia a la compresión en mezclas de concreto elaboradas con materiales de reciclaje: plástico y llantas”*, para conferírsele el título de ingeniero civil, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Las conclusiones principales a las que se llegó en esta investigación son las siguientes:
1. Tras la adición de los materiales de desecho se produjo una reducción de la resistencia a la compresión del concreto.
 2. Las mezclas elaboradas con materiales de reciclaje presentaron características para que puedan ser usados en elementos no estructurales; mitigando la reducción de los desechos que afectan al medio ambiente.
 3. Los resultados de esta investigación pusieron en evidencia de que las mezclas con adición de plástico, son más aptas para ser usadas eventualmente, ya que la reducción en la resistencia fue proporcional a la cantidad de plástico y concluyendo finalmente en que el uso de las mezclas con plástico incorporado se deberá limitar a elementos no estructurales.
- b) Zavala (2015), en su informe final de investigación titulado *“Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado”* de la Escuela especializada en ingeniería ITCA –

FEPADE, Santa Tecla, El Salvador. Las conclusiones principales a las que se llegó en esta investigación son las siguientes:

1. Los elementos creados con cemento y plástico tuvieron un peso específico de 1.22gr/cm^3 ; que es entre un 15% y 20%, menor que los creados con cemento y arena.
2. Los elementos creados con cemento y plástico tuvieron una resistencia a la compresión de 62.66 kg/cm^2 ; que equivale a un promedio del 40% menos que la que tienen los creados con cemento y arena; por lo que su uso se limita a espacios de circulación peatonal.
3. Esta tecnología con plástico reciclado es una alternativa posible para utilizarla en elementos arquitectónicos interiores de viviendas, considerando que son elementos que no soportan cargas importantes.
4. La utilización de esta tecnología a base de plástico reciclado contribuye al proceso de disposición final de los residuos plásticos contaminantes, lo que ayuda a minimizar el impacto ambiental; reduciendo la cantidad de botellas que actualmente se acumulan o entierran y minimizando al mismo tiempo los gastos en recolección y disposición final de residuos.

c) Vargas y Polo (2017), en su proyecto de grado titulado *“Obtención de una Mezcla de Concreto con Residuos Plásticos de Equipos Electrónicos para la Fabricación de Elementos no Estructurales”* para optar el título de ingeniero civil en la Universidad de La Costa, Barranquilla, Colombia. Las conclusiones principales a las que se llegó en esta investigación son las siguientes:

1. Fue posible realizar el diseño de una mezcla de concreto a partir del uso de material plástico molido, residuo de carcasas de equipos electrónicos, en remplazo de los agregados pétreos tradicionales empleados en la fabricación de muros de concreto como elementos divisorios en viviendas de interés social.
2. Los concretos con plástico presentaron un buen comportamiento durante el estado fresco registrándose valores de asentamiento

de 3 y 4 pulgadas, lo que es recomendado en caso de elemento verticales.

3. En el desarrollo del proyecto, se demostró que el concreto sin plástico alcanzó a los 28 días el 91% de la resistencia de diseño y en el caso de los concretos con plástico adicionado, los valores de resistencia a los 28 días disminuyeron en un 22% pudiéndose utilizar estas mezclas de concretos en la elaboración de elementos no estructurales como muros divisorios.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- a) Paz (2014), en su tesis titulada *“Análisis de la determinación de las propiedades físico y mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado”* para optar el título profesional de ingeniero de materiales en la Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. Las conclusiones principales a las que se llegó en esta investigación son las siguientes:
 1. Se deberían de aprovechar los residuos sólidos que produce el país para la fabricación de ladrillos de plástico reciclado y así dar solución a la construcción de viviendas de interés social de una manera económica y ecológica.
 2. El ladrillo de plástico reciclado utilizado en el proyecto tiene una combinación de 70% de PET y 30% de PEAD lo que lo hace un ladrillo liviano por el peso específico de la materia prima y a su vez por su alto contenido de PET un material combustible de muy baja propagación de llama y buen aislante térmico.
- b) Reyna (2016), en su Tesis titulada *“Reutilización de Plástico Pet, Papel y Bagazo de Caña de Azúcar, como Materia Prima en la Elaboración de Concreto Ecológico para la Construcción de Viviendas de Bajo Costo”* para optar el grado académico de maestro en ingeniería ambiental en la Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Las conclusiones principales a las que se llegó en esta investigación son las siguientes:
 1. Se logró determinar los resultados de reutilizar los residuos de plástico, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima

en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo, quedando demostrado que, si se pueden reutilizar estos residuos, en los porcentajes propuestos, para reemplazar los áridos del concreto.

2. La resistencia a la compresión (kg/cm^2) del concreto conteniendo residuos de plástico tuvo una tendencia de disminución conforme se aumenta el porcentaje en peso de los residuos.

c) Morales (2016), en su Tesis titulada “*Estudio del comportamiento del concreto incorporando pet reciclado*” para optar el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Las conclusiones principales a las que se llegó en esta investigación son las siguientes:

1. El asentamiento para la muestra con 5%, 10% y 15% de plástico disminuyeron su valor, con una media de 37%, 84% y 100%.
2. Del peso unitario del concreto respecto a la muestra con 5%, 10% y 15% de plástico reciclado disminuye su valor, con una media de 3%, 8% y 14% respectivamente en comparación a la muestra patrón.
3. De los resultados del ensayo de tiempo de fragua se concluye que, para los concretos con mayor reemplazo de plástico reciclado, decrece su valor del tiempo de fragua inicial y tiempo de fragua final.
4. Resistencia a la compresión axial a la edad de 28 días respecto a la muestra con 5%, 10% y 15% de plástico disminuye su esfuerzo, con una media de 24%, 27% y 67% respectivamente en comparación a la muestra patrón.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Los plásticos

Los plásticos son aquellos materiales industriales que son obtenidos a través del proceso de polimerización de numerosos grupos de átomos llamados monómeros, la principal característica de este material es que

se presenta como un sólido en su estado final, pero tiene la particularidad de pasar de este estado al estado líquido por efectos del calor. Debido a esta particularidad, los plásticos son materiales que se usan con diversos fines debido a su facilidad de adquirir diversas formas mediante la aplicación conjunta del calor y la presión (IPES, 2004).

2.2.1.1. Origen del plástico

Este material se originó gracias a un concurso realizado en 1860 en los Estados Unidos de América, dicho concurso buscaba premiar con una muy buena suma de dinero a quien produjera un nuevo tipo de material que sustituyera al marfil, que en ese entonces se usaba como materia prima para la fabricación de bolas de billar. John Wesley Hyatt ganó el premio tras inventar un material nuevo e innovador al que le llamó celuloide. Con este nuevo material se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y películas cinematográficas, todo esto gracias a que este nuevo material llamado celuloide tenía la característica de poder ser ablandado y moldeado repetidamente mediante la influencia del calor, dicha característica le dio el calificativo de termoplástico. En 1907 Leo Baekeland inventó el primer plástico cuyos componentes estaban hechos con materiales sintéticos, la creación de este material sintético fue revolucionario, ya que incentivó a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. Ya en la década de los 30, químicos ingleses descubrieron un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 fue en Alemania al que llamaron poliestireno (PS) que era un material muy transparente y comúnmente fue utilizado para la elaboración de vasos, potes y hueveras. Fue apenas hasta los años 50 donde apareció el polipropileno (PP), un material opaco y con gran resistencia al calor puesto que le permitía ablandarse a temperaturas superiores a los 150 °C, siendo perfecto para el uso en la industria automotriz y productos domésticos de uso general (IPES, 2004).

2.2.1.2. Propiedades de los plásticos

Los plásticos, a través del tiempo han venido siendo empleados en la fabricación de una variedad de productos gracias a sus excelentes propiedades como:

- Bajo costo de producción
- Impermeabilidad
- Baja densidad, que permite la fabricación de objetos ligeros y reducción de costos de transporte.
- Baja conductividad térmica y eléctrica.
- Moldeo fácil, para adquirir formas variadas que sean rígidas o flexibles.
- Gran resistencia a la corrosión y a la degradación

2.2.1.3. Residuos plásticos a nivel nacional

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2018) en su participación en el conservatorio sobre la reducción del consumo de bolsas plásticas en el Perú, señaló que los plásticos representan alrededor del 10% de todos los residuos sólidos que se generan en el país. Ante esta alarmante información, mientras la población va en aumento, también viene incrementándose la generación de los residuos sólidos y en especial los residuos del tipo plástico.

La Evaluación y Gestión Ambiental, en su sexto informe realizado en el 2014 sobre los residuos sólidos municipales de todo el país, indicó que durante el 2013 solo en el ámbito urbano del territorio nacional la generación de los residuos sólidos llegó cerca a las 18,533 ton/día, de esta cantidad solo el 87.5% (16,216 ton/día) logró la recolección y transporte con fines de disposición final convencional, de esta cantidad solo 7,656 ton/día de residuos fueron dispuestos en rellenos sanitarios autorizados, 8,545 ton/día terminaron en botaderos municipales y 300.3 ton/día fueron a parar a otros destinos. Asimismo, el reciclaje informal recolectó alrededor de 1,649.7 ton/día.

En el Cuadro N° 1 se muestran los porcentajes de la composición física de los residuos sólidos urbanos según región.

Cuadro 1.

Composición física de los residuos sólidos urbanos.

Tipo de Residuos	Porcentaje (%)		
	Costa	Sierra	Selva
Materia orgánica	44.07	46.81	43.47
Madera, follaje	2.64	2.69	2.57
Papel	3.79	4.04	3.62
Cartón	3.26	3.28	3.10
Vidrio	2.88	3.03	2.77
Plástico PET	3.15	3.27	2.93
Plástico duro PP	2.41	2.51	2.33
Bolsas	3.86	4.22	3.86
Tecnopor y similares	0.75	0.76	0.68
Metales	2.24	2.36	2.13
Telas, textiles	1.44	1.56	1.39
Caucho, cuero y jebe	0.99	1.08	0.98
Pilas	0.30	0.49	0.45
Restos de medicinas, focos, etc.	0.46	0.53	0.53
Residuos sanitarios	6.31	9.25	8.22
Material inerte	7.73	8.16	7.30
Otros	2.74	3.39	2.93

Fuente: Adaptado de Evaluación y gestión ambiental – Evagam S.A.C. (2014).

Del cuadro anterior, se observa que el plástico duro (PP) generado a nivel nacional como desechos de residuo sólidos representan en su conjunto el 2.41%, 2.51% y 2.33% de residuos generados en la costa, sierra y selva respectivamente.

2.2.1.4. Residuos plásticos a nivel local

Según el Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS, 2016) en su estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Huancayo, refiere que la Generación Per Cápita (GPC) que se estimó para el año 2016 para una población proyectada de 119,459 habitantes fue de 0.53 kg/hab./día, generándose así 63.31 ton/día de residuos sólidos domiciliarios y 36.75 ton/día de residuos sólidos municipales no domiciliarios, que hacen un total de 100.06 ton/día de residuos sólidos municipales que se generan a diario solamente en el distrito de Huancayo.

En el Cuadro N° 2 se muestran los porcentajes de la composición física de los residuos sólidos domiciliarios del distrito de Huancayo.

Cuadro 2.
Composición física de los residuos sólidos domiciliarios.

Tipo de Residuos Sólidos	Composición Porcentual (%)
Materia orgánica	59.55
Madera, follaje	4.72
Papel	2.85
Cartón	1.92
Vidrio	1.81
Plástico PET	1.72
Plástico duro PP	1.50
Bolsas	3.87
Tetrapack	0.56
Tecnopor y similares	0.57
Metales	0.65
Telas, textiles	1.39
Caucho, cuero y jebe	0.08
Pilas	0.06
Restos de medicinas, focos, etc.	0.07
Residuos sanitarios	10.14
Material inertes	4.21
Envolturas	0.81
Latas	1.96
RAEE	0.19
Huesos	0.81
Otros	0.57
Total	100.00

Fuente: Adaptado del Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de Huancayo (2016).

Del Cuadro N° 2 se puede observar que el plástico duro (PP) tiene una composición porcentual del 1.50% del total de la generación promedio de los residuos sólidos domiciliarios, calculándose a partir de esta información que se generan 0.95 ton/día de este material solo en el distrito de Huancayo.

2.2.1.5. Reciclaje de los plásticos

El proceso de reciclaje de los plásticos es aquel procedimiento en el cual se busca reaprovechar la composición de estos residuos cuando su vida útil ha terminado; recuperándolos y reprocesándolos para después volver a utilizarlos en nuevas aplicaciones.

La acción de reciclar es una alternativa positiva y amigable para proteger el medio ambiente, ya que es una muy buena técnica de gestión de los residuos sólidos porque:

- Logran preservarse los recursos naturales, haciendo que se deje de explotar las materias primas.
- El medio ambiente se libra de los focos de contaminación.
- Disminución en los costos de recolección, transporte y disposición final de la basura.
- La vida útil de los rellenos sanitarios tiende a ampliarse.
- Generación de empleo continuo.

Debido a la gran demanda del uso del plástico en diversas categorías tales como el uso de este material para el envasado de ciertos productos, la mayor parte de los desperdicios plásticos tienen origen doméstico.

El impacto y contaminación ambiental que generan los plásticos radica en que:

- Tienen una alta resistencia a la degradación, estado que intensifica su acumulación en los vertederos de disposición final de los residuos.
- Están compuestos de una gran serie de aditivos químicos, los cuales ocasionan sus propios efectos en el medio ambiente.
- Poseen una muy baja densidad y es causa de los impactos ambientales visuales producidos en la urbe.

En el Cuadro N° 3, se muestra la codificación, uso y aplicaciones de los plásticos más comúnmente reciclados a nivel mundial, de acuerdo a la SPI (Society of the Plastics Industry).

Cuadro 3.
Código SPI de los plásticos reciclables

Código	Siglas	Nombre	Usos y Aplicaciones
	PET	Polietileno tereftalato	Envases en general, películas transparentes, fibras textiles, bolsas, entre otros.
	PEAD (HDPE)	Polietileno de alta densidad	Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y tuberías.
	PVC	Policloruro de vinilo	Marco de ventanas, tuberías rígidas, botellas, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario.
	PEBD (LDPE)	Polietileno de baja densidad	Film adhesivo, bolsas, revestimiento de cubos, recubrimientos de contenedores flexibles, entre otros.
	PP	Polipropileno	Envases para productos alimenticios, tapas en general, cajones para bebidas, vasos, platos, baldes, potes para margarina, embaces de todo tipo juguetes, sillas, tinas, componentes eléctricos y automovilísticos y entre otros.
	PS	Poliestireno	Recipientes lácteos, cubiertos, juguetes y entre otros.

Fuente: Adaptado de Promoción del desarrollo sostenible (2004).

2.2.1.5.1. **Proceso del reciclaje de los plásticos**

Las etapas del proceso de reciclaje de los plásticos se detallan a continuación:

A. Clasificación

El proceso del reciclaje se inicia con la selección de los residuos recolectados, esta etapa del reciclaje es muy fundamental para poder clasificar los materiales plásticos, ya que como se mostró en el Cuadro N° 3, cada plástico cuenta con un código asignado por el SPI de acuerdo a su composición por el que fue elaborado.

B. Cortado y molienda del plástico reciclado

a) Cortado

Después de clasificar los residuos plásticos se procede con el acondicionamiento de estos para pasar a su molienda,

este proceso se realiza reduciendo el tamaño del material de tal modo que se facilite su manipulación al momento de pasar al proceso de molienda en la maquina respectiva.

b) Molienda

Los plásticos pasan por un proceso de molienda o trituración de sus partículas para que se puedan obtener los tamaños necesarios que permitan su próxima manipulación, el material reducido después de la molienda es llamado “scraps”.

C. Lavado

Este proceso del reciclaje de los plásticos implica que se separen aquellos residuos tales como restos de etiquetas, tierra, grasa, entre otros que estén presentes en los residuos de plásticos ya cortados y molidos.

D. Secado

Una vez realizado el proceso de lavado, se procede a retirar los restos de humedad que pudieran estar presentes en los scraps.

2.2.1.6. El polipropileno reciclado (PP)

El polipropileno es un polímero termoplástico que pertenece al grupo de las poliolefinas, este material tiene una diversidad de aplicaciones en la producción de plásticos tales como vasos, platos para alimentos, sillas, tinas, baldes, tapas de todo tipo, envases y muchos otros elementos más. Su reciclaje comprende recuperar y procesar los plásticos de consumo cuando su vida útil de estos ha terminado para su posterior utilización en nuevas aplicaciones (Galvis, 2014).

El polipropileno reciclado resulta un material muy atractivo para construcción, ya que tiene características como su bajo coeficiente de absorción, su alta resistencia a la tensión y a la compresión, a los ácidos y álcalis, como también tiene la capacidad de resistir muchos años a la intemperie, es inmune a plagas, bacterias y hongos, no es combustible y se adapta a cualquier tipo de clima, además es un buen

aislante térmico y eléctrico (Ingeniería de Polímeros S.A. [Ingepol], 2012).

En la Figura N° 1, podemos apreciar el código SPI (Society of the Plastics Industry) con el que se pueden identificar a aquellos envases hechos de Polipropileno, asimismo en la Figura N° 2 se puede apreciar algunos de los envases de uso doméstico que usan el polipropileno (PP) como material de composición.



Figura 1. Código SPI del Polipropileno
Fuente: Adaptado de Promoción del desarrollo sostenible (2004).



Figura 2. Envases que usan el Polipropileno
Fuente: Elaboración propia

2.2.1.6.1. Propiedades del Polipropileno (PP)

A. Propiedades físicas

Según Wasiak (1999), citado por Galvis (2014), refiere que el Polipropileno tiene una baja densidad que se encuentra normalmente entre 0.93 y 0.96 gr/cm³, esta característica hace que se permita la elaboración de productos ligeros, además tiene las características de recuperarse elásticamente, alta resistencia al impacto, rigidez alta y fácil de reciclar, ya que solo pierde en cierto grado las características de sus propiedades.

B. Propiedades mecánicas

Según Wasiak (1999), citado por Galvis (2014), indica que las propiedades mecánicas del Polipropileno (PP) se sintetizan en las siguientes, las cuales son su alta dureza, alta resistencia superficial y su buena resistencia química a la humedad y a los efectos del calor.

C. Propiedades químicas

Según Wasiak (1999), citado por Galvis (2014), refiere que el Polipropileno presenta características como la gran resistencia a agentes químicos y su bajo índice de absorción, su punto de ebullición es a 160 °C y de fusión más de 160 °C.

En la Tabla N° 1, se muestran las propiedades del Polipropileno.

Tabla 1.
Propiedades del Polipropileno reciclado

Parámetro	Valor	Unidad	Método de ensayo
Propiedades físicas			
Densidad	0.96	g/cm ³	ASTM D 1895-96
Densidad aparente	0.33	g/cm ³	ASTM D 1895-96
Factor de empaquetamiento	0.97	N.A	ASTM D 1895-96
Propiedades reológicas			
Índice de fluidez volumétrico, MVR	13.5	cm ³ /10min	ASTM D 1238-2004c
Temperatura	230.0	°C	ASTM D 1238-2004c
Carga	2.16	Kg	ASTM D 1238-2004c

Propiedades mecánicas			
Módulo de elasticidad	1,474.0	Mpa	ASTM D 638-02a
Resistencia a la tracción	30,485.0	Mpa	ASTM D 638-02a
Alargamiento a rotura	8	%	ASTM D 638-02a
Propiedad térmicas			
Temperatura de fusión	220	°C	ASTM D 4101-14
Moldeo por inyección, temperatura de la masa	220	°C	ASTM D 4101-14
Moldeo por inyección, temperatura del molde	80	°C	ASTM D 4101-14
Estabilidad al calor, 1.80 MPa	70	°C	ASTM D 4101-14
Propiedad químicas	Descripción		
Absorción de agua	Baja		
Absorción de humedad	Superficial		
Alcoholes	Buena		
Grasas y Aceites	Aceptable		

Fuente: Adaptado de Galvis, N. (2014).

2.2.2. Calidad del concreto

2.2.2.1. Conceptos generales sobre el concreto y los materiales para su elaboración

Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi (2004) refieren que el concreto es un material que básicamente está compuesto de dos componentes: la pasta y los agregados. La pasta está conformada por el cemento Pórtland conjuntamente con el agua, estos al unirse con los agregados forman una masa similar al de una roca, característica que ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua.

La Norma Técnica Peruana [NTP] 339.047 (2014) refiere sobre el concreto a la mezcla del material aglomerante con los agregados finos y gruesos, usándose comúnmente como medios aglomerantes el cemento y el agua, pudiendo también contener puzolanas, escorias y/o aditivos químicos.

Abanto (2017) refiere que el concreto es una estructura compuesta en proporciones adecuadas del cemento Pórtland, agregados, agua y aire, la combinación de estos componentes hacen que se permita

obtener un material que cumpla propiedades como resistencia a la compresión, durabilidad, economía y otros.

Bajo estas definiciones se deduce que las propiedades del concreto están definidas por las características físicas y químicas de sus componentes. Por tal motivo, para poder dominar el uso de este material, hay que conocer no sólo las características del producto resultante, sino también la de sus componentes, puesto que estos son los que determinan las características particulares de este material.

2.2.2.2. Composición del concreto

Sobre las proporciones de los materiales usados en la composición del concreto, Kosmatka et al. (2004) refieren que para aquellos concretos con aire incluido el volumen absoluto del cemento se encuentra normalmente alrededor del 7% al 15%, el volumen del agua está entre el 14% y 18%, el contenido de aire atrapado varía del 4% hasta un 8% y los agregados constituyen alrededor del 59% al 75% del volumen total del concreto. Y para concretos sin aire incluido el volumen absoluto del cemento se encuentra normalmente entre el 7% y 15%, el volumen del agua está entre 16% y 21%, el contenido de aire atrapado varía del 1% hasta 3% y los agregados constituyen alrededor del 61% al 76% del volumen total del concreto.

En la Figura N° 3, se puede apreciar las proporciones usadas en la composición del concreto con y sin aire incorporado.

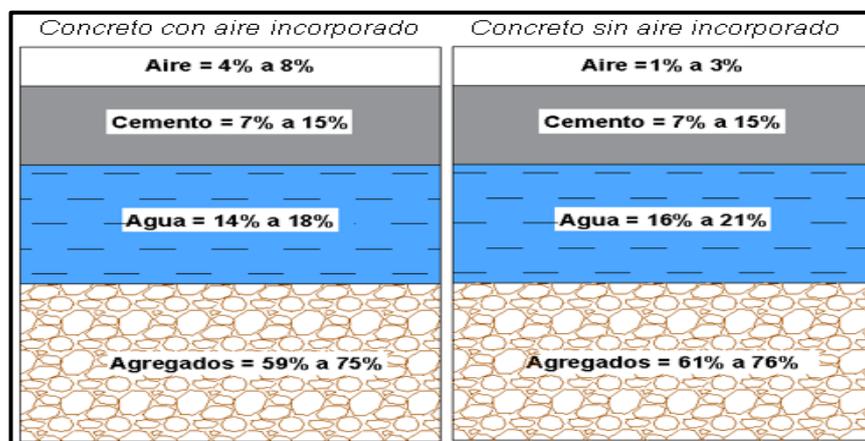


Figura 3. Variaciones de las proporciones usadas en el concreto.
Fuente: Adaptado de Kosmatka et al. (2004).

El cemento Pórtland es el principal componente del concreto, ya que proporciona las características de adherencia y cohesión a la mezcla, el segundo componente es el agua, que es el encargado de hidratar al cemento Pórtland por medio de reacciones químicas. A la mezcla de estos dos componentes se le denomina pasta. El tercer componente está conformado por los agregados que son materiales inertes de forma granular divididos en agregados finos (arena) y gruesos (gravas); y finalmente está compuesto por una cantidad de aire atrapado (Abanto, 2017).

2.2.2.2.1. El cemento

Rivva (2004) define al cemento como aquel material aglutinante que tiene la capacidad de poder formar compuestos cohesivos y adhesivos para formar un material macizo que, al entrar en contacto con el agua, se le brinda de la capacidad de poder endurecer tanto al aire como bajo el agua, ante esta particularidad denominamos a este material como cemento hidráulico.

La composición principal de los cementos hidráulicos son los silicatos y aluminatos de cal y pueden clasificarse en general como cementos naturales, cementos Pórtland y cementos de alta alúmina (Neville, 2013).

A. Cemento Pórtland

La NTP 334.001 (2001) refiere sobre el cemento Pórtland que es un cemento hidráulico producido por el proceso de pulverización del clinker.

a) Tipos de cemento Pórtland

La norma NTP 334.009 (2016) refiere sobre los tipos de cemento Pórtland, los cuales se pueden clasificar en los siguientes:

- Tipo I:

El cemento Pórtland tipo I es para uso general que no requieran propiedades específicas, se utiliza en

concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos como podría ser la presencia de sulfatos en el suelo o en el agua.

- **Tipo II:**

Este tipo de cemento se utiliza generalmente cuando se desea obtener según las especificaciones del proyecto una resistencia moderada a los sulfatos y/o moderado calor de hidratación. Se emplea en edificaciones, estructuras industriales, puentes, obras portuarias, perforaciones y en general en todas aquellas estructuras de volúmenes masivos y en climas cálidos.

- **Tipo III:**

El uso del cemento Pórtland tipo III está inmerso cuando se requiere altas resistencias iniciales y elevado calor de hidratación. Para uso en climas fríos en los casos que se necesite adelantar las puestas en servicios de las estructuras.

- **Tipo IV:**

Este tipo de cemento Pórtland se usa cuando se desea un bajo calor de hidratación. Aplicado para concretos masivos. Se debe tener en cuenta que este cemento desarrolla resistencias a velocidades inferiores que los otros cementos.

- **Tipo V:**

Este tipo de cemento tiene las cualidades del tipo II y se usa cuando se busca una alta resistencia al ataque de los sulfatos. Aplicado para ambientes muy agresivos.

b) Requisitos químicos del cemento Pórtland

Cada uno de los tipos de cemento Pórtland deberán de cumplir con los respectivos requisitos químicos que se indican en la Tabla N° 2.

Tabla 2.*Requisitos químicos del cemento Pórtland*

Requisitos	Método de ensayo aplicable	Tipo de cemento					
		I	II	II (MH)	III	IV	V
Óxido de aluminio, (Al ₂ O ₃), máx. %		-	6.0	6.0	-	-	-
Óxido férrico, (Fe ₂ O ₃), máx. %		-	6.0	6.0	-	6.5	-
Óxido de magnesio, (MgO), máx. %		6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Trióxido de azufre, (SO ₃), máx. %							
Cuando (C ₃ A) es 8 % o menos	NTP 334.086	3.0	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
Cuando (C ₃ A) es más del 8 %		3.5	-	-	4.5	-	-
Pérdida por ignición, máx. %							
Cuando la caliza no es ingrediente		3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
Cuando la caliza es un ingrediente		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Residuo insoluble, máx. %		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Silicato tricálcico, (C ₃ S), máx. %		-	-	-	-	35.0	-
Silicato dicálcico, (C ₂ S), máx. %		-	-	-	-	40.0	-
Aluminato tricálcico, (C ₃ A), máx. %		-	8.0	8.0	15.0	7.0	5.0
Suma de C ₃ S + 4.75 C ₃ A, máx. %		-	-	100.0	-	-	-
Aluminoferrito tetracálcico, más dos veces el aluminato tricálcico ((C ₄ AF+2(C ₃ A)), o solución sólida, (C ₄ AF+C ₂ F), como sea aplicable, máx. %		-	-	-	-	-	25.0

Fuente: Adaptado de la NTP 334.009 (2016).

c) Requisitos físicos del cemento Pórtland

Cada uno de los tipos de cemento Pórtland deberán de cumplir con los respectivos requisitos físicos que se indican en la Tabla N° 3.

Tabla 3.*Requisitos físicos del cemento Pórtland*

Requisitos	Método de ensayo aplicable	Tipo de cemento					
		I	II	II (MH)	III	IV	V
Contenido de aire del mortero volumen %:							
Máx.	334.048	12	12	12	12	12	12
Mín.		-	-	-	-	-	-
Finura, Superficie Específica, (m ² /kg)							
Ensayo de Permeabilidad al aire	334.002						
Máx.		260	260	260	-	260	260
Mín.		-	-	430	-	430	-
Expansión en autoclave,							
Máx., %	334.004	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

Resistencia no menor que los valores mostrados para las edades indicadas a continuación:							
Resistencia a la compresión, MPa	334.051						
1 día		-	-	-	12	-	-
3 días		12.0	10.0	10.0	24.0	-	8.0
7 días		19.0	17.0	17.0	-	7.0	15.0
28 días		-	-	-	-	17.0	21.0
Tiempo de fraguado							
Ensayo de Vicat, minutos	334.006						
Tiempo de fraguado no menor de:		45	45	45	45	45	45
Tiempo de fraguado no mayor de:		375	375	375	375	375	<u>375</u>

Fuente: Adaptado de la NTP 334.009 (2016).

2.2.2.2. Agua para el concreto

El agua es el componente primordial para que en el concreto pueda producirse el proceso de hidratación con el cemento, asimismo, influye de manera significativa en el desarrollo de sus propiedades.

Kosmatka et al. (2004) refieren que la calidad del agua juega un rol muy importante, en todas las características del concreto, tanto en estado fresco como en el endurecido.

El agua tiene tres funciones principales en el concreto, las cuales son:

- Reaccionar químicamente con el cemento para hidratarlo y formar el gel.
- Contribuir con la trabajabilidad de la mezcla facilitando una adecuada manipulación y colación del concreto en estado fresco.
- Convertirse en un producto de las propiedades y características deseadas en el concreto endurecido.

A. Requisitos de calidad del agua

El agua que se utilice para la preparación de mezclas de concreto deberá cumplir con los requisitos estipulados en la NTP 339.088, utilizándose de preferencia el agua potable.

La NTP 339.088 (2014) indica lo siguiente: “Se permitirá el uso de agua potable como agua de mezcla en el concreto sin

ensayarla para evaluar su conformidad con los requisitos de esta NTP” (p.5).

La NTP 339.088 establece los requisitos para el agua de mezclado y curado, los cuales se muestran en la Tabla N° 4.

Tabla 4.

Límites permisibles máximos para agua de mezcla y de curado

Descripción	Límite permisible		
Materia orgánica	3	ppm	Máximo
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5,000	ppm	Máximo
pH	5.5 - 8	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ion Cl ⁻)	1,000	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1,000	ppm	Máximo

Fuente: Adaptado de la NTP 334.008 (2014).

2.2.2.2.3. Agregados para el concreto

Como se ha podido observar en la Figura N° 3 los agregados ocupan alrededor del 59% al 76% en una mezcla de concreto. Neville (2013) refiere que inicialmente la única razón por la que los agregados se encontraban dentro de una mezcla era por razones económicas. Sin embargo, los agregados no son realmente inertes y sus propiedades físicas, térmicas y químicas influyen en el comportamiento del concreto.

Por tal motivo la calidad de los agregados tiene una influencia determinante sobre las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como en el endurecido.

La NTP 400.011 (2008) define sobre los agregados para el concreto: “Conjunto de partículas pétreas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP 400.037” (p.3).

A. Agregado Fino

a) Definición

Abanto (2017) refiere sobre el agregado fino a la arena o piedra natural triturada en porciones muy finas cuyo origen se puede deber a la desintegración natural o artificial de las rocas, cuyas partículas pasan el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8") y quedan retenidas en el tamiz normalizado 75 μm (N° 200), el cual deberá de cumplir con los límites granulométricos establecidos en la NTP 400.037.

b) Granulometría

La NTP 400.037 (2014) establece las gradaciones que el agregado fino debe de cumplir, las cuales se muestran en la Tabla N° 5.

Tabla 5.
Granulometría del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 μm (N° 30)	25 a 60
300 μm (N° 50)	5 a 30
150 μm (N° 100)	0 a 10

Fuente: Adaptado de la NTP 400.037 (2014).

c) Sustancias deletéreas

La NTP 400.037 (2014) refiere que la cantidad de sustancias deletéreas o dañinas del agregado fino no deberán de exceder los límites establecidos en la Tabla N° 6.

Tabla 6.*Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino.*

Ensayo	Porcentaje total de la muestra (máx.)
Terrones de arcilla y partículas friables	3.0
Material más fino que la malla normalizada de 75 µm (N° 200):	
- Concreto sujeto a abrasión	3.0
- Otros concretos	5.0
Carbón y lignito:	
- Cuando la apariencia de la superficie del concreto es importante.	0.5
- Otros concretos	1.0

Fuente: Adaptado de la NTP 400.037 (2014)

d) Materia orgánica

De acuerdo a la NTP 400.024 (2011), se considerará un agregado fino satisfactorio a aquel que no demuestre presencia nociva de materia orgánica cuando se la determine de acuerdo al método de ensayo establecido por la norma ya mencionada.

B. Agregado Grueso**a) Definición**

Abanto (2017) refiere sobre el agregado grueso a aquel material que al igual que el agregado fino puede provenir de la desintegración natural o mecánica de las rocas, cuyas partículas son retenidas en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4) y cumplen con aquellos límites granulométricos que se establecen en la NTP 400.037.

b) Granulometría

La NTP 400.037 (2014) establece los requisitos de gradación que deberá de cumplir el agregado grueso, dichos requisitos de gradación se muestran en la Tabla N° 7.

Tabla 7.
Requisitos granulométricos del agregado grueso.

Husos	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3 1/2")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")	---	---	100.0	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	50 mm a 25.0 mm (2" a 1")	---	---	---	100	90 a 100	0 a 15	---	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	50 mm a 4.75 mm (2" a N° 4)	---	---	---	100	95 a 100	35 a 70	---	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---	---
4	37.5 mm a 19.0 mm (1 1/2" a 3/4")	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	---	---	---	---	---	---
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2" a N° 4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	10 a 30	0 a 5	---	---	---	---
5	25.0 mm a 12.5 mm (1" a 1/2")	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	25.0 mm a 9.5 mm (1" a 3/8")	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	25.0 mm a 4.75 mm (1" a N° 4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	0 a 10	0 a 5	---	---	---
6	19.0 mm a 9.5 mm (3/4" a 3/8")	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	19.0 mm a 9.5 mm (3/4" a N° 4)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2" a N° 4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8" a N° 8)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2" a 3/8")	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Adaptado de la NTP 400.037 (2014).

c) Tamaño máximo

Según la NTP 400.037 (2014) el tamaño máximo del agregado grueso corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso.

d) Tamaño máximo nominal

De acuerdo a la NTP 400.037 (2014) el tamaño máximo nominal de un agregado grueso corresponde al menor tamiz de la serie utilizada para la realización del análisis granulométrico que produce el primer retenido.

e) Sustancias deletéreas

Según la NTP 400.037(2011) las partículas dañinas presentes en el agregado grueso no deberán de exceder los límites establecidos en la Tabla N° 8.

Tabla 8.

Límites para sustancias deletéreas en el agregado grueso.

Ensayo	Porcentaje total de la muestra (máx.)
Terrones de arcilla y partículas friables	5.0
Material más fino que la malla normalizada de 75 µm (N° 200)	1.0
Horsteno (menos de 2.40 de densidad)	5.0
Carbón y lignito:	
- Cuando la apariencia de la superficie del concreto es importante.	0.5
- Otros concretos	1.0

Fuente: Adaptado de la NTP 400.037 (2014).

2.2.2.2.4. Aditivos en el concreto

Los aditivos son aquellos materiales que se emplean normalmente antes o durante el mezclado de los componentes del concreto, cuyo fin de incorporación es el de modificar alguna o varias de las propiedades finales para poder tener un concreto de las características que se desea (Abanto, 2017).

2.2.2.3. Propiedades del concreto

2.2.2.3.1. Propiedades del concreto en estado fresco

Neville (2013) refiere que las características pasajeras que tiene el concreto en estado fresco influyen a las características del concreto en estado endurecido, por tanto, es de vital importancia que la consistencia de la mezcla se pueda transportar, colocar, compactar y acabar con suficiente facilidad y sin segregación.

A. Trabajabilidad

La trabajabilidad es la propiedad del concreto en estado fresco la cual determina los atributos de trabajo; es decir, esta propiedad determina la facilidad de mezclado, colocación, moldeo y acabado de las mezclas de concreto (Neville, 2013).

Kosmatka et al. (2004) refieren sobre los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto, los cuales son:

1. El método y la duración del transporte.
2. Cantidad y características de los materiales cementantes.
3. Consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento).
4. Tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos.
5. Aire incluido (aire incorporado).
6. Cantidad de agua.
7. Temperatura del concreto y del aire.
8. Los aditivos.

Abanto (2017) refiere que no existe prueba alguna que nos permita cuantificar la trabajabilidad, por lo que para poder apreciarla se emplea el ensayo de consistencia, ya que la trabajabilidad y consistencia son propiedades que están relacionadas, siendo la consistencia un indicador de la trabajabilidad.

B. Consistencia

La consistencia está definida por el grado de humedecimiento de una mezcla de concreto y la resistencia que opone dicha mezcla en estado fresco a sufrir deformaciones antes del inicio de fraguado, el ensayo por el cual se determina la consistencia de una mezcla está determinada por el ensayo del asentamiento o slump en el cono de Abrams (Abanto, 2017). La NTP 339.035 establece el método correspondiente del procedimiento del ensayo para la medición del asentamiento del concreto en estado fresco.

C. Segregación

Según Neville (2013) la segregación es una característica del concreto en estado fresco que consiste en la separación de los componentes de la mezcla heterogénea que forma una distribución no uniforme de la mezcla, siendo este fenómeno perjudicial para el concreto, ya que lo que se busca de una mezcla es que sea cohesiva, mas no que se segreguen sus materiales.

D. Exudación

La exudación es aquella propiedad del concreto en estado fresco que produce una capa de agua en la superficie del concreto acabado de colocar, cuya manifestación es producto del asentamiento de los sólidos, este fenómeno es originado por la sedimentación de las partículas sólidas que pierden la capacidad de retener el agua de mezclado produciendo la subida del agua hacia la superficie (Kosmatka et al., 2004).

2.2.2.3.2. Propiedades del concreto en estado endurecido

A. Resistencia

Según Neville (2013) la resistencia es el primer indicador de calidad de un concreto, puesto que está definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado dicho material sin sufrir falla alguna. El concreto tiene una muy buena resistencia

a la compresión, pero un bajo valor con la resistencia a la tracción.

El Comité ACI 318 (2008) refiere sobre la resistencia del concreto, que para cada prueba de resistencia deben de fabricarse y curarse al menos dos probetas cilíndricas de 150 por 300 mm o tres probetas de 100 por 200 mm, las mismas deberán de ensayarse a los 28 días o la edad establecida para el f'_c .

Asimismo, el Comité ACI 318 (2008) refiere que el nivel de resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactorio si cumple con dos requisitos fundamentales, los cuales son:

- El promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a f'_c .
- Ningún resultado de ensayo de resistencia es menor que f'_c por más de 3.5 Mpa cuando f'_c es 35 Mpa o menor; o por más de $0.10f'_c$ cuando el f'_c es mayor a 35 Mpa

B. Durabilidad

Abanto (2017) refiere que la durabilidad está definida como aquella propiedad del concreto en estado endurecido en la que es capaz de resistir satisfactoriamente aquellas condiciones de servicio a las que está expuesto.

C. Permeabilidad

La permeabilidad está definida como la capacidad que tiene el concreto de resistir la penetración del agua u otras sustancias que lo puedan deteriorar (Abanto, 2017).

2.2.2.4. Diseño de mezclas

Kosmatka et al. (2004) refieren que el diseño de mezclas es aquel proceso de determinación de las características requeridas y el proporcionamiento de los materiales componentes del concreto,

dichas características incluyen aquellas particularidades con las que contará el concreto fresco y endurecido.

Bajo esta definición podemos definir que el proporcionamiento o diseño de las mezclas, se refiere al procedimiento de la determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, en base a las propiedades y características de sus componentes para que se logren aquellas características y cualidades que se desea que un proyecto constructivo cuente. Un concreto que es proporcionado adecuadamente debe presentar las siguientes cualidades:

- Trabajabilidad
- Durabilidad, resistencia y apariencia uniforme del concreto en estado endurecido.
- Economía

2.2.2.4.1. Factores que rigen la selección de proporciones de la mezcla

Antes de que se puedan determinar las proporciones de la mezcla, se debe reafirmar el objetivo básico que comprende este proceso como es el de determinar las proporciones más económicas que satisfagan las propiedades mínimas de calidad del concreto en estado fresco, como en el endurecido.

A. Durabilidad

El proporcionamiento de las mezclas no solo debe satisfacer los requisitos de resistencia, sino también asegurar una durabilidad adecuada para los diversos estados de exposición del concreto, manteniendo su resistencia y utilidad requeridas durante el tiempo en servicio especificado, siendo capaz de soportar el deterioro al cual se puede esperar que vaya a estar expuesto.

B. Trabajabilidad

El proporcionamiento de las mezclas de concreto debe producir un concreto que tenga trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuada que permita que el concreto sea puesto en su lugar

final sin que la mezcla tenga segregación ni exudación excesiva.

C. Granulometría y tipo de agregado

Neville (2013) refiere que la granulometría influye en las proporciones de la mezcla para una trabajabilidad y una relación agua/cemento deseadas; es decir cuánto más gruesa es la granulometría tanto más pobre es la mezcla que se puede utilizar, pero esto es así solo dentro de ciertos límites, porque una mezcla muy pobre no será cohesiva sin una cantidad suficiente de material fino.

D. Contenido de cemento

El contenido del cemento está relacionado en cierta parte con la economía del proporcionamiento de las mezclas, ya que este insumo tiene mayor incidencia sobre los demás componentes.

2.2.2.4.2. Métodos de diseño para el proporcionamiento de las mezclas

Existen métodos y procesos que abalados en la estadística nos permite seleccionar la cantidad de cada insumo necesario para el proporcionamiento de las mezclas de concreto. Los métodos de diseño más empleados para el proporcionamiento de las mezclas de concreto son el método ACI-211 y el método del módulo de fineza de la combinación de los agregados.

A. Método ACI 211

El proporcionamiento de las mezclas de concreto mediante el método del ACI-211 produce concretos económicos y resistentes a la abrasión, la principal ventaja de este método es la abundancia de información y entre sus principales limitaciones se tiene que los agregados deben de cumplir tanto los requisitos granulométricos, como también los obligatorios.

B. Método del módulo de fineza

Es un método muy versátil, ya que este método es uno de los que mejor se adecuan a la realidad peruana debido a que

permite el empleo de agregados que no cumplen con los requisitos granulométricos.

2.2.2.4.3. **Secuencia del diseño de mezclas según ACI-211**

Para poder diseñar una mezcla de concreto según el ACI-211 se deberá de seguir la siguiente secuencia.

A. Recaudar los parámetros de partida

- Características y propiedades de los materiales.
- Tamaño y forma de las estructuras.
- Determinar la resistencia especificada ($f'c$).
- Condiciones ambientales durante el proceso de vaciado.
- Condiciones de exposición de la estructura.

B. Calculo de la resistencia requerida

La norma E.060 – Concreto Armado (2009) establece las ecuaciones necesarias para poder determinar la resistencia de diseño, estableciendo dos posibles casos que se podrían presentar al calcular la resistencia requerida ($f'cr$).

a) Cuando se dispone de menos de 30 ensayos

Cuando se cuente con registros basados de 15 a 29 ensayos consecutivos, se debe establecer la desviación estándar de la muestra (S_s), afectada por el factor de modificación, cuyos valores se pueden apreciar en la Tabla N° 9, los mismos que deben de ser reemplazados en las ecuaciones de la Tabla N° 10.

Tabla 9.

Factor de modificación para desviación estándar.

Número de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra
Menos de 15	(emplear Tabla 10)
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Fuente: Adaptado de la Norma E.060 (2009).

Tabla 10.

Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles.

Resistencia especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
$f'c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las siguientes ecuaciones: a) $f'cr = f'c + 1.34Ss$ b) $f'cr = f'c + 2.33Ss - 3.5$
$f'c > 35$	Usar el mayor valor obtenido de las siguientes ecuaciones: a) $f'cr = f'c + 1.34Ss$ b) $f'cr = 0.90f'c + 2.33Ss$

Fuente: Adaptado de la Norma E.060 (2009).

b) Cuando no se cuentan con datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

Cuando no se cuenten con datos suficientes para el cálculo de la desviación estándar, se procederá a calcular la resistencia requerida con la Tabla N° 11.

Tabla 11.

Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles.

Resistencia especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7.0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8.5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1.1 f'c + 5.0$

Fuente: Adaptado de la Norma E.060 (2009).

C. Seleccionar el tamaño máximo nominal del agregado grueso

La norma E.060 (2009) refiere sobre el tamaño máximo nominal que no deberá de ser superior a:

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
- 1/3 de la altura de la losa, de ser el caso.

- 3/4 del espaciamiento mínimo entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

D. Selección del asentamiento

El asentamiento podrá determinarse mediante la Tabla N° 12.

Tabla 12.

Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción

Tipo de Estructura	Asentamiento o Máximo	Asentamiento o mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto Ciclópeo	2"	1"

Fuente: Adaptado de Abanto, F. (2017).

E. Estimación del volumen de agua

La estimación de la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un asentamiento determinado, depende del tamaño máximo nominal del agregado y de la presencia de aire. La Tabla N° 13, proporciona los valores estimados del volumen de agua por metro cubico.

Tabla 13.

Requerimientos de agua de mezclado y de contenido de aire.

Asentamiento	Agua, en l/m³, para los TMN del agregado grueso y consistencia indicada							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin Aire Incorporado								
1" a 2"	205	200	185	180	160	155	145	125
3" a 4"	225	215	200	195	175	170	160	140
6" a 7"	240	230	210	205	185	180	170	-
Contenido de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concretos con Aire Incorporado								
1" a 2"	180	175	165	160	145	140	135	120
3" a 4"	200	190	180	175	160	155	150	135
6" a 7"	215	205	190	185	170	165	160	-
Contenido de aire incorporado (%)	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: Adaptado de Abanto, F. (2017).

F. Selección de la relación agua/cemento

La selección de la relación agua/cemento se determina por la resistencia a la compresión o por durabilidad. Las Tablas N° 14 y N° 15 muestran los valores para la relación agua/cemento por resistencia a la compresión y por durabilidad respectivamente.

Tabla 14.

Relación agua - cemento y resistencia a la compresión del concreto

F'cr kg/cm ² a los 28 días	Relación Agua/Cemento de diseño en peso	
	Concretos sin Aire Incorporado	Concretos con Aire Incorporado
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Adaptado de Abanto, F. (2017).

Tabla 15.

Requisitos para condiciones especiales de exposición.

Condición de la exposición	Relación máxima agua-material cementante (en peso) para concretos de peso normal	f'c mínimo (Mpa) para concretos de peso normal o con agregados ligeros
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0.50	28
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	0.45	31
Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	0.40	35

Fuente: Adaptado de la Norma E.060 (2009).

G. Cálculo del contenido de cemento

El contenido del cemento se calcula mediante la división del volumen unitario de agua entre la relación agua/cemento.

H. Selección del peso del agregado grueso

La Tabla N° 16, proporciona el valor de b/b_0 , donde b_0 y b son los pesos unitarios secos con y sin compactar respectivamente del agregado grueso.

Tabla 16.

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

TMN Tamaño Máx. Nominal del Agregado Grueso	Módulo de finura del Agregado Fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8" (9.5 mm)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2" (12.5 mm)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" (19.0 mm)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25.0 mm)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2" (37.5 mm)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50.0 mm)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75.0 mm)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 mm)	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Adaptado de Abanto, F. (2017).

I. Cálculo de los volúmenes absolutos

En este paso se calculará la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar el agregado fino.

J. Cálculo del volumen del agregado fino

Se procederá a calcular el volumen del agregado fino por diferencia del metro cúbico de los volúmenes absolutos calculados en el paso anterior.

K. Ajustes por humedad del agregado

- Cálculo del peso en estado seco del agregado fino.
- Presentación del diseño en estado seco.
- Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados.

- Presentación del diseño en estado húmedo.

2.2.2.4.4. Secuencia del diseño de mezclas por el método del módulo de fineza

Para poder diseñar mezclas de concreto mediante este método se siguen los pasos tal cual del método del ACI-211 hasta la etapa del cálculo del contenido de cemento. Una vez calculado el contenido de cemento se calcula el volumen de los agregados en base al módulo de fineza de cada uno respectivamente, por lo demás todo es similar al método anterior.

A. Calculo del módulo de fineza de la combinación de los agregados

La Tabla N° 17, muestra los valores para que se pueda calcular el módulo de fineza de la combinación de los agregados en base al tamaño máximo nominal y al factor de bolsas de cemento que se utilizarán en el proporcionamiento de la mezcla.

Tabla 17.

Módulo de fineza de la combinación de agregados.

TMN	Bolsas de Cemento por m3				
	A.G.	6	7	8	9
3/8"		3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"		4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"		4.96	5.04	5.11	5.19
1"		5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"		5.56	5.64	5.71	5.79
2"		5.86	5.94	6.01	6.09
3"		6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Adaptado de Abanto, F. (2009).

B. Calculo del porcentaje de agregado fino

El porcentaje de agregado fino se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ AGREGADO FINO} = \frac{mg-m}{mg-mf} \times 100 \quad (2.1)$$

Donde:

mg : Módulo de finura del agregado grueso

mf : Módulo de finura del agregado fino

m : Módulo de finura de la combinación de agregados

C. Ajustes por humedad del agregado

- Cálculo del peso en estado seco del agregado fino.
- Presentación del diseño en estado seco.
- Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados.
- Presentación del diseño en estado húmedo.

2.2.2.5. Concretos de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

La Norma E.060 (2009) refiere que la resistencia mínima con la que debe de contar un concreto, no deberá de ser inferior a los 17.5 Mpa o 175 kg/cm^2 .

Asimismo, la Norma CE.010 – Pavimentos Urbanos (2010) refiere que la resistencia mínima a la compresión para pavimentos especiales de concreto de cemento Portland deben de ser los siguientes:

- Aceras o veredas ($f'c \geq 17.5 \text{ Mpa}$).
- Pasajes peatonales ($f'c \geq 17.5 \text{ Mpa}$).
- Ciclovías ($f'c \geq 17.5 \text{ Mpa}$).

2.3. Definición de términos básicos

Agregado

Según la norma E.060 (2009) el agregado es aquel material de procedencia artificial o natural de tipo granular, tal como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, el cual al ser empleado conjuntamente con un medio cementante forma el concreto o mortero hidráulico.

Agregado fino

Según la norma E.060 (2009) el agregado fino es aquel agregado cuyas partículas pasan el tamiz 9,5 mm (3/8").

Agregado grueso

Según la norma E.060 (2009) el agregado grueso es aquel agregado cuyas partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

Calidad

La ISO 9000 (2015) define sobre la calidad como el “grado en el que un conjunto de características de un producto satisface las necesidades o expectativas de su consumidor”.

Cemento

Según la norma E.060 (2009) el cemento es aquel material pulverizado que en entrar en contacto con el agua forma una pasta con la capacidad de aglomerar los materiales envueltos en este y que después de cierto tiempo es capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire.

Cemento Portland

Según la norma E.060 (2009) este material es el producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la añadidura eventual de sulfato de calcio.

Clinker Pórtland

El clinker es un producto que se obtiene a través de la calcinación de materias primas, cuyo proceso comienza por combinar una fuente de cal, calizas, sílice, alúmina y óxido de hierro en proporciones adecuadamente dosificadas (NTP 339.001, 2001)

Concretos livianos

Según Abanto (2017) son aquellos concretos cuyo peso unitario varía desde 400 a 1700 kg/m³.

Concretos de peso normal

Según Abanto (2009), son aquellos concretos cuyo peso unitario varía de 2300 a 2500 kg/m³.

Concretos pesados

Según Abanto (2009), los concretos normales son aquellos cuyo peso unitario varía entre 2800 a 6000 kg/m³.

Concreto simple

Según la norma E.060 (2009) es aquel concreto estructural el cual no presenta armaduras de refuerzo o con menos refuerzo que el mínimo especificado para concreto reforzado.

Generador de residuos

Persona natural o jurídica que en razón de sus actividades genera residuos, sea como productor, importador, distribuidor, comerciante o usuario.

Plástico

Son materiales artificiales resultantes de la polimerización de monómeros, cuya composición está comprendida por compuestos de carbono, nitrógeno, hidrogeno, oxígeno y otros elementos orgánicos e inorgánicos.

Polipropileno (PP)

El Polipropileno (PP) es un polímero termoplástico, el cual pertenece a la familia de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices, sillas, tinas y entre muchos más.

Reciclaje

El reciclaje es aquel proceso mediante el cual se recolectan aquellos residuos o desechos para poder procesarlos y así poder obtener materia prima que pueda servir para la elaboración de otros productos.

Vereda

Las veredas son vías destinadas al tránsito de peatones, ubicadas generalmente a los lados de las pistas y junto al paramento de viviendas, así como en las áreas de edificación, parques, etc.

2.4. Hipótesis

La presente investigación ha planteado hipótesis generales y específicas.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) refieren que las hipótesis son las direcciones y guías de una investigación, estas proposiciones tienen el fin de dar respuesta al fenómeno que está en investigación. A continuación, se detalla la hipótesis general y las hipótesis específicas.

2.4.1. Hipótesis general

La incorporación del polipropileno reciclado influye en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) La incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
- b) La incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
- c) La incorporación del polipropileno reciclado influye en los costos de producción del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de las variables

2.5.1.1. Variable independiente

- **Polipropileno reciclado (X)**

El Polipropileno es un polímero termoplástico que pertenece al grupo de las poliolefinas, este material tiene una diversidad de aplicaciones en la producción de plásticos tales como vasos, platos para alimentos, sillas, tinas, baldes, tapas de todo tipo, envases y muchos otros elementos más. Su reciclaje comprende recuperar y procesar los plásticos de consumo cuando su vida útil de estos ha terminado para su posterior utilización en nuevas aplicaciones (Galvis, 2014).

2.5.1.2. Variable dependiente

- **Calidad del concreto (Y)**

Gastañadú (2004) indica que la calidad del concreto está definida como aquel procedimiento técnico que permite

controlar ciertos criterios y parámetros técnicos especificados al menor costo posible según las normas vigentes; estos parámetros se aplican tanto a la calidad del concreto en estado fresco, como en el endurecido.

2.5.2. Definición operacional de las variables

2.5.2.1. Variable independiente

- **Polipropileno reciclado (X)**

La variable Polipropileno reciclado será operacionalizada para luego incorporarla como agregado grueso en porcentaje de su peso bajo los rangos de variabilidad del 10%, 20% y 30% como agregado grueso para la elaboración de mezclas de concreto de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

2.5.2.2. Variable dependiente

- **Calidad del concreto (Y)**

La variable calidad del concreto será operacionalizada tanto en el estado fresco como en el endurecido aplicándose los ensayos respectivos de acuerdo a las NTP vigentes.

2.5.3. Operacionalización de las variables

En el Cuadro N° 4 se muestra la operacionalización de los variables.

Cuadro 4.

Operacionalización de las variables.

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDICIÓN	RANGO DE VARIABILIDAD
(X) Polipropileno reciclado	El Polipropileno es un polímero termoplástico que pertenece al grupo de las poliolefinas, este material tiene una diversidad de aplicaciones en la producción de plásticos tales como vasos, platos para alimentos, sillas, tinas, baldes, tapas de todo tipo, envases y muchos otros elementos más. Su reciclaje comprende recuperar y procesar los plásticos de consumo cuando su vida útil de estos ha terminado para su posterior utilización en nuevas aplicaciones (Galvis, 2014).	Incorporación del Polipropileno reciclado como agregado grueso	Cantidad de polipropileno reciclado.	% en peso	10, 20 y 30%
			Tamaño máximo nominal del Polipropileno reciclado.	pulg	3/8"
(Y) Calidad del Concreto	Gastañadú (2004) indica que la calidad del concreto está definida como aquel procedimiento técnico que permite controlar ciertos criterios y parámetros técnicos especificados al menor costo posible según las normas vigentes; estos parámetros se aplican tanto a la calidad del concreto en estado fresco, como en el endurecido.	Estado fresco.	Asentamiento	mm	-
			Temperatura	°C	-
			Exudación	ml/cm ²	-
			Peso unitario.	kg/cm ³	-
			Tiempo de Fragua	hr	-
		Estado endurecido	Resistencia a la compresión axial	kg/cm ²	-
			Resistencia a la tracción simple por compresión diametral	kg/cm ²	-
Costo de producción	Análisis de Costos Unitario	S/	-		

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se ha aplicado el método científico, que establece las relaciones entre las variables que afectan al fenómeno que está en estudio (Borja, 2012).

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se desarrolló en la presente tesis es del tipo aplicada - tecnológica.

Borja (2012) refiere que la investigación tecnológica tiene el objetivo de solucionar problemas prácticos, implicando la transformación de la propia realidad, que se manifiesta en el diseño de nuevos métodos, productos y procedimientos.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación que se desarrolló en la presente tesis fue el de un estudio explicativo. Hernández et al. (2014) refieren que el nivel explicativo de una investigación pretende buscar y establecer el porqué de los hechos mediante la relación causa – efecto de los sucesos del fenómeno en estudio.

3.4. Diseño de la investigación

El presente proyecto de investigación se ha desarrollado bajo un diseño cuasiexperimental. Según Carrasco (2006) considera que los diseños cuasiexperimentales son aquellos a los que no se asignan al azar los

sujetos que forman parte del grupo control y experimental, ya que estos están formados previamente al experimento.

El diseño que se siguió para la realización de este trabajo de investigación fue el diseño con posprueba únicamente y grupos intactos. Según Carrasco (2006) este diseño incluye dos grupos: uno recibe el tratamiento experimental y el otro grupo viene a ser el grupo control, la manipulación se da sobre la variable independiente y cuando concluye dicha manipulación, a ambos grupos se les administra una medición sobre la variable dependiente en estudio.

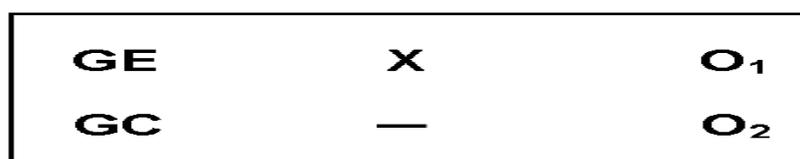


Figura 4. Esquema con posprueba únicamente y grupos intactos.
Fuente: Adaptado de Carrasco (2006).

Donde:

- GE : Grupo Experimental.
- GC : Grupo Control.
- X : Tratamiento experimental a la variable independiente.
- : Ausencia de la variable independiente.
- O₁, O₂: Posprueba.

La estructura del diseño de la investigación se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Tabla 18.
Diseño con posprueba únicamente y grupos intactos

GRUPOS		VARIABLE INDEPENDIENTE		POSPRUEBA
GE ₁	Concreto f'c = 175 kg/cm ²	X ₁	Incorporación del polipropileno reciclado al 10%	O ₁
GE ₂	Concreto f'c = 175 kg/cm ²	X ₂	Incorporación del polipropileno reciclado al 20%	O ₂
GE ₃	Concreto f'c = 175 kg/cm ²	X ₃	Incorporación del polipropileno reciclado al 30%	O ₃
GC	Concreto f'c = 175 kg/cm ²	-	Sin polipropileno reciclado	O ₄

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población objetivo de la investigación estuvo constituida por los concretos de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

3.5.2. Muestra

El tipo de muestreo que se realizó para la presente investigación fue del tipo no probabilístico o dirigido.

Las muestras de la presente investigación estuvieron contempladas por la elaboración de un diseño de mezcla convencional de concreto de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ (grupo control) y otros bajo la incorporación del Polipropileno reciclado como agregado grueso en los porcentajes del 10%, 20% y 30% respectivamente (grupo experimental), a las cuales se le efectuaron los ensayos respectivos de calidad del concreto en estado fresco y endurecido.

Con respecto a los ensayos de calidad del concreto en estado endurecido la muestra estuvo constituida por 18 probetas de 4" x 8" para el grupo control y de 54 probetas de 4" x 8" para el grupo experimental, ambas para el ensayo de resistencia a la compresión axial roturadas a los 7, 14 y 28 días de edad respectivamente. Para el ensayo de resistencia a la tracción simple por compresión diametral, el grupo control estuvo conformado por 2 probetas de 6" x 12" y de 6 probetas de 6" x 12" para el grupo experimental, ambas roturadas a los 28 días de edad.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos que se emplearon, estuvieron basadas en normas estandarizadas, tales como las NTP (Normas Técnicas Peruanas), en donde se pueden encontrar las técnicas, instrumentos y procedimientos necesarios para ejecutar los ensayos de calidad respectivos que demanda la presente investigación.

- **Instrumentos para los ensayos de calidad del concreto en estado fresco.**
 - Cono de Abrams.
 - Termómetro.
 - Recipiente cilíndrico metálico.
 - Penetrómetro.
 - Balanzas electrónicas.
 - Probetas plásticas para concreto (4" x 8").
 - Probetas metálicas para concreto (6" x 12").

- **Instrumentos para los ensayos de calidad del concreto en estado endurecido.**
 - Prensa de concreto.

3.7. Procesamiento de la información

El procesamiento de la información recolectada se realizó de acuerdo a las normas técnicas peruanas vigentes (NTP).

A continuación, se mencionan las normas técnicas peruanas que se utilizaron para el procesamiento de la información de los datos recolectados sobre los materiales usados y de los ensayos ejecutados al concreto en estado fresco y endurecido.

A. Caracterización de los materiales

- NTP 400.010 (2016) AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras.
- NTP 400.043 (2015) AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo.
- NTP 400.012 (2013) AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- NTP 400.018 (2013) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N° 200) por lavado en agregados.

- NTP 400.024 (2011) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.
- NTP 339.185 (2013) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- NTP 400.017 (2011) AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“peso unitario”) y los vacíos en los agregados.
- NTP 400.021 (2013) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.
- NTP 400.022 (2013) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.

B. Ensayos de calidad al concreto en estado fresco

- NTP 339.036 (2011) CONCRETO. Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco.
- NTP 339.035 (2015) CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland.
- NTP 339.184 (2013) CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto.
- NTP 339.046 (2008) HORMIGON. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).
- NTP 339.077 (2013) CONCRETO. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto.
- NTP 339.082 (2001) CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración.

C. Ensayos de calidad al concreto en estado endurecido

- NTP 339.034 (2013) CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
- NTP 339.084 (2012) CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica

3.8. Técnicas y análisis de datos

Seguidamente después de la recolección de los datos y procesamiento de la información necesaria se procedió con el análisis de los datos obtenidos. Cabe mencionar que los ensayos realizados con respecto a la caracterización de los agregados, ensayos de calidad al concreto en estado fresco y endurecido fueron realizados en el laboratorio DOSED SAC, ubicado en el distrito del Tambo de la provincia de Huancayo, Junín.

En el Laboratorio de Estructuras e Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana los Andes se realizaron los ensayos de calidad al concreto en estado endurecido, tal como el ensayo a la resistencia a la compresión axial.

La secuencia que se siguió para el análisis de los datos correspondientes fue la siguiente:

- Selección de los materiales.
- Caracterización de las propiedades de los materiales.
- Diseño de mezclas.
- Ensayos de calidad al concreto en estado fresco.
- Ensayos de calidad al concreto en estado endurecido.

3.8.1. Selección de los materiales

3.8.1.1. Cemento

Para el desarrollo de la presente investigación se seleccionó y utilizó el cemento Andino tipo I, puesto que es el cemento más utilizado a nivel de todo el valle.



Figura 5. Cemento Andino Portland Tipo I
Fuente: Elaboración propia

3.8.1.2. Agua para concreto

El agua que se utilizó para la elaboración de las mezclas de concreto y curado fue agua potable de la red pública suministrada por la EPS Sedam Huancayo.

3.8.1.3. Agregados para concreto

3.8.1.3.1. Extracción y preparación de las muestras

El proceso de extracción y preparación de las muestras fue un paso muy fundamental e importante para la determinación de las características físicas y propiedades de los materiales a utilizar, ya que tuvo los propósitos siguientes:

- Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento.
- Control de la fuente de abastecimiento.
- Aceptación o rechazo de los materiales.

La NTP 400.010 (2016) detalla las cantidades necesarias de material que deben de proveerse para un adecuado y correcto ensayo de calidad rutinarios que se deben realizar a los materiales. La Tabla N° 19, indica la medida de las muestras que se consideraron para la extracción de los materiales que se utilizaron.

Tabla 19.*Masa mínima de las muestras a extraer.*

Tamaño del agregado	Masa de la muestra de campo, mín. (kg)
Agregado fino	
2.36 mm (N° 8)	10
4.75 mm (N° 4)	10
Agregado grueso	
9.5 mm (3/8")	10
12.5 mm (1/2")	15
19.0 mm (3/4")	25
25.0 mm (1")	50
37.5 mm (1 1/2")	75
50.0 mm (2")	100
63.0 mm (2 1/2")	125
75.0 mm (3")	150
90.0 mm (3 1/2")	175

Fuente: Adaptado de la NTP 400.010 (2016).

3.8.1.3.2. Reducción de las muestras a tamaños de ensayo

Después de la extracción y preparación de las muestras de acuerdo a la NTP 400.010 (2016), se procedió con la reducción de las mismas a un tamaño apropiado para que puedan realizarse los ensayos necesarios para la obtención de las características de los agregados, de tal forma que las muestras reducidas sean representativas de las muestras mayores. La reducción de las muestras a tamaños de ensayo se realizó de acuerdo a la NTP 400.043 (2015).

La Figura N° 6, muestra la reducción de los materiales a tamaños de ensayo.



Figura 6. Reducción de muestras para tamaños de ensayo.
Fuente: Elaboración propia

3.8.1.3.3. Agregado fino

El agregado fino que se utilizó en la presente investigación fue adquirido en la chancadora AGREMIX EIRL, procedente de la cantera de Pilcomayo, a riberas del río Mantaro, del distrito de Pilcomayo, provincia de Huancayo de la Región Junín.



Figura 7. Agregado fino seleccionado.
Fuente: Elaboración propia

3.8.1.3.4. Agregado grueso

El agregado grueso que se utilizó para la presente investigación fue adquirido de la chancadora AGREMIX EIRL, cuyo material fue la piedra triturada o chancada en forma angulosa proveniente de la cantera de Pilcomayo, ubicado en el distrito de Pilcomayo, provincia de Huancayo de la Región Junín.



Figura 8. Agregado grueso seleccionado.
Fuente: Elaboración propia

3.8.1.3.5. Polipropileno reciclado

El polipropileno reciclado fue suministrado por la empresa ECO SOLUTIONS PERÚ S.A.C., esta empresa está ubicada en el distrito de Chorrillos, Lima – Perú.

Esta empresa está dedicada al reciclaje de todo tipo de plásticos para su procesamiento y su posterior reuso.

En la Figura N° 9, se muestran fotografías de la molienda del plástico reciclado de polipropileno, conjuntamente con el material ya molido, separado y listo para ser vendido.



Figura 9. Polipropileno reciclado.
Fuente: Elaboración propia

3.8.2. Caracterización de las propiedades de los materiales

3.8.2.1. Cemento portland

Como ya se mencionó anteriormente, el cemento utilizado para la elaboración de las mezclas de concreto fue el cemento Andino Tipo I, la Tabla N° 20 muestra las características físicas y químicas del cemento ya mencionado.

Tabla 20.

Propiedades físicas y químicas del cemento Andino tipo I.

Parámetro	Unidad	Cemento Andino Premium	Requisitos (NTP-334.009 / ASTM C- 150)
Contenido de aire	%	5.08	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.01	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	361	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.15	No especifica
Resistencia a la compresión			
A 3 días	kg/cm ²	274	Mínimo 122
A 7 días	kg/cm ²	340	Mínimo 194
A 28 días	kg/cm ²	440	Mínimo 285 (Requisito opcional)

Tiempo de fraguado				
Fraguado Vicat inicial	min	116		Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	285		Máximo 375
Composición química				
MgO	%	1.93		Máximo 6.0
C ₃ S	%	2.68		Máximo 3.0
Pérdida al fuego	%	1.49		Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.69		Máximo 1.5
Fases Mineralógicas				
C ₂ S	%	15.53		No especifica
C ₃ S	%	57.35		No especifica
C ₃ A	%	7.5		No especifica
C ₄ AF	%	10.61		No especifica
Álcalis Equivalentes				
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.47		Requisito opcional, máximo 0.60
Resistencia a los sulfatos				
Resistencia al ataque de sulfatos	%	0.083		0.10% máx. a 180 días

Fuente: Adaptado de la Ficha técnica del cemento Andino Premium.

3.8.2.2. Agua para concreto

Como se mencionó anteriormente el agua utilizada para la elaboración de las mezclas de concreto y curado de los especímenes, fue obtenida de la red pública suministrada por la EPS Sedam Huancayo.

Sobre la utilización del agua potable para la elaboración de las mezclas y curado de los especímenes de concreto la NTP 339.088 (2014) indica: “Se permitirá el uso de agua potable como agua de mezcla en el concreto sin ensayarla para evaluar su conformidad con los requisitos de esta NTP” (p.5).

3.8.2.3. Agregados para el concreto

3.8.2.3.1. Agregado fino

A. Análisis granulométrico (NTP 400.012)

El objetivo que tuvo la realización de este ensayo fue el de determinar la distribución numérica de las partículas del agregado fino, cuyo procedimiento consistió en tamizar el material por una serie de tamices estandarizados, para luego pesar el material retenido de cada tamiz y poder expresarlo en porcentaje con respecto al peso total.

Este ensayo se ejecutó teniéndose en cuenta la cantidad mínima de muestra a emplearse que la NTP 400.012 (2013) indica, siendo la masa mínima para este ensayo de 300 g.

El análisis granulométrico que se realizó al agregado fino se detalla en la Tabla N° 21 y la curva granulométrica se muestra en el Gráfico N° 1.



Figura 10. Análisis granulométrico del agregado fino.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21.

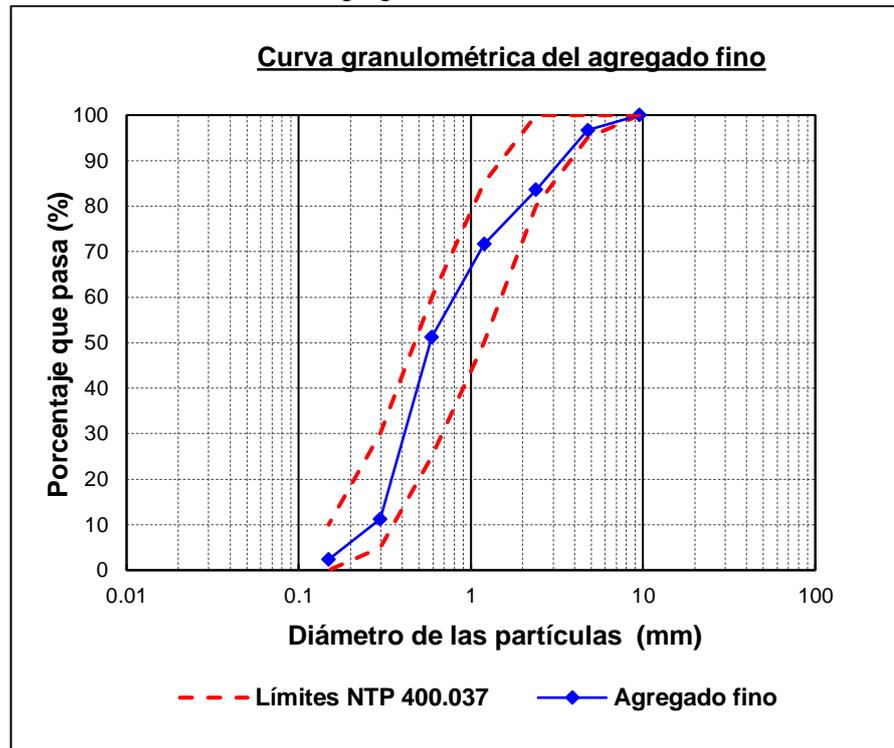
Granulometría del agregado fino.

Malla N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	62.95	3.30	3.30	96.70
N° 8	2.380	249.90	13.12	16.42	83.58
N° 16	1.190	228.10	11.98	28.40	71.60
N° 30	0.590	388.95	20.42	48.82	51.18
N° 50	0.297	761.35	39.97	88.79	11.21
N° 100	0.149	168.80	8.86	97.65	2.35
Fondo	0.000	44.70	2.35	100.00	0.00
Peso total		1,904.750	100.00	MF	2.834

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1.

Curva Granulométrica del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

B. Módulo de finura (NTP 400.012)

La NTP 400.012 (2013) refiere sobre el cálculo para hallar el módulo de finura sumando los porcentajes de los retenidos acumulados de los tamices siguientes: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4" y 1 1/2" y dividir la suma entre 100.

La Tabla N° 22, muestra el módulo de finura del agregado fino.

Tabla 22.

Módulo de finura del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO
Módulo de finura	2.834

Fuente: Elaboración propia.

C. Peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022)

El objetivo que tuvo este ensayo fue el de calcular el peso específico o densidad relativa del agregado fino.

Este ensayo se ejecutó teniéndose en cuenta la cantidad mínima de muestra a emplearse que la NTP 400.022 (2013) indica, siendo la masa mínima de 500 g de agregado fino, asimismo, la misma cantidad de masa se usó para calcular la absorción del agregado fino.

La Figura N° 11, muestra la ejecución del respectivo ensayo.



Figura 11. Peso específico y absorción del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N° 23, muestra los valores calculados del peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado fino.

Tabla 23.

Peso específico y absorción del agregado fino.

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (NTP 400.022)				
Descripción	Muestras			Promedio
	M-1	M-2	M-3	
Peso específico de masa (Pem)	2.53	2.54	2.53	2.53
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.58	2.59	2.59	2.58
Peso específico aparente (Pea)	2.67	2.68	2.68	2.67
Absorción	2.12	2.12	2.10	2.12

Fuente: Elaboración propia.

D. Peso unitario del agregado fino (NTP 400.017)

El fin que tuvo este ensayo fue el de determinar el peso unitario o densidad de masa del agregado fino.

La Tabla N° 24 muestra los valores obtenidos de este ensayo.

Tabla 24.

Peso unitario del agregado fino.

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.017)		
Muestras	Peso unitario suelto (kg/m³)	Peso unitario compactado (kg/m³)
M-1	1549.46	1705.33
M-2	1551.00	1702.25
M-3	1558.72	1706.88
Promedio	1553.06	1704.82

Fuente: Elaboración propia.

E. Contenido de Humedad (NTP 339.185)

El objetivo que tuvo este ensayo fue el de determinar el porcentaje total de humedad evaporable presente en una muestra representativa del agregado fino. Los valores que arrojaron los cálculos se expresaron en porcentajes.

Este ensayo se ejecutó teniéndose en cuenta la cantidad mínima de muestra a emplearse que la NTP 339.185 (2013) indica, siendo la masa mínima de 500 gramos para un tamaño máximo nominal de 4.75 mm (N° 4).

La Tabla N° 25 presenta los valores obtenidos.

Tabla 25.

Contenido de humedad del agregado fino.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (NTP 339.185)	
Muestras	Contenido de humedad (%)
M-1	1.23
M-2	1.17
M-3	1.11
Promedio	1.17

Fuente: Elaboración propia.

F. Material más fino que el tamiz normalizado N° 200 en el agregado fino (NTP 400.018)

Este ensayo consistió en calcular por vía húmeda la cantidad de material más fino que pasa por el tamiz N° 200, con el fin de determinar la aceptabilidad del agregado fino.

Este ensayo se ejecutó teniéndose en cuenta la cantidad mínima de muestra a emplearse que la NTP 400.018 (2013) indica, siendo 300 g la masa mínima para un tamaño máximo nominal de 4.75 mm (N° 4).

La Tabla N° 26, muestra los valores obtenidos para este ensayo.

Tabla 26.

Material más fino que la malla N° 200.

MATERIALES MAS FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200 (NTP 400.018)	
Muestras	Porcentaje que pasa la malla N° 200 (%)
M-1	4.96
M-2	5.20
M-3	4.72
Promedio	4.96

Fuente: Elaboración propia.

G. Impurezas orgánicas del agregado fino (NTP 400.024)

La ejecución de este ensayo de calidad consistió en determinar la presencia nociva de materia orgánica en el agregado fino según lo especificado en la NTP 400.024. En la Figura N° 12 se puede observar el color que toma la muestra en reacción al colorímetro, comparándose este valor con el estándar de Gardner se deduce que el agregado fino no presenta impurezas orgánicas.

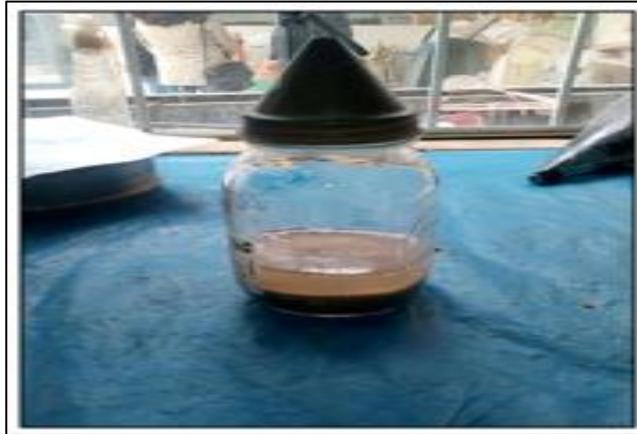


Figura 12. Impurezas orgánicas en el agregado fino.
Fuente: Elaboración propia.

3.8.2.3.2. Agregado grueso

A. Análisis granulométrico (NTP 400.012)

El objetivo que tuvo la realización de este ensayo fue el de determinar la distribución numérica de las partículas del agregado grueso.

Este ensayo se ejecutó teniéndose en cuenta la cantidad mínima de muestra a emplearse que la NTP 400.012 (2013) indica, siendo 3.0 kg de masa mínima para un tamaño máximo nominal de 3/4".

En la Figura N° 13, se muestra el ensayo granulométrico del agregado grueso.



Figura 13. Análisis granulométrico del agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis granulométrico que se realizó al agregado grueso se detalla en la Tabla N° 27 y la curva granulométrica se muestra en el Gráfico N° 2.

Tabla 27.

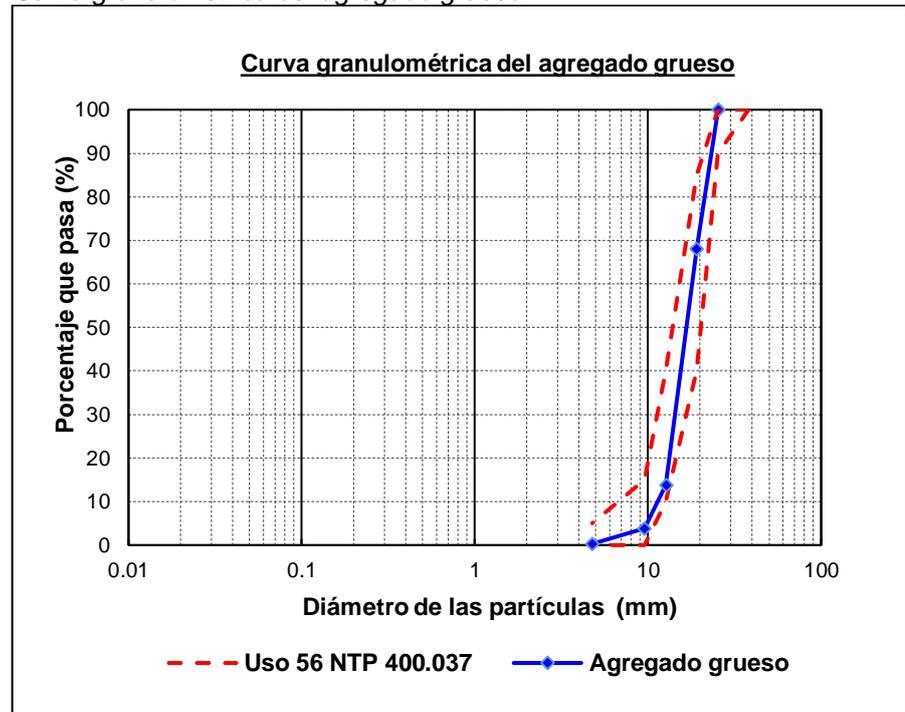
Granulometría del agregado grueso.

Malla N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	1,347.33	32.02	32.02	67.98
1/2"	12.700	2,281.83	54.23	86.26	13.74
3/8"	9.525	417.70	9.93	96.19	3.81
N° 4	4.760	148.20	3.52	99.71	0.29
N° 8	2.380	0.00	0.00	99.71	0.29
N° 16	1.190	0.00	0.00	99.71	0.29
N° 30	0.590	0.00	0.00	99.71	0.29
N° 50	0.297	0.00	0.00	99.71	0.29
N° 100	0.149	0.00	0.00	99.71	0.29
Fondo	0.000	12.30	0.29	100.00	0.00
Peso total		4,207.37	100.00	MF	7.265

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2.

Curva granulométrica del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

B. Módulo de finura (NTP 400.012)

La NTP 400.012 (2013) refiere sobre el cálculo para hallar el módulo de fineza sumando los porcentajes de los retenidos acumulados de los tamices siguientes: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/4", 3/8" y 1 1/2" y dividir la suma entre 100.

La Tabla N° 28, muestra el módulo de finura del agregado grueso.

Tabla 28.

Módulo de finura del agregado grueso.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO GRUESO
-------------	-----------------

Módulo de finura	7.265
------------------	-------

Fuente: Elaboración propia.

C. Tamaño máximo nominal (NTP 400.037)

El tamaño máximo nominal es aquel que corresponde a aquel tamiz normalizado que produce el primer retenido en el ensayo del análisis granulométrico.

La Tabla N° 29, muestra el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 29.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	AGREGADO GRUESO
-------------	-----------------

TMN	3/4"
-----	------

Fuente: Elaboración propia.

D. Peso específico y absorción (NTP 400.021)

El objetivo que tuvo este ensayo fue el de calcular el peso específico o densidad relativa del agregado grueso, así como su porcentaje de absorción.

Este ensayo se ejecutó teniéndose en cuenta la cantidad mínima de muestra a emplearse que la NTP 400.021 (2013)

indica, siendo 3.0 kg de masa mínima para un tamaño máximo nominal de 3/4".

La Figura N° 14, muestra la ejecución del respectivo ensayo. Asimismo, la Tabla N° 30, muestra los valores calculados del peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso.



Figura 14. Peso específico y absorción del agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30.

Peso específico y absorción del agregado grueso

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.021)				
Descripción	Muestra			Promedio
	M-1	M-2	M-3	
Peso específico de masa (Pem)	2.61	2.61	2.61	2.62
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.65	2.65	2.64	2.65
Peso específico aparente (Pea)	2.70	2.70	2.69	2.70
Absorción	1.17	1.09	1.13	1.13

Fuente: Elaboración propia.

E. Peso unitario del agregado grueso (NTP 400.017)

El objetivo de este ensayo fue el de determinar la densidad de masa del agregado grueso, cuyos valores expresan el volumen ocupado por las partículas individuales del agregado y el volumen de vacíos entre las mismas.

La Figura N° 15, muestra la ejecución de este ensayo, asimismo los valores obtenidos se muestran en la Tabla N° 31.



Figura 15. Peso unitario del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31.

Peso unitario del agregado grueso

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.017)		
Muestras	Peso unitario suelto (kg/m³)	Peso unitario compactado (kg/m³)
M-1	1446.38	1554.53
M-2	1452.15	1552.43
M-3	1448.48	1551.38
Promedio	1449.00	1552.78

Fuente: Elaboración propia.

F. Contenido de humedad del agregado grueso (NTP 339.185)

La determinación del porcentaje total de la humedad evaporable presente en una muestra representativa de agregado grueso se pudo calcular mediante este ensayo.

Este ensayo se ejecutó teniendo en cuenta la cantidad mínima de muestra a emplearse que la NTP 339.185 (2013)

indica, siendo 3.0 kg de masa mínima para un tamaño máximo nominal de 3/4".

En la Tabla N° 32 se presenta los valores obtenidos tras la ejecución de este ensayo.

Tabla 32.

Contenido de humedad del agregado grueso.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (NTP 339.185)	
Muestras	Contenido de humedad (%)
M-1	0.29
M-2	0.32
M-3	0.36
Promedio	0.32

Fuente: Elaboración propia.

G. Material más fino que el tamiz normalizado N° 200 (NTP 400.018)

El objetivo que tuvo este ensayo fue el de calcular por vía húmeda la cantidad de material más fino que pasa por el tamiz N° 200.

Este ensayo se ejecutó teniéndose en cuenta la cantidad mínima de muestra a emplearse que la NTP 400.018 (2013) indica, siendo 3.0 kg de masa mínima para un tamaño máximo nominal de 3/4".

La Tabla N° 33, muestra los valores obtenidos para este ensayo.

Tabla 33.

Material más fino que la malla N° 200 para el agregado grueso.

MATERIALES MAS FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200 (NTP 400.018)	
Muestras	Porcentaje que pasa la malla N° 200 (%)
M-1	0.14
M-2	0.22
M-3	0.18
Promedio	0.18

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2.3.3. Polipropileno reciclado

A. Análisis granulométrico (NTP 400.012)

El análisis granulométrico se realizó al polipropileno reciclado con el fin de determinar la gradación numérica de sus partículas a través de los tamices estandarizados.

La Figura N° 16, muestra el desarrollo del proceso de este ensayo, asimismo la Tabla N° 34 muestra los valores obtenidos mediante este ensayo y la curva granulométrica está representada por el Grafico N° 3.



Figura 16. Análisis granulométrico del Polipropileno reciclado.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34.

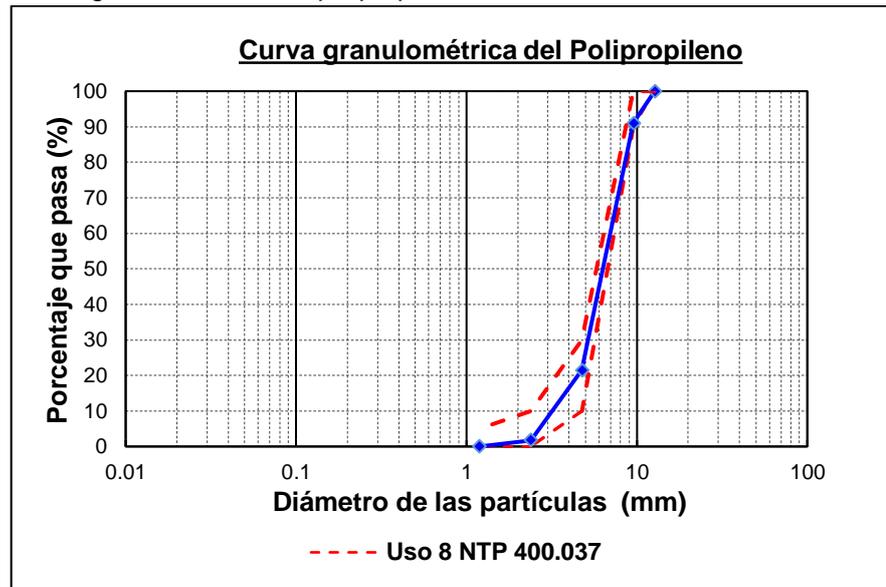
Granulometría del polipropileno reciclado.

Malla N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	86.40	9.00	9.00	91.00
N° 4	4.760	668.10	69.59	78.59	21.41
N° 8	2.380	188.90	19.68	98.26	1.74
N° 16	1.190	16.60	1.73	99.99	0.01
N° 30	0.590	0.00	0.00	99.99	0.01
N° 50	0.297	0.00	0.00	99.99	0.01
N° 100	0.149	0.00	0.00	99.99	0.01
Fondo	0.000	0.10	0.01	100.00	0.00
Peso total		960.10	100.00	MF	5.858

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.

Curva granulométrica del polipropileno reciclado



Fuente: Elaboración propia.

B. Tamaño máximo nominal (NTP 400.037)

El valor del tamaño máximo nominal del polipropileno reciclado se muestra en la Tabla N° 35.

Tabla 35.

Tamaño máximo nominal del polipropileno reciclado.

DESCRIPCIÓN	POLIPROPILENO RECICLADO
Tamaño Máx. Nominal	3/8"

Fuente: Elaboración propia.

C. Peso unitario del polipropileno reciclado (NTP 400.017)

Con la realización de este ensayo se buscó determinar el peso unitario o densidad de masa suelta y compactada del polipropileno reciclado.

El desarrollo del ensayo se muestra en la Figura N° 17, asimismo los valores obtenidos se muestran en la Tabla N° 36.



Figura 17. Peso unitario del polipropileno reciclado.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36.

Peso unitario del polipropileno reciclado.

PESO UNITARIO DEL POLIPROPILENO RECICLADO (NTP 400.017)		
Muestras	Peso unitario suelto (kg/m³)	Peso unitario compactado (kg/m³)
M-1	459.90	391.13
M-2	458.85	401.10
M-3	455.70	387.45
Promedio	458.15	393.23

Fuente: Elaboración propia.

D. Datos técnicos del polipropileno reciclado

Las características del polipropileno reciclado se muestran en la Tabla N° 1 del capítulo II.

3.8.3. Diseño de mezclas

El diseño de mezclas se realizó de acuerdo al método del módulo de fineza, puesto que como se describe en el Capítulo II, es el método que más se adapta a la realidad peruana.

Se elaboraron 4 diseños de mezcla, uno es el que contempla a la muestra patrón (grupo control) y los otros 3 para aquellas mezclas con incorporación del polipropileno reciclado (grupo experimental), cuyas dosificaciones en peso de este material se sustituyó en los porcentajes del 10%, 20% y 30% con respecto al peso del agregado grueso.

3.8.3.1. Características de los materiales

A. Cemento

Tabla 37.
Características del cemento.

Insumo	Unidad	Descripción
Cemento		
Marca y tipo	-	Andino Tipo I
Procedencia	-	Cementos Andino
Densidad	g/cm ³	3.15

Fuente: Elaboración propia.

B. Agua

Tabla 38.
Características del agua para la mezcla.

Insumo	Unidad	Descripción
Agua		
Procedencia	-	Agua potable
Peso específico (kg/m ³)	kg/cm ³	1000

Fuente: Elaboración propia.

C. Agregados

Tabla 39.
Características de los agregados.

Insumo	Unidad	Descripción		
		<i>Fino</i>	<i>Grueso</i>	<i>Polipropileno reciclado</i>
Agregados				
Cantera	-	Pilcomayo	Pilcomayo	-
Peso unitario suelto (kg/m ³)	kg/m ³	1553.06	1449.00	458.15
Peso unitario compactado (kg/m ³)	kg/m ³	1704.82	1552.78	393.23
Peso específico de masa	g/cm ³	2.53	2.62	0.96
Módulo de fineza	-	2.834	7.265	-
TMN	Pulgadas	-	3/4"	-
Absorción	%	2.12	1.13	-
Contenido de humedad	%	1.23	0.32	-

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3.2. Diseño para la mezcla patrón

Tabla 40.

Diseño de la mezcla patrón.

Materiales	Peso seco (kg)	Peso específico (g/cm³)	Volumen absoluto (m³)	Peso en obra (kg/m³)	Peso Unitario en obra	Peso Unitario en obra x 42.5 (kg)	Volumen en obra (pie³)	Tanda (kg)
Cemento	318.47	3.15	0.101	318.47	1	42.5	1	6.688
Agua	200.00	1.00	0.200	215.34	0.68	28.74	28.74	4.522
Arena	848.90	2.62	0.336	858.84	2.70	114.61	2.57	18.036
Piedra	899.50	2.53	0.343	902.42	2.83	120.43	2.92	18.951
Aire	2.00%	-	0.020					

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3.3. Diseño para la mezcla con 10% de Polipropileno reciclado

Tabla 41.

Diseño de la mezcla con 10% de PP reciclado.

Materiales	Peso seco (kg)	Peso específico (g/cm³)	Volumen absoluto (m³)	Peso en obra (kg/m³)	Peso en obra + 10%PP (kg/m³)	Peso Unitario en obra	Peso Unitario en obra x 42.5 (kg)	Volumen en obra (pie³)	Tanda (kg)
Cemento	318.47	3.15	0.101	318.47	318.47	1	42.5	1	6.688
Agua	200.00	1.00	0.200	215.34	215.34	0.68	28.74	28.74	4.522
Arena	848.90	2.62	0.336	858.84	858.84	2.70	114.61	2.57	18.036
Piedra	899.50	2.53	0.343	902.42	812.18	2.55	108.38	2.63	17.056
Aire	2.00%	-	0.020						
Polipropileno reciclado (PP)	-	0.96	-	-	90.24	0.28	12.04	0.93	1.895

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3.4. Diseño para la mezcla con 20% Polipropileno reciclado

Tabla 42.

Diseño de la mezcla con 20% de PP reciclado.

Materiales	Peso seco (kg)	Peso específico (g/cm³)	Volumen absoluto (m³)	Peso en obra (kg/m³)	Peso en obra + 10%PP (kg/m³)	Peso Unitario en obra	Peso Unitario en obra x 42.5 (kg)	Volumen en obra (pie³)	Tanda (kg)
Cemento	318.47	3.15	0.101	318.47	318.47	1	42.5	1	6.688
Agua	200.00	1.00	0.200	215.34	215.34	0.68	28.74	28.74	4.522
Arena	848.90	2.62	0.336	858.84	858.84	2.70	114.61	2.57	18.036
Piedra	899.50	2.53	0.343	902.42	721.93	2.27	96.34	2.34	15.161
Aire	2.00%	-	0.020						
Polipropileno reciclado (PP)	-	0.96	-	-	180.48	0.57	24.09	1.86	3.790

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3.5. Diseño para la mezcla con 30% Polipropileno reciclado

Tabla 43.

Diseño de la mezcla con 30% de PP reciclado.

Materiales	Peso seco (kg)	Peso específico (g/cm ³)	Volumen absoluto (m ³)	Peso en obra (kg/m ³)	Peso en obra + 10%PP (kg/m ³)	Peso Unitario en obra	Peso Unitario en obra x 42.5 (kg)	Volumen en obra (pie ³)	Tanda (kg)
Cemento	318.47	3.15	0.101	318.47	318.47	1	42.5	1	6.688
Agua	200.00	1.00	0.200	215.34	215.34	0.68	28.74	28.74	4.522
Arena	848.90	2.62	0.336	858.84	858.84	2.70	114.61	2.57	18.036
Piedra	899.50	2.53	0.343	902.42	631.69	1.98	84.30	2.05	13.266
Aire	2.00%	-	0.020						
Polipropileno reciclado (PP)	-	0.96	-	-	270.73	0.85	36.13	2.79	5.685

Fuente: Elaboración propia.

3.8.4. Ensayos de calidad al concreto en estado fresco

A. Muestreo del concreto en estado fresco (NTP 339.036)

El muestreo del concreto fresco tuvo la finalidad de obtener muestras representativas para la ejecución de los ensayos que permitieron determinar el cumplimiento de los requisitos de calidad con los cuales fue diseñado.

La NTP 339.036, indica el procedimiento para la obtención de estas muestras representativas del concreto en estado fresco, debiéndose obtener las mismas en los tiempos más cortos posibles, no excediendo en ningún caso los 15 minutos.

B. Asentamiento del concreto (NTP 339.035)

El objetivo de la realización de este ensayo de calidad al concreto en estado fresco fue el de determinar el asentamiento del concreto plástico con el fin de monitorear la consistencia del concreto no endurecido.

Se realizó el ensayo según la NTP 339.035 para los concretos con 0%, 10%, 20% y 30% de polipropileno reciclado, en base al diseño de mezclas obtenido. Se presentan los valores obtenidos en la Tabla N° 44.



Figura 18. Asentamiento del concreto
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44.
Asentamiento del concreto fresco.

MUESTRA		ASENTAMIENT O (pulg)	PROM. ASENTAMIENT O (pulg)	ASENTAMIENT O (mm)	PROM. ASENTAMIENT O (mm)
Tipo	N. °				
Patrón	1	3		76.50	
	2	3 1/2	3	83.00	80.33
	3	3		81.50	
10%P P	1	2 1/2		68.00	
	2	2 1/2	2 1/2	65.00	67.67
	3	3		70.00	
20%P P	1	1 1/2		39.00	
	2	1	1 1/2	31.00	34.50
	3	1 1/2		33.50	
30%P P	1	1/2		15.00	
	2	1/2	1/2	10.00	12.33
	3	1/2		12.00	

Fuente: Elaboración propia.

C. Temperatura de las mezclas de concreto (NTP 339.184)

El objetivo que tuvo la ejecución de este ensayo según la NTP 339.184, fue el de medir la temperatura del concreto en estado fresco, cuyos datos pueden ser usados para comprobar los requerimientos de temperatura especificados.

La Tabla N° 45, muestra los datos obtenidos a través de este ensayo.

Tabla 45.*Temperatura del concreto fresco.*

Muestra		Hora	Temperatura del concreto fresco (°C)	Temperatura promedio del concreto fresco (°C)
Tipo	N°			
Patrón	1	10:03:00	20.0	19.8
	2	10:13:00	19.5	
10%PP	1	07:44:00	17.0	16.5
	2	07:54:00	16.0	
20%PP	1	07:30:00	18.0	17.5
	2	07:40:00	17.0	
30%PP	1	09:45:00	16.0	16.0
	2	09:50:00	16.0	

Fuente: Elaboración propia.**D. Exudación del concreto (NTP 339.077)**

El objetivo de este ensayo sobre la calidad del concreto en estado fresco fue el de calcular la cantidad de agua de mezclado que puede ser exudada con el fin de determinar los efectos de las variables de la composición, tratamiento, intemperismo u otros factores en la exudación del concreto. En la Tabla N° 46 se pueden apreciar los valores obtenidos tras la ejecución de este ensayo.

Tabla 46.*Exudación del concreto fresco.*

MUESTRA		Exudación (ml/cm ²)	Exudación promedio (ml/cm ²)
Tipo	N°		
Patrón	1	0.0472	0.0471
	2	0.0469	
10%PP	1	0.0469	0.0467
	2	0.0466	
20%PP	1	0.0555	0.0552
	2	0.0549	
30%PP	1	0.0834	0.0829
	2	0.0825	

Fuente: Elaboración propia.**Figura 19.** Exudación del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

E. Peso unitario del concreto (NTP 339.046)

El objetivo que tuvo la realización de este ensayo según la NTP 339.035 fue el de determinar la masa por unidad de volumen (densidad) del concreto en estado fresco.

La Tabla N° 47 muestra los valores obtenidos después de la ejecución de este ensayo.

Tabla 47.

Peso unitario del concreto fresco.

MUESTRA		PESO UNITARIO (kg/m ³)	PROMEDIO PESO UNITARIO (kg/m ³)
Tipo	N°		
Patrón	1	2,344	2,346
	2	2,347	
10%PP	1	2,180	2,178
	2	2,175	
20%PP	1	2,044	2,051
	2	2,058	
30%PP	1	1,893	1,886
	2	1,879	

Fuente: Elaboración propia.

F. Tiempo de fragua (NTP 339.082)

El objetivo de la ejecución de este ensayo fue el de determinar el tiempo inicial y final en el que el concreto empieza a perder plasticidad para dar paso al endurecimiento, cuyo procedimiento se basa en medir la resistencia a la penetración producida en intervalos de tiempo regulares sobre el concreto tamizado según la NTP 339.082.



Figura 20. Tiempo de fragua.

Fuente: Elaboración propia.

a) Mezcla patrón

Los datos obtenidos después de la ejecución de este ensayo según la NTP 339.082 se muestran en la Tabla N° 48.

Tabla 48.

Tiempo de fragua del concreto fresco – Mezcla patrón.

Mezcla	Muestra	Tiempo de Fragua Inicial	Tiempo Promedio de Fragua Inicial	Tiempo de Fragua Final	Tiempo Promedio de Fragua Final
Patrón	1	04 h 37 min	04 h 37 min	06 h 41 min	06 h 39 min
	2	04 h 37 min		06 h 38 min	

Fuente: Elaboración propia.

b) Mezcla patrón más 10% de polipropileno reciclado

Los datos obtenidos después de la ejecución del ensayo de tiempo de fragua según la NTP 339.082 se muestran en la Tabla N° 49.

Tabla 49.

Tiempo de fragua del concreto fresco – Mezcla 10%PP.

Mezcla	Muestra	Tiempo de Fragua Inicial	Tiempo Promedio de Fragua Inicial	Tiempo de Fragua Final	Tiempo Promedio de Fragua Final
10%PP	1	05 h 08 min	05 h 07 min	07 h 02 min	07 h 00 min
	2	05 h 07min		06 h 59 min	

Fuente: Elaboración propia.

c) Mezcla patrón más 20% de polipropileno reciclado

Para la mezcla patrón más el 20% de polipropileno reciclado se ejecutó el ensayo de tiempo de fragua según la NTP 339.082 obteniéndose los valores que se muestran en la Tabla N° 50.

Tabla 50.

Tiempo de fragua del concreto fresco – Mezcla 20%PP.

Mezcla	Muestra	Tiempo de Fragua Inicial	Tiempo Promedio de Fragua Inicial	Tiempo de Fragua Final	Tiempo Promedio de Fragua Final
20%PP	1	05 h 08 min	05 h 06 min	07 h 18 min	07 h 17 min
	2	05 h 04 min		07 h 17 min	

Fuente: Elaboración propia.

d) Mezcla patrón más 30% de polipropileno reciclado

Para la mezcla patrón más el 30% de polipropileno reciclado se ejecutó el ensayo de tiempo de fragua según la NTP 339.082 obteniéndose los valores que se muestran en la Tabla N° 51.

Tabla 51.

Tiempo de fragua del concreto fresco – Mezcla 30%PP.

Mezcla	Muestra	Tiempo de Fragua Inicial	Tiempo Promedio de Fragua Inicial	Tiempo de Fragua Final	Tiempo Promedio de Fragua Final
30%PP	1	03 h 20 min	03 h 22 min	05 h 33 min	05 h 35 min
	2	03 h 24 min		05 h 38 min	

Fuente: Elaboración propia.

G. Elaboración y curado de especímenes de concreto (NTP 339.183)

a) Elaboración de especímenes de concreto

Para la elaboración de los especímenes de concreto en el laboratorio se contempló el procedimiento que establece la NTP 339.183. Se elaboraron especímenes para el concreto de la mezcla patrón, como también para las mezclas con incorporación del polipropileno reciclado como agregado grueso en los porcentajes del 10%, 20% y 30%, elaborándose así en total un promedio de 72 probetas de 4" x 8" para los ensayos de resistencia a la compresión axial y 8 probetas de 6" x 12" para los ensayos de la tracción simple por compresión diametral. Para lo cual se utilizaron los siguientes moldes cilíndricos estándar respectivos:

- Moldes cilíndricos de plástico de 4" x 8" (Resistencia a la compresión), total 72 moldes.
- Moldes metálicos de 6" x 12" (Resistencia a la tracción simple por compresión diametral), total 8 moldes.



Figura 21. Especímenes de concreto
Fuente: Elaboración propia.

b) Curado de especímenes de concreto

La NTP 339.183 establece las recomendaciones y procedimientos necesarios que se deben tener en cuenta para el curado de los especímenes de concreto en el laboratorio, tales como el almacenamiento inicial, desmoldado y el ambiente de curado.



Figura 22. Curado de especímenes de concreto.
Fuente: Elaboración propia.

3.8.5. Ensayos de calidad al concreto en estado endurecido

A. Refrentado de testigos cilíndricos de concreto (NTP 339.037)

Los testigos elaborados para los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción simple por compresión diametral fueron refrentados de acuerdo a la NTP 339.037, que establece el procedimiento, los aparatos y materiales necesarios para poder proporcionar superficies de carga planas en los testigos de concreto que fueron elaborados para la presente investigación.

El refrentado de los testigos elaborados se hicieron con morteros de azufre, en la Figura N° 23 se puede apreciar el procedimiento de esta práctica normalizada en la norma ya antes mencionada.



Figura 23. Refrentado de los testigos de concreto
Fuente: Elaboración propia.

B. Resistencia a la compresión axial (NTP 339.034)

El objetivo de este ensayo, cuyo procedimiento se establece en la NTP 339.034, fue el de determinar la resistencia a la compresión axial a las edades de 7, 14 y 28 días de la mezcla patrón, como también para las mezclas con reemplazo del agregado grueso en los porcentajes del 10%, 20% y 30% respectivamente.

Para poder calcular la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto se utilizó la siguiente formula:

$$f'c = \frac{4xP}{\pi x D^2} \quad (3.1)$$

Dónde:

f'c: Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²).

P: Carga de rotura (kN).

D: Diámetro de la probeta cilíndrica.

El ACI 318S-08 (2008) refiere que para cada mezcla de prueba deberán de elaborarse dos probetas de 150 por 300 mm o tres probetas de 100 por 200 mm. Ante esto la NTP 339.034 establece un coeficiente máximo de variación para el resultado de los promedios de las resistencias calculadas, el coeficiente de variación se calcula a partir de la desviación estándar.

La desviación estándar se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(f'c - f'cp)^2}{N-1}} \quad (3.2)$$

Dónde:

σ : Desviación estándar (kg/cm²).

$f'c$: Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²).

$f'cp$: Resistencia a la compresión promedio del concreto (kg/cm²).

N : Número de datos.

El coeficiente de variación se calcula con la siguiente formula:

$$CV (\%) = \frac{\sigma}{f'cp} * 100\% \quad (3.3)$$

Dónde:

$CV (\%)$: Coeficiente de variación.

σ : Desviación estándar (kg/cm²).

$f'cp$: Resistencia a la compresión promedio del concreto (kg/cm²).



Figura 24. Ensayo de resistencia a la compresión axial

Fuente: Elaboración propia.

a) Resistencia a la compresión axial a los 7 días

En la Tabla N° 52 se muestran los datos obtenidos del ensayo a la resistencia a la compresión axial para la edad de 7 días, asimismo en la Tabla N° 53 se muestra el coeficiente de variación calculado.

Tabla 52.

Resistencia a la compresión axial a los 7 días.

Mezcla	Descripción	N°	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (g)	Carga máx. (kN)	f'c (kg/cm ²)	f'c (kg/cm ²) "Xi"	f'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
PATRÓN (DISEÑO)	P7-P	1	10.10 10.12	10.11	20.35	3875	141.68	179.94				
	P11-P	2	10.05 10.08	10.06	20.58	3860	153.02	196.13	185.50			
	P14P	3	10.08 10.10	10.09	20.43	3885	141.40	180.44				
	P1-P	4	10.12 10.16	10.14	20.27	3765	120.37	151.94				
	P2-P	5	10.14 10.14	10.14	20.44	3850	133.50	168.58	169.94			
	P3-P	6	10.13 10.10	10.12	20.29	3835	149.24	189.30				
10% PP	P4-PP10%	1	10.05 10.06	10.05	20.35	3595	121.88	156.56				
	P9-PP10%	2	10.03 10.04	10.04	20.58	3575	109.18	140.63	152.51			
	P17-PP10%	3	10.28 10.29	10.29	20.20	3575	130.70	160.33				
	P4-PP10%	4	10.09 10.12	10.11	20.41	3583	110.73	140.70				
	P5-PP10%	5	10.04 10.13	10.08	20.32	3580	104.33	133.15	140.22			
	P6-PP10%	6	10.17 10.18	10.18	20.29	3571	117.12	146.81				
20% PP	P4-PP20%	1	10.13 10.14	10.14	20.27	3355	89.52	113.11				
	P9-PP20%	2	10.12 10.12	10.12	20.25	3330	89.32	113.17	113.48			
	P11-PP20%	3	10.25 10.28	10.26	20.18	3350	92.61	114.16				
	P7-PP20%	4	10.33 10.18	10.25	20.23	3335	80.13	98.92				
	P8-PP20%	5	10.16 10.32	10.24	20.26	3342	75.93	93.99	102.26			
	P9-PP20%	6	10.26 10.19	10.23	20.27	3339	91.72	113.85				
30% PP	P6-PP30%	1	10.10 10.14	10.12	20.22	3070	49.28	62.45				
	P7-PP30%	2	10.13 10.14	10.13	20.32	3080	61.93	78.30	74.50			
	P13-PP30%	3	10.16 10.16	10.16	20.25	3090	65.80	82.75				
	P10-PP30%	4	10.11 10.13	10.12	20.20	3072	52.27	66.20				
	P11-PP30%	5	10.21 10.23	10.22	20.23	3066	56.57	70.32	70.35			
	P12-PP30%	6	10.09 10.11	10.10	20.26	3075	58.60	74.53				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53.

Coefficiente de variación de la resistencia a la compresión axial a los 7 días.

Identificación de la muestra	Desviación estándar de la muestra (σ)	Coefficiente de variación de la muestra (CV)	Máximo coeficiente de variación (NTP 339.034)	Resultado
Patrón	11.00	6.19%	10.60%	OK
10%PP	8.69	5.94%	10.60%	OK
20%PP	7.94	7.36%	10.60%	OK
30%PP	2.93	4.05%	10.60%	OK

Fuente: Elaboración propia.

b) Resistencia a la compresión axial a los 14 días

En la Tabla N° 54 se muestran los datos obtenidos del ensayo a la resistencia a la compresión axial para la edad de 14 días, asimismo en la Tabla N° 55 se muestra el coeficiente de variación calculado.

Tabla 54.

Resistencia a la compresión axial a los 14 días.

Mezcla	Descripción	N°	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (g)	Carga máx. (kN)	f'c (kg/cm ²)	f'c (kg/cm ²) "Xi"	f'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
PATRÓN (DISEÑO)	P8-P	1	10.10 10.11	10.10	20.34	3310	156.51	198.97				
	P12-P	2	10.38 10.38	10.38	20.27	3765	208.92	251.81	225.64			
	P15-P	3	10.23 10.25	10.24	20.25	3538	182.72	226.12				
	P1-P	4	10.17 10.18	10.18	20.31	3860	208.72	261.61				
	P3-P	5	10.22 10.23	10.22	20.21	3845	189.17	234.88	236.00			
	P9-P	6	10.21 10.19	10.20	20.29	3835	169.62	211.52				
10% PP	P12-PP10%	1	10.15 10.19	10.17	20.37	3560	145.37	182.42				
	P14-PP10%	2	10.14 10.14	10.14	20.42	3570	128.50	162.17	175.65			
	P15-PP10%	3	10.13 10.13	10.13	20.38	3565	144.24	182.36				
	P6-PP10%	4	10.21 10.23	10.22	20.50	3605	156.65	194.81				
	P13-PP10%	5	10.26 10.30	10.28	20.28	3820	136.36	167.57	170.04			
	P19-PP10%	6	10.09 10.10	10.10	20.49	3580	116.07	147.74				
20% PP	P2-PP20%	1	10.13 10.14	10.13	20.26	3310	108.90	137.68				
	P3-PP20%	2	10.22 10.23	10.22	20.23	3316	110.61	137.37	137.42			
	P6-PP20%	3	10.10 10.11	10.11	20.44	3285	107.94	137.20				
	P5-PP20%	4	10.24 10.25	10.24	20.43	3305	100.91	124.81				
	P8-PP20%	5	10.20 10.14	10.17	20.22	3370	85.30	107.04	122.30			
	P10-PP20%	6	10.08 10.09	10.08	20.54	3355	105.76	135.04				
30% PP	P1-PP30%	1	10.15 10.09	10.12	20.26	2905	68.33	86.59				
	P3-PP30%	2	10.13 10.13	10.13	20.17	2970	61.93	78.30	82.55			
	P10-PP30%	3	10.16 10.16	10.16	20.33	3020	65.80	82.75				
	P5-PP30%	4	10.12 10.14	10.13	20.22	3060	71.40	90.34				
	P8-PP30%	5	10.22 10.23	10.22	20.21	3055	62.70	77.87	87.72			
	P11-PP30%	6	10.10 10.12	10.11	20.19	3030	74.73	94.95				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55.

Coefficiente de variación de la resistencia a la compresión axial a los 14 días.

Identificación de la muestra	Desviación Estándar de la muestra (σ)	Coefficiente de variación de la muestra (CV)	Máximo coeficiente de variación (NTP 339.034)	Resultado
Patrón	7.33	3.18%	10.60%	OK
Patrón + 10%PP	3.97	2.30%	10.60%	OK
Patrón + 20%PP	10.69	8.23%	10.60%	OK
Patrón + 30%PP	3.66	4.30%	10.60%	OK

Fuente: Elaboración propia.

c) Resistencia a la compresión axial a los 14 días

En la Tabla N° 56 se muestran los datos obtenidos del ensayo a la resistencia a la compresión axial para la edad de 28 días, asimismo en la Tabla N° 57 se muestra el coeficiente de variación calculado.

Tabla 56.

Resistencia a la compresión axial a los 28 días.

Mezcla	Descripción	N°	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (g)	Carga máx. (kN)	f _c (kg/cm ²)	f _c (kg/cm ²) "X _i "	f _{cp} (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
PATRÓN (DISEÑO)	P1-P	1	10.11 10.11	10.11	20.44	3835	235.45	299.04				
	P2-P	2	10.09 10.08	10.08	20.54	3830	201.75	257.53	270.28			
	P14-P	3	10.09 10.10	10.09	20.49	3890	199.58	254.26				
	P4-P	4	10.25 10.17	10.21	20.21	3844	218.60	272.41				
	P5-P	5	10.31 10.28	10.29	20.28	3831	191.02	234.08	251.28			
	P6-P	6	10.27 10.26	10.26	20.20	3840	200.67	247.34				
PATRÓN + 10% PP	P5-PP10%	1	10.21 10.30	10.26	20.21	3563	159.95	197.40				
	P3-PP10%	2	10.17 10.31	10.24	20.25	3868	146.32	181.09	181.83			
	P11-PP10%	3	10.10 10.21	10.16	20.36	3493	132.69	167.00				
	P01-PP10%	4	10.15 10.14	10.15	20.37	3537	153.51	193.57				
	P07-PP10%	5	10.19 10.15	10.17	20.30	3551	142.38	178.76	179.23			
	P18-PP10%	6	10.22 10.09	10.15	20.39	3539	131.36	165.36				
PATRÓN + 20% PP	P13-PP20%	1	10.12 10.32	10.22	20.35	3292	109.65	136.21				
	P15-PP20%	2	10.16 10.39	10.27	20.23	3308	108.87	133.88	135.58			
	P16-PP20%	3	10.18 10.30	10.24	20.44	3290	110.42	136.66				
	P01-PP20%	4	10.09 10.13	10.11	20.39	3306	120.73	153.31				
	P07-PP20%	5	10.04 10.13	10.09	20.23	3263	114.33	145.83	152.80			
	P12-PP20%	6	10.18 10.18	10.18	20.27	3364	127.12	159.25				
PATRÓN +	P2-PP30%	1	10.33 10.16	10.25	20.33	2948	75.13	92.88	100.10	99.49	0.86	0.87

P4-PP30%	2	10.16 10.33	10.24	20.17	3114	80.93	100.12	
P9-PP30%	3	10.29 10.19	10.24	20.26	3100	86.72	107.30	
P15-PP30%	4	10.22 10.11	10.17	20.21	3004	78.58	98.70	
P16-PP30%	5	10.25 10.06	10.15	20.19	2988	73.65	92.71	98.88
P17-PP30%	6	10.22 10.08	10.15	20.22	3085	83.51	105.22	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57.

Coefficiente de variación de la resistencia a la compresión axial a los 28 días.

Identificación de la muestra	Desviación Estándar de la muestra (σ)	Coefficiente de variación de la muestra (CV)	Máximo coeficiente de variación (NTP 339.034)	Resultado
Patrón	13.43	5.15%	10.60%	OK
Patrón + 10%PP	1.84	1.02%	10.60%	OK
Patrón + 20%PP	12.17	8.44%	10.60%	OK
Patrón + 30%PP	0.86	0.87%	10.60%	OK

Fuente: Elaboración propia.

C. Resistencia a la tracción simple por compresión diametral (NTP 339.084)

Para poder calcular la resistencia a la compresión diametral de los especímenes de concreto se utiliza la siguiente formula:

$$T = \frac{2xP}{\pi x L x D} \quad (3.4)$$

Dónde:

T: Resistencia a la tracción simple por compresión diametral (kg/cm²).

P: Carga de rotura (kN).

D: Diámetro de la probeta cilíndrica.

El ACI 318S-08 (2008) refiere que para cada mezcla de prueba deberán de elaborarse dos probetas de 150 por 300 mm o tres probetas de 100 por 200 mm. Ante esto la NTP 339.034 establece un coeficiente máximo de variación para el resultado de los promedios de las resistencias calculadas, el coeficiente de variación se calcula a partir de la desviación estándar.

La desviación estándar se calcula mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(T - T_p)^2}{N-1}} \quad (3.5)$$

Dónde:

σ : Desviación estándar (kg/cm²).

T: Resistencia a la tracción simple por compresión diametral (kg/cm²).

T_p: Resistencia promedio a la tracción simple por compresión diametral (kg/cm²).

N: Número de datos.

El coeficiente de variación se calcula con la siguiente fórmula:

$$CV (\%) = \frac{\sigma}{T_p} * 100\% \quad (3.6)$$

Dónde:

CV (%): Coeficiente de variación.

σ : Desviación estándar (kg/cm²).

T_p: Resistencia promedio a la tracción simple por compresión diametral (kg/cm²).

En la Tabla N° 58 se pueden apreciar los datos obtenidos tras la ejecución de este ensayo, asimismo la Tabla N° 59 muestra el cálculo del coeficiente de variación máximo que no se debe pasar según la NTP 339.084.



Figura 25. Ensayo a la tracción simple por compresión diametral.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58.*Resistencia a la tracción simple por compresión diametral a los 28 días.*

Identificación de la muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Masa (g)	Carga máxima (kN)	Tp (kg/cm ²)	Tp Promedio (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
PATRÓN (DISEÑO)	1	15.35	15.33	30.52	30.38	12,870	195.42	27.23	26.49	1.04	3.94
		15.32		30.24							
	2	15.42	15.35	30.49	30.48	12,790	185.73	25.75			
		15.29		30.47							
10% PP	1	15.38	15.38	30.55	30.55	12,040	180.36	24.91	24.21	0.99	4.09
		15.39		30.55							
	2	15.28	15.31	30.53	30.67	12,160	170.06	23.51			
		15.34		30.81							
20% PP	1	15.25	15.26	30.74	30.79	11,310	138.41	19.12	18.42	0.98	5.34
		15.27		30.84							
	2	15.38	15.32	30.44	30.50	11,390	127.63	17.73			
		15.26		30.55							
30% PP	1	15.36	15.30	30.44	30.41	10,300	117.06	16.33	15.61	1.02	6.56
		15.24		30.39							
	2	15.32	15.28	30.57	30.70	10,250	107.57	14.88			
		15.24		30.84							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59.*Coefficiente de variación de la resistencia a la compresión diametral a los 28 días.*

Identificación de la muestra	Desviación Estándar de la muestra (σ)	Coefficiente de variación de la muestra (CV)	Máximo coeficiente de variación (NTP 339.084)	Resultado
Patrón	1.04	3.94%	14.00%	OK
Patrón + 10%PP	0.99	4.09%	14.00%	OK
Patrón + 20%PP	0.98	5.34%	14.00%	OK
Patrón + 30%PP	1.02	6.56%	14.00%	OK

Fuente: Elaboración propia.

3.8.6. Costos de producción

Para el desarrollo de la presente investigación se suministraron los agregados grueso y fino de la planta chancadora AGREMIX EIRL, ubicada en el distrito de Pilcomayo de la provincia de Huancayo.

El cemento Andino Tipo I, fue adquirido en la cadena de tiendas PROMART, ubicada en el distrito de Huancayo.

El plástico reciclado de Polipropileno (PP) fue suministrado por la empresa ECO SOLUTIONS PERÚ SAC, ubicada en la ciudad de Lima, Perú.

En las Tablas N° 60, 61, 62 y 63 se detallan los costos por metro cúbico para el concreto patrón y los concretos con la incorporación del Polipropileno reciclado como agregado grueso en los porcentajes del 10%, 20% y 30%.

3.8.6.1. Costos de la mezcla patrón

Tabla 60.

Costo por m³ del concreto patrón.

Recurso	Peso requerido para 1m ³	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	318.47 kg	7.49 bls	23.20	173.85
Agua	215.34 kg	0.215 m ³	1.83	0.39
Arena gruesa	858.84 lt	0.339 m ³	40.00	13.58
Piedra chancada, TMN 3/4"	902.42 kg	0.345 m ³	70.00	24.11
Costo Total para 1 m³ de concreto (Incl. I.G.V)				211.93

Fuente: Elaboración propia.

3.8.6.2. Costos de la mezcla con 10% Polipropileno reciclado

Tabla 61.

Costo del concreto con 10% de PP para 1m³.

Recurso	Peso requerido para 1m ³	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	318.47 kg	7.49 bls	23.20	173.85
Agua	215.34 kg	0.215 m ³	1.83	0.39
Arena gruesa	858.84 lt	0.339 m ³	40.00	13.58
Piedra chancada, TMN 3/4"	812.18 kg	0.310 m ³	70.00	21.70
Polipropileno reciclado (PP)	90.24 kg	90.24 kg	0.15	13.54
Costo Total para 1 m³ de concreto (Incl. I.G.V)				223.06

Fuente: Elaboración propia.

3.8.6.3. Costos de la mezcla con 20% Polipropileno reciclado

Tabla 62.

Costo del concreto con 20% de PP para 1m³.

Recurso	Peso requerido para 1m ³	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	318.47 kg	7.49 bls	23.20	173.85
Agua	215.34 kg	0.215 m ³	1.83	0.39
Arena gruesa	858.84 lt	0.339 m ³	40.00	13.58
Piedra chancada, TMN 3/4"	721.93 kg	0.276 m ³	70.00	19.29
Polipropileno reciclado (PP)	180.48 kg	180.48 kg	0.15	27.07
Costo Total para 1 m³ de concreto (Incl. I.G.V)				234.18

Fuente: Elaboración propia.

3.8.6.4. Análisis de los costos de la mezcla con 30% Polipropileno reciclado

Tabla 63.

Costo del concreto con 30% de PP para 1m³.

Recurso	Peso requerido para 1m ³	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	318.47 kg	7.49 bls	23.20	173.85
Agua	215.34 kg	0.215 m ³	1.83	0.39
Arena gruesa	858.84 lt	0.339 m ³	40.00	13.58
Piedra chancada, TMN 3/4"	631.69 kg	0.241 m ³	70.00	16.88
Polipropileno reciclado (PP)	270.73 kg	270.73 kg	0.15	40.61
Costo Total para 1m3 de concreto (Incl. I.G.V)				245.31

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados que condujeron la presente investigación, los cuales están representados por tablas, gráficos y figuras con respecto a la mezcla patrón y de sus grupos experimentales mediante la adición del Polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% con respecto al peso del agregado grueso.

4.2. Resultados de los ensayos de calidad al concreto en estado fresco

4.2.1. Asentamiento del concreto (NTP 339.035)

Después del análisis de los datos obtenidos del ensayo del asentamiento del concreto según la NTP 339.035, se observa que existe una pérdida del asentamiento del concreto en medida que se aumenta el porcentaje del polipropileno reciclado como reemplazo del agregado grueso. La Tabla N° 64 muestra los resultados obtenidos, asimismo los Gráficos N° 4 y 5 muestran las variaciones que existen entre los resultados obtenidos.

Tabla 64.

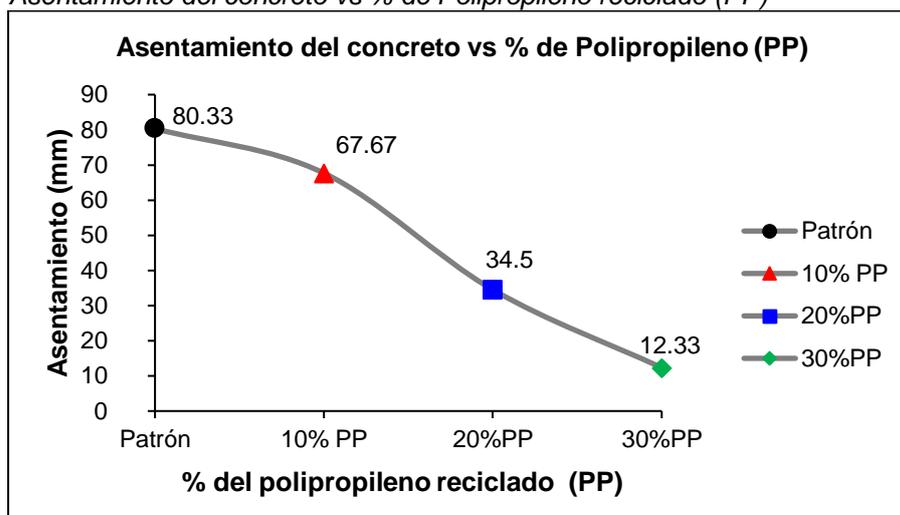
Resultados de los asentamientos del concreto obtenidos.

Identificación	Asentamiento (pulg)	Asentamiento (mm)	Variación del asentamiento con respecto al patrón (%)	Reducción del asentamiento (%)
Patrón	3	80.33	100.00%	0.00%
10% PP	2 1/2	67.67	84.24%	15.76%
20%PP	1 1/2	34.50	42.95%	57.05%
30%PP	1/2	12.33	15.35%	84.65%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.

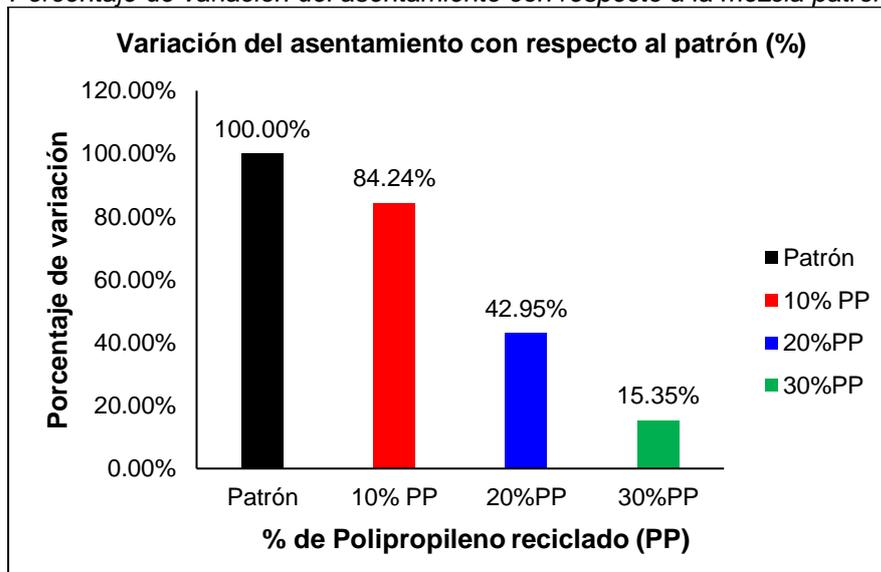
Asentamiento del concreto vs % de Polipropileno reciclado (PP)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5.

Porcentaje de variación del asentamiento con respecto a la mezcla patrón.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Temperatura del concreto (NTP 339.184)

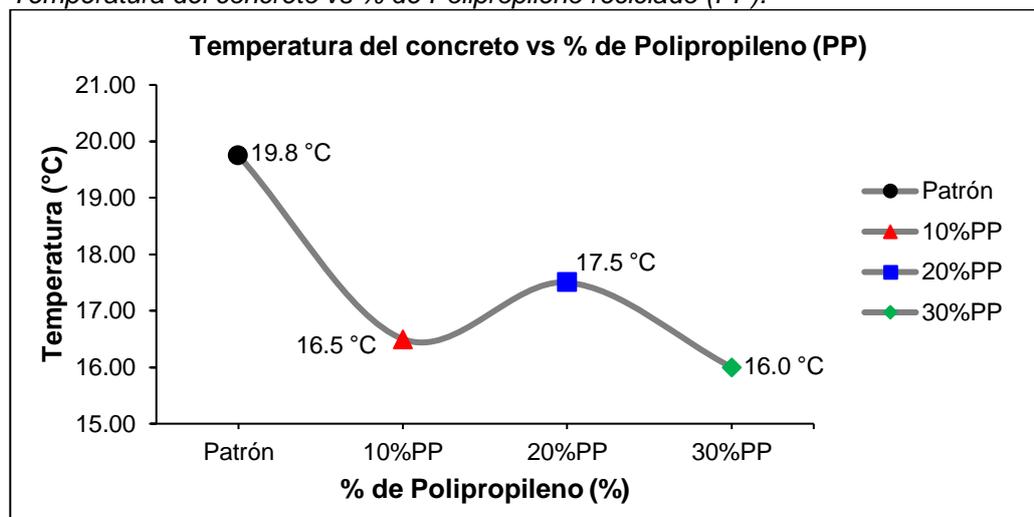
Los resultados que se obtuvieron tras el análisis de los datos sobre la temperatura del concreto según la NTP 339.184 se muestran en la Tabla N° 65, mientras que en los gráficos N° 6 y 7 se muestran las variaciones de las temperaturas obtenidas de las mezclas con polipropileno reciclado con respecto a la mezcla patrón en lo referente a la línea tendencia y al porcentaje de variación respectivamente.

Tabla 65.
Resultados de las temperaturas del concreto obtenidas.

Identificación	Temperatura (°C)	Variación de la temperatura con respecto al patrón (%)	Reducción de la temperatura (%)
Patrón	19.8	100.00%	0.00%
10% PP	16.5	83.54%	16.46%
20%PP	17.5	88.61%	11.39%
30%PP	16.0	81.01%	18.99%

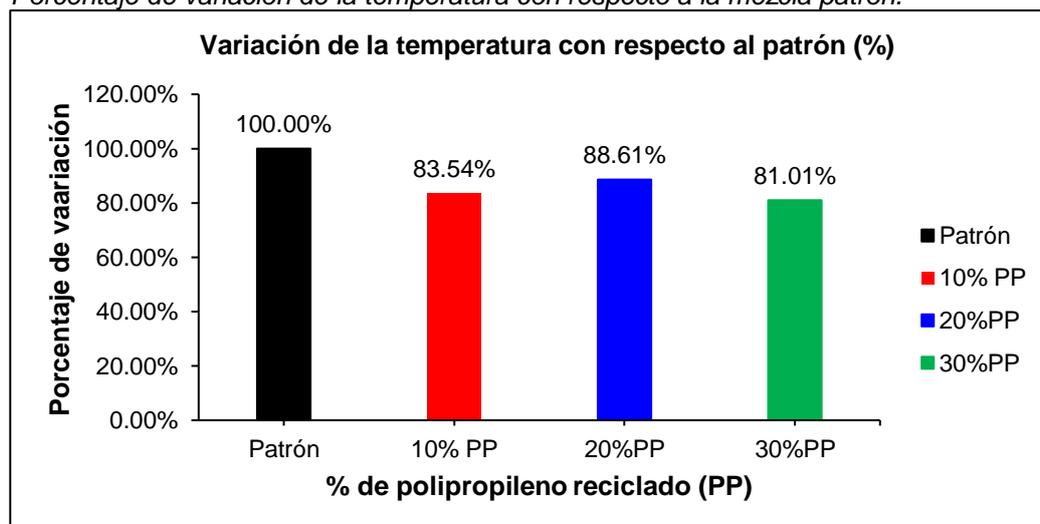
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6.
Temperatura del concreto vs % de Polipropileno reciclado (PP).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7.
Porcentaje de variación de la temperatura con respecto a la mezcla patrón.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Exudación del concreto (NTP 339.077)

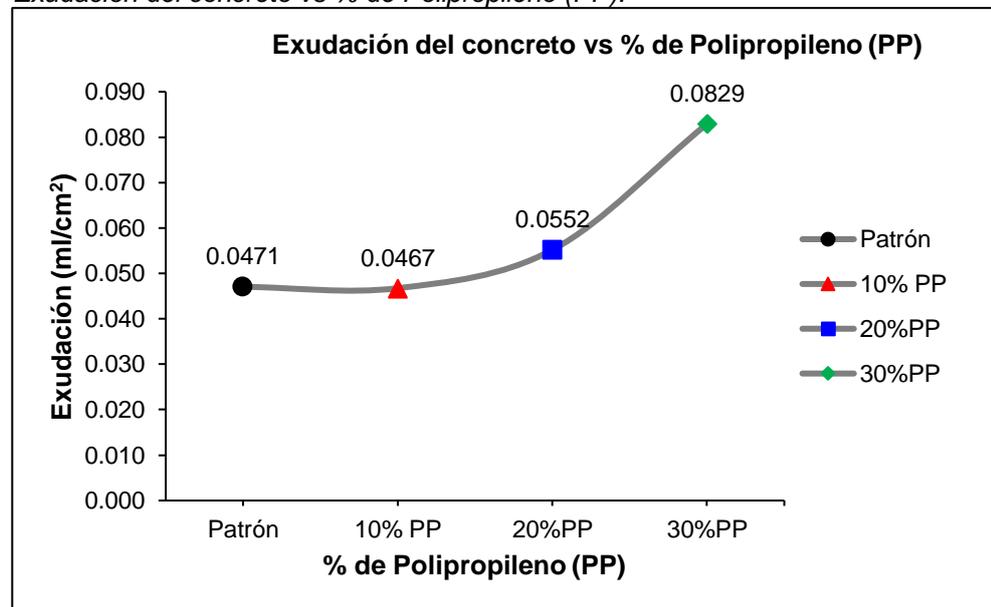
Los resultados que se obtuvieron luego del procesamiento de los datos según la NTP 339.077, se muestran en la Tabla N° 66, en el Gráfico N° 8 se puede observar la tendencia que tiene la exudación vs el porcentaje de polipropileno reciclado. Asimismo, en el gráfico N° 9 se detalla la variación que existe entre las exudaciones de la mezcla patrón con las mezclas de concreto incorporando el Polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% con respecto al peso del agregado grueso.

Tabla 66.
Resultados de las exudaciones obtenidas.

Identificación	Exudación (ml/cm ²)	Variación de la exudación con respecto al patrón (%)	Reducción y aumento de la exudación (%)
Patrón	0.0471	100.00%	0.00%
10% PP	0.0467	99.35%	-0.65%
20%PP	0.0552	117.26%	17.26%
30%PP	0.0829	176.22%	76.22%

Fuente: Elaboración propia.

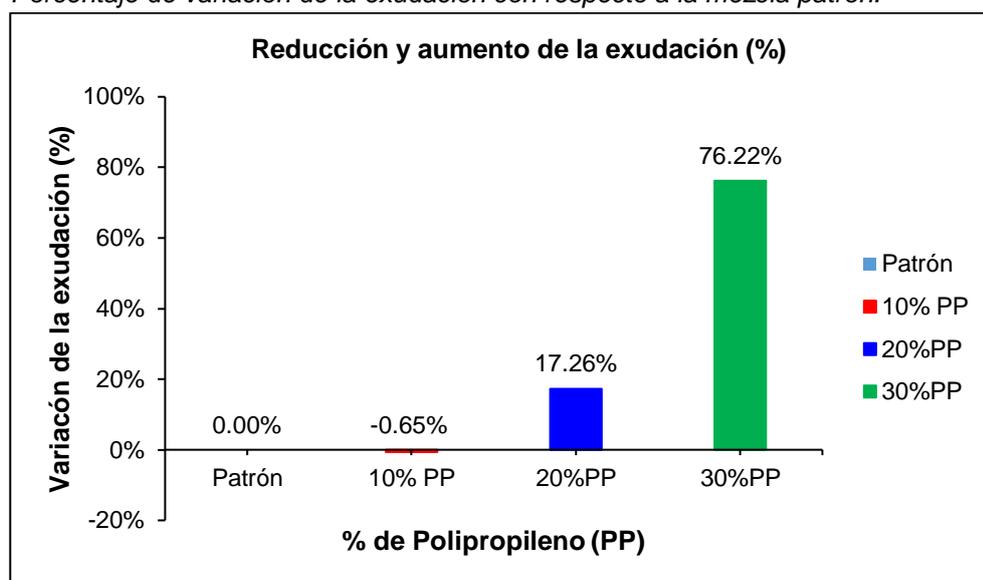
Gráfico 8.
Exudación del concreto vs % de Polipropileno (PP).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9.

Porcentaje de variación de la exudación con respecto a la mezcla patrón.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Peso unitario del concreto (NTP 339.046)

Los resultados obtenidos tras la evaluación de los datos correspondientes del ensayo del peso unitario del concreto realizado según la NTP 339.046 se muestran en la Tabla N° 67. Asimismo, en el Grafico N° 10 se puede observar la tendencia de disminución del peso unitario vs el porcentaje de Polipropileno en los porcentajes del 10%, 20% y 30% con respecto al peso del agregado grueso. En el grafico N° 11 se observa la variación en porcentaje de las mezclas con Polipropileno reciclado con respecto a la mezcla patrón.

Tabla 67.

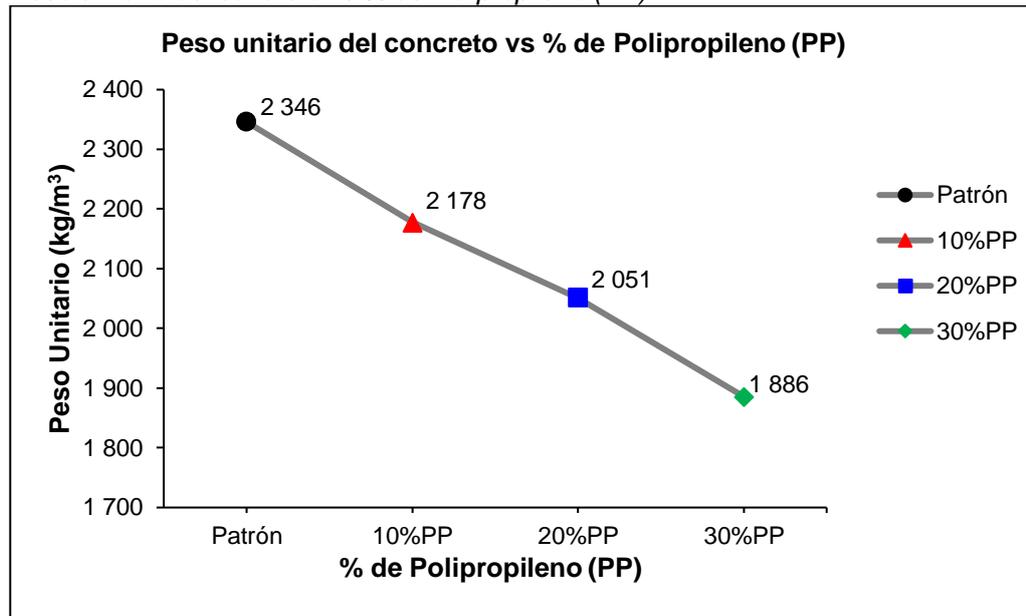
Resultados de los pesos unitarios del concreto obtenidos.

Identificación de la muestra	Peso unitario (kg/m ³)	Variación del peso unitario con respecto al patrón (%)	Reducción del peso unitario (%)
Patrón	2,346	100.00%	0.00%
10%PP	2,178	92.83%	7.17%
20%PP	2,051	87.43%	12.57%
30%PP	1,886	80.39%	19.61%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10.

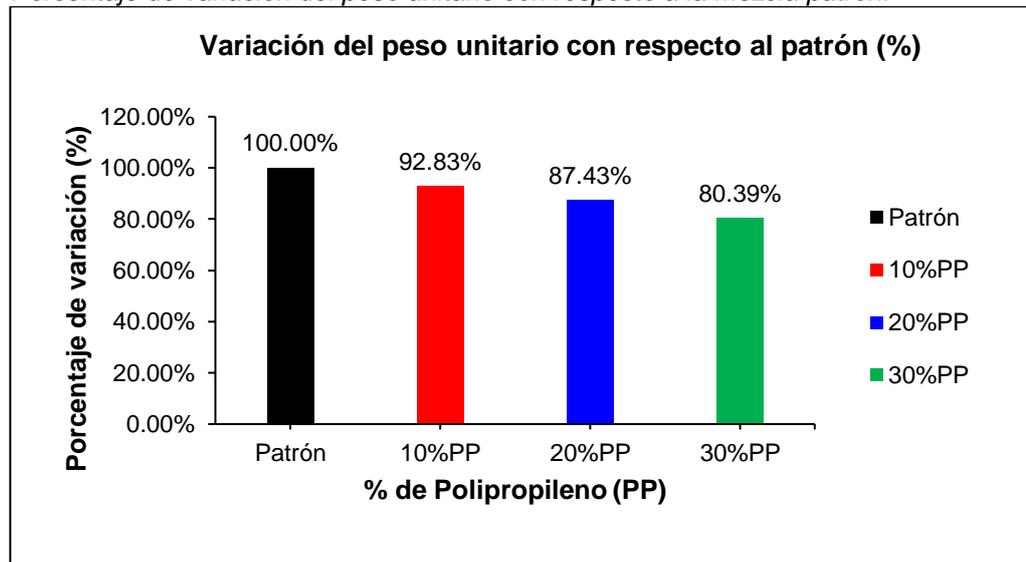
Peso unitario del concreto vs % de Polipropileno (PP).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11.

Porcentaje de variación del peso unitario con respecto a la mezcla patrón.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.5. Tiempo de fragua del concreto (NTP 339.082)

Después de la obtención y análisis de los datos del tiempo de fragua de acuerdo a la NTP 339.082, se muestra en la Tabla N° 68 los tiempos iniciales y finales de fragua de la mezcla patrón como también de las mezclas de concreto con el Polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% con respecto al peso del agregado grueso.

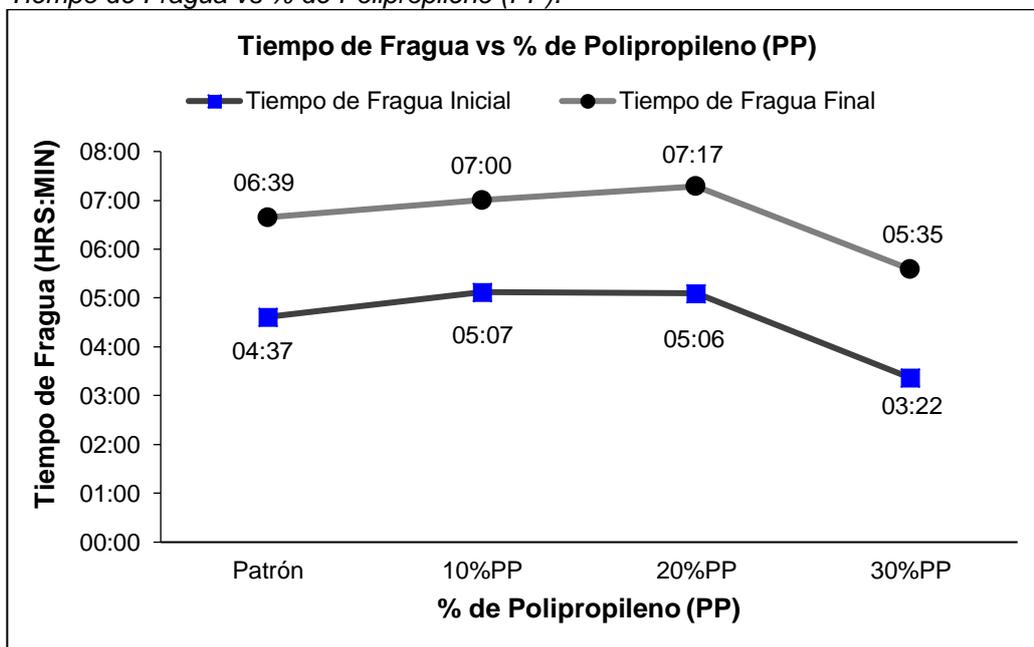
Asimismo, en el Grafico N° 12 se muestran las curvas de fragua para cada mezcla.

Tabla 68.
Resultados de los tiempos de fragua obtenidos.

Mezcla	Muestra	Tiempo de Fragua Inicial (hr: min)	Tiempo Promedio de Fragua Inicial (hr: min)	Tiempo de Fragua Final (hr: min)	Tiempo Promedio de Fragua Final (hr: min)
Patrón	1	04:37	04:37	06:41	06:39
	2	04:37		06:38	
10%PP	1	05:08	05:07	07:02	07:00
	2	05:07		06:59	
20%PP	1	05:08	05:06	07:18	07:17
	2	05:04		07:17	
30%PP	1	03:20	03:22	05:33	05:35
	2	03:24		05:38	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12.
Tiempo de Fragua vs % de Polipropileno (PP).



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Resultados de los ensayos de calidad al concreto en estado endurecido

Se muestran a continuación los resultados obtenidos tras los ensayos de calidad al concreto en estado endurecido realizado a un total de 72 probetas a las edades de 7, 14 y 28 días para la mezcla patrón y las mezclas con el polipropileno (PP) reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% con respecto al peso del agregado grueso.

4.3.1. Resistencia a la compresión axial (NTP 339.034)

Los resultados obtenidos tras el análisis de los datos de la resistencia a la compresión axial, cuyo ensayo fue realizado según la NTP 339.034 se muestran en la Tabla N° 69 y en la Tabla N° 70 se aprecian las variaciones de dichos resultados a las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente, asimismo en los Gráficos N° 13 y 14 se puede observar las curvas de resistencia y las variaciones que existen entre los resultados obtenidos.

Tabla 69.

Resultados de las resistencias a la compresión axial.

Identificación de la muestra	Resistencia a la compresión axial (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
Patrón	177.72	230.82	260.78
10%PP	146.36	172.85	180.53
20%PP	107.87	129.86	144.19
30%PP	72.43	85.13	99.49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70.

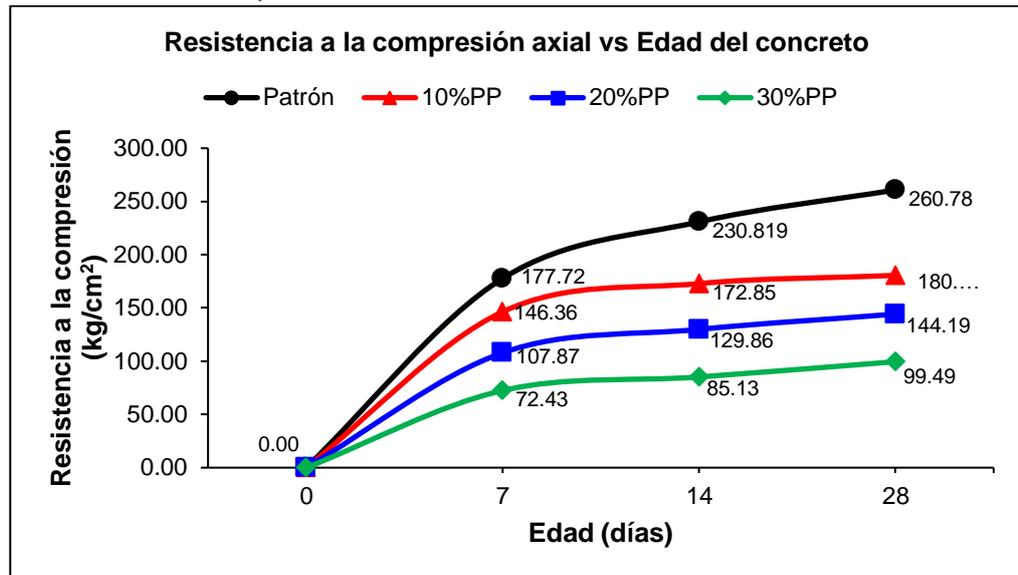
Variación de los resultados de las resistencias a la compresión axial.

Identificación de la muestra	Variación del f'c a los 7 días (%)	Variación del f'c a los 14 días (%)	Variación del f'c a los 28 días (%)	Disminución del f'c a los 28 días (%)
Patrón	100.00%	100.00%	100.00%	0.00%
10%PP	82.36%	74.88%	69.23%	30.77%
20%PP	60.69%	56.26%	55.29%	44.71%
30%PP	40.75%	36.88%	38.15%	61.85%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 13.

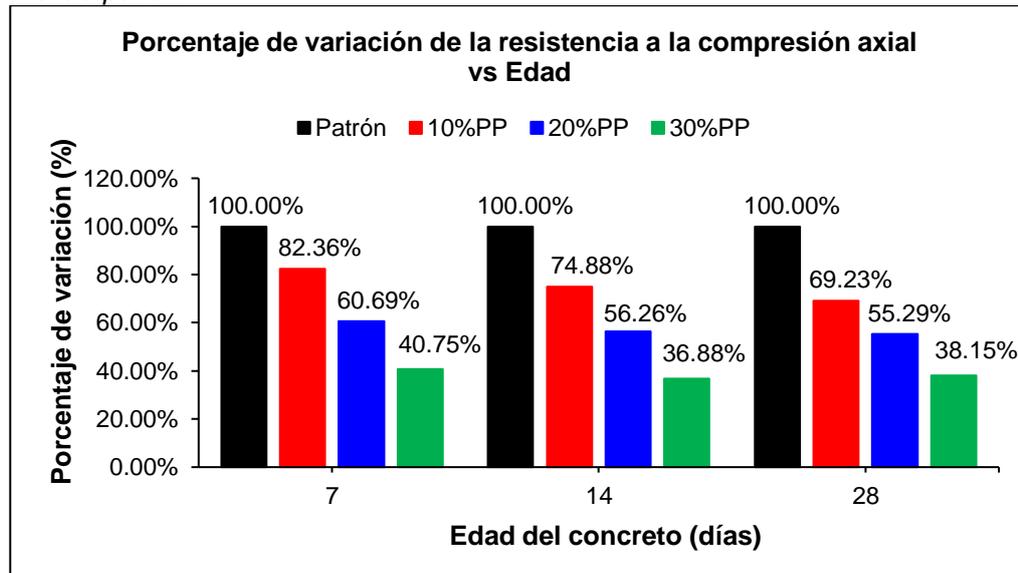
Resistencia a la compresión axial vs Edad del concreto



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 14.

Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión axial con respecto a la mezcla patrón.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Resistencia a la tracción simple por compresión diametral

Los resultados obtenidos tras el análisis de los datos de la resistencia a la a la tracción simple por compresión diametral, cuyo ensayo fue realizado según la NTP 339.084 se muestran en la Tabla N° 71 los resultados obtenidos y en la Tabla N° 72 se aprecian las variaciones de dichos resultados a la edad de 28 días respectivamente, asimismo en

los Gráficos N° 15 y 16 se puede observar las curvas de resistencia y las variaciones que existen entre los resultados obtenidos.

Tabla 71.

Resultados de las resistencias a la compresión diametral.

Identificación de la muestra	Resistencia a la compresión diametral a los 28 días (kg/cm ²)
Patrón	26.49
10%PP	24.21
20%PP	18.42
30%PP	15.61

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72.

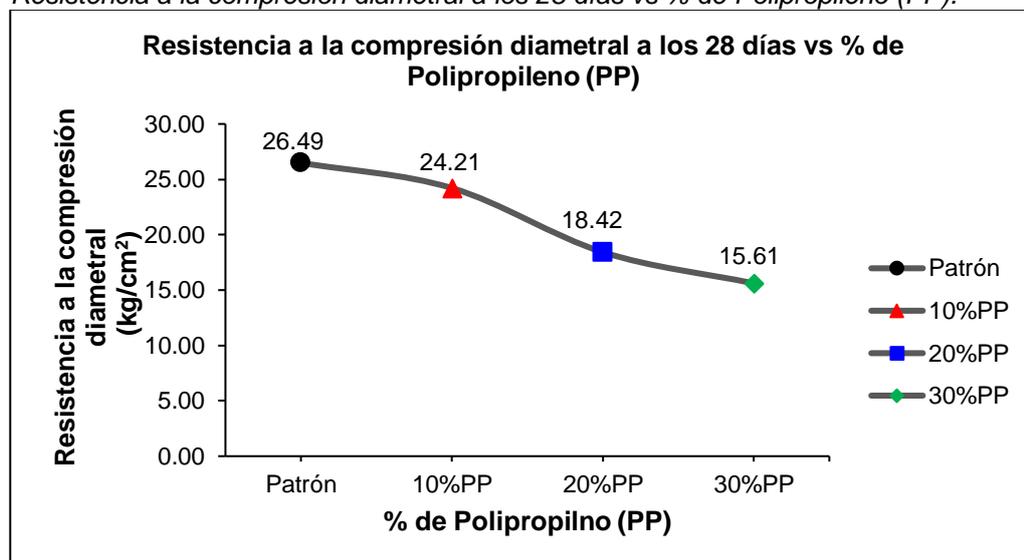
Porcentaje de variación de las resistencias a la compresión diametral.

Identificación de la muestra	Variación de la Resistencia a la compresión diametral a los 28 días (%)	Disminución de la Resistencia a la compresión diametral a los 28 días (%)
Patrón	100.00%	0.00%
10%PP	91.38%	8.62%
20%PP	69.54%	30.46%
30%PP	58.90%	41.10%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 15.

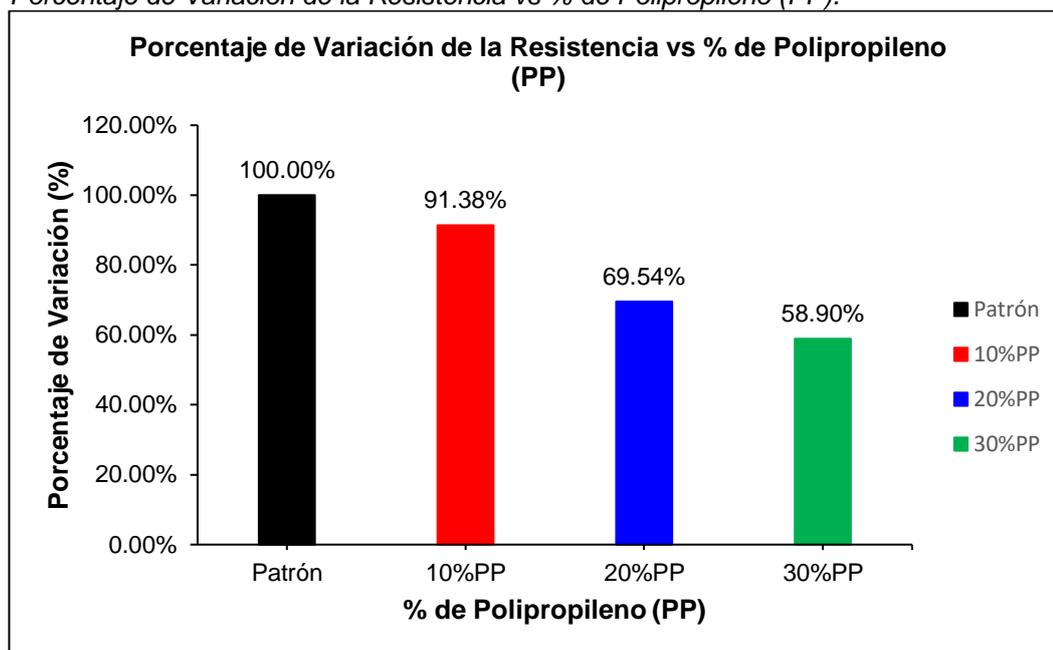
Resistencia a la compresión diametral a los 28 días vs % de Polipropileno (PP).



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 16.

Porcentaje de Variación de la Resistencia vs % de Polipropileno (PP).



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Análisis de los costos

Los resultados obtenidos de los costos de elaboración para la mezcla patrón y las mezclas con el polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% con respecto al agregado grueso, se muestran en la Tabla N° 73. Asimismo, en el Grafico N° 17 se muestra la tendencia del costo de producción vs el porcentaje de Polipropileno.

Tabla 73.

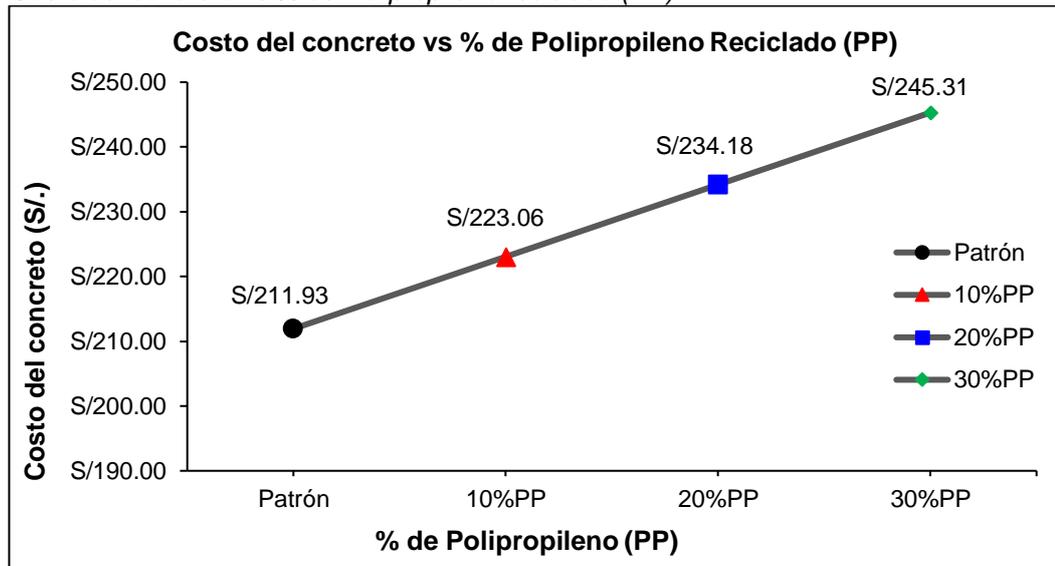
Variación de los costos con respecto a la mezcla patrón.

Identificación de la muestra	Costo Total para 1m3 de concreto (Incl. I.G.V)	Variación de los costos (%)
Patrón	S/211.93	0%
10%PP	S/223.06	5.25%
20%PP	S/234.18	10.50%
30%PP	S/245.31	15.75%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 17.

Costo del concreto vs % de Polipropileno reciclado (PP).



Fuente: Elaboración propia.

4.5. Contrastación de hipótesis

4.5.1. Prueba de hipótesis específica “a”

A. Redacción de la hipótesis

- **Hipótesis científica:** La incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
- **H₀:** **No existe** una influencia significativa en el estado fresco al incorporar el polipropileno reciclado en el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
- **H₁:** **Existe** una influencia significativa en el estado fresco al incorporar el polipropileno reciclado en el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

B. Determinación del nivel de significancia (α)

Alfa (α): 0.05 = 5%

C. Elección de la prueba estadística

La prueba estadística se realizará mediante un análisis de varianza (ANOVA), puesto que se compara un grupo control y tres grupos experimentales.

D. Cálculo del p-valor

Se procederá a calcular el p-valor para los ensayos de asentamiento, temperatura, exudación, peso unitario, tiempo de fragua inicial y final del concreto en estado fresco, haciendo uso del software IBM SPSS Statistics.

• P-valor para el asentamiento

En la Tabla N° 74 se aprecia el análisis de varianza para el asentamiento del concreto, la Tabla N° 75 muestra las comparaciones múltiples del grupo control y los grupos experimentales y en la Tabla N° 76 se aprecian los subconjuntos homogéneos para el asentamiento del concreto.

Tabla 74.

Análisis de varianza para el asentamiento del concreto.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8653,729	3	2884,576	281,422	,000
Dentro de grupos	82,000	8	10,250		
Total	8735,729	11			

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Anova.

Tabla 75.

Comparaciones múltiples para el asentamiento del concreto.

(I) Asentamiento del Concreto	(J) Asentamiento del Concreto	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	10% PP	12,66667*	2,61406	,006	4,2955	21,0378
	20% PP	45,83333*	2,61406	,000	37,4622	54,2045
	30% PP	68,00000*	2,61406	,000	59,6288	76,3712

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

Tabla 76.

Subconjuntos homogéneos para el asentamiento del concreto.

Asentamiento del Concreto	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Patrón	3				80,3333
10% PP	3			67,6667	
20% PP	3		34,5000		
30% PP	3	12,3333			

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

- **P-valor para la temperatura**

En la Tabla N° 77 se aprecia el análisis de varianza para la temperatura del concreto, la Tabla N° 78 muestra las comparaciones múltiples del grupo control y los grupos experimentales y en la Tabla N° 79 se aprecian los subconjuntos homogéneos para la temperatura del concreto.

Tabla 77.

Análisis de varianza para la temperatura del concreto.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16,594	3	5,531	19,667	,007
Dentro de grupos	1,125	4	,281		
Total	17,719	7			

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Anova.

Tabla 78.

Comparaciones múltiples para la temperatura del concreto.

(I) Temperatura del Concreto	(J) Temperatura del Concreto	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	10% PP	3,25000*	,53033	,012	1,0911	5,4089
	20% PP	2,25000*	,53033	,044	,0911	4,4089
	30% PP	3,75000*	,53033	,007	1,5911	5,9089

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

Tabla 79.

Subconjuntos homogéneos para la temperatura del concreto.

Temperatura del Concreto	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Patrón	2		19,7500
10% PP	2	16,5000	
20% PP	2	17,5000	
30% PP	2	16,0000	

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

- **P-valor para la exudación**

En la Tabla N° 80 se aprecia el análisis de varianza para la exudación del concreto, la Tabla N° 81 muestra las comparaciones múltiples del grupo control y los grupos experimentales y en la Tabla N° 82 se aprecian los subconjuntos homogéneos para la exudación del concreto.

Tabla 80.*Análisis de varianza para la exudación del concreto.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,002	3	,001	3463,928	,000
Dentro de grupos	,000	4	,000		
Total	,002	7			

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Anova.

Tabla 81.*Comparaciones múltiples para la exudación del concreto.*

(I) Exudación del Concreto	(J) Exudación del Concreto	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	10% PP	,0003000	,0004108	,881	-,001372	,001972
	20% PP	-,0081500*	,0004108	,000	-,009822	-,006478
	30% PP	-,0359000*	,0004108	,000	-,037572	-,034228

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

Tabla 82.*Subconjuntos homogéneos para la exudación del concreto.*

Exudación del Concreto	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Patrón	2	,047050		
10% PP	2	,046750		
20% PP	2		,055200	
30% PP	2			,082950

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

- **P-valor para el peso unitario**

En la Tabla N° 83 se aprecia el análisis de varianza para el peso unitario del concreto, la Tabla N° 84 muestra las comparaciones múltiples del grupo control y los grupos experimentales y en la Tabla N° 85 se aprecian los subconjuntos homogéneos para el peso unitario del concreto.

Tabla 83.*Análisis de varianza para el peso unitario del concreto.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	227661,470	3	75887,157	1457,294	,000
Dentro de grupos	208,296	4	52,074		
Total	227869,766	7			

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Anova.

Tabla 84.*Comparaciones múltiples para el peso unitario del concreto.*

(I) Peso Unitario	(J) Peso Unitario	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	10% PP	168,16000*	7,21623	,000	138,7837	197,5363
	20% PP	294,96500*	7,21623	,000	265,5887	324,3413
	30% PP	459,97500*	7,21623	,000	430,5987	489,3513

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

Tabla 85.*Subconjuntos homogéneos para el peso unitario del concreto.*

Peso Unitario	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Patrón	2				2345,7700
10% PP	2			2177,6100	
20% PP	2		2050,8050		
30% PP	2	1885,7950			

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

- **P-valor para el tiempo de fragua inicial**

En la Tabla N° 86 se aprecia el análisis de varianza para el tiempo de fragua inicial del concreto, la Tabla N° 87 muestra las comparaciones múltiples del grupo control y los grupos experimentales y en la Tabla N° 88 se aprecian los subconjuntos homogéneos para el tiempo de fragua inicial del concreto.

Tabla 86.*Análisis de varianza para el tiempo de fragua inicial del concreto.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,084	3	1,361	1266,496	,000
Dentro de grupos	,004	4	,001		
Total	4,089	7			

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Anova.

Tabla 87.*Comparaciones múltiples para el tiempo de fragua inicial del concreto.*

(I) Tiempo de Fragua Inicial	(J) Tiempo de Fragua Inicial	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	10% PP	-,50500*	,03279	,000	-,6385	-,3715
	20% PP	-,48000*	,03279	,000	-,6135	-,3465
	30% PP	1,25500*	,03279	,000	1,1215	1,3885

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

Tabla 88.*Subconjuntos homogéneos para el tiempo de fragua inicial del concreto.*

Tiempo de Fragua Inicial	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Patrón	2		4,6200	
10% PP	2			5,1250
20% PP	2			5,1000
30% PP	2	3,3650		

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

- **P-valor para el tiempo de fragua final**

En la Tabla N° 89 se aprecia el análisis de varianza para el tiempo de fragua final del concreto, la Tabla N° 90 muestra las comparaciones múltiples del grupo control y los grupos experimentales y en la Tabla N° 91 se aprecian los subconjuntos homogéneos para el tiempo de fragua final del concreto.

Tabla 89.*Análisis de varianza para el tiempo de fragua final del concreto.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,317	3	1,106	749,537	,000
Dentro de grupos	,006	4	,001		
Total	3,323	7			

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Anova.

Tabla 90.*Comparaciones múltiples para el tiempo de fragua final del concreto.*

(I) Tiempo de Fragua Final	(J) Tiempo de Fragua Final	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	10% PP	-,35000*	,03841	,003	-,5063	-,1937
	20% PP	-,63500*	,03841	,000	-,7913	-,4787
	30% PP	1,06500*	,03841	,000	,9087	1,2213

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

Tabla 91.*Subconjuntos homogéneos para el tiempo de fragua final del concreto.*

Tiempo de Fragua Final	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Patrón	2		6,6550		
10% PP	2			7,0050	
20% PP	2				7,2900
30% PP	2	5,5900			

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

E. Decisión estadística

Para llevar a cabo el contraste de la prueba de hipótesis, se recurrió al estadístico F de Snedecor.

- Si el **P-valor** $\leq \alpha$, se rechaza H_0 (Se acepta H_1).
- Si el **P-valor** $> \alpha$, no se rechaza H_0 (Se acepta H_0).

P-valor (Asentamiento) = 0.000	<	$\alpha = 0.05$
P-valor (Temperatura) = 0.007	<	$\alpha = 0.05$
P-valor (Exudación) = 0.000	<	$\alpha = 0.05$
P-valor (Peso Unitario) = 0.000	<	$\alpha = 0.05$
P-valor (Tiempo de Fragua Inicial) = 0.000	<	$\alpha = 0.05$
P-valor (Tiempo de Fragua Final) = 0.000	<	$\alpha = 0.05$
Conclusión: Existe una influencia significativa en el estado fresco al incorporar el polipropileno reciclado en el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Por lo tanto se acepta la Hipótesis de la Investigación.		

4.5.2. Prueba de hipótesis específica “b”

A. Redacción de la hipótesis

- **Hipótesis científica:** La incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
- **H_0 :** No existe una influencia significativa en el estado endurecido al incorporar el polipropileno reciclado en el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
- **H_1 :** Existe una influencia significativa en el estado endurecido al incorporar el polipropileno reciclado en el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

B. Determinación del nivel de significancia (α)

Alfa (α): $0.05 = 5\%$

C. Elección de la prueba estadística

La prueba estadística se realizará mediante un análisis de varianza (ANOVA), puesto que se compara un grupo control y tres grupos experimentales.

D. Cálculo del p-valor

Se procederá a calcular el p-valor para los ensayos de resistencia a la compresión axial y resistencia por tracción simple a la compresión diametral del concreto en estado endurecido, haciendo uso del software IBM SPSS Statistics.

- **P-valor para la resistencia a la compresión axial.**

En la Tabla N° 92 se aprecia el análisis de varianza para la resistencia a la compresión axial del concreto, la Tabla N° 93 muestra las comparaciones múltiples del grupo control y los grupos experimentales y en la Tabla N° 94 se aprecian los subconjuntos homogéneos para la resistencia a la compresión axial del concreto.

Tabla 92.

Análisis de varianza para la compresión axial del concreto.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	27966,961	3	9322,320	112,017	,000
Dentro de grupos	332,888	4	83,222		
Total	28299,849	7			

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Anova.

Tabla 93.

Comparaciones múltiples para la compresión axial del concreto.

(I) Compresión axial	(J) Compresión axial	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	10% PP	80,25000*	9,12261	,003	43,1131	117,3869
	20% PP	116,59000*	9,12261	,001	79,4531	153,7269
	30% PP	161,29000*	9,12261	,000	124,1531	198,4269

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

Tabla 94.

Subconjuntos homogéneos para la compresión axial del concreto.

Resistencia a la Compresión axial	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Patrón	2			260,7800
10% PP	2		180,5300	
20% PP	2		144,1900	
30% PP	2	99,4900		

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

- **P-valor para la resistencia a la tracción simple por compresión diametral.**

En la Tabla N° 95 se aprecia el análisis de varianza para la resistencia a la tracción simple por compresión diametral del concreto, la Tabla N° 96 muestra las comparaciones múltiples del grupo control y los grupos experimentales y en la Tabla N° 97 se aprecian los subconjuntos homogéneos para la resistencia a la tracción simple por compresión diametral del concreto.

Tabla 95.

Análisis de varianza para la tracción diametral del concreto.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	152,095	3	50,698	49,553	,001
Dentro de grupos	4,092	4	1,023		
Total	156,188	7			

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Anova.

Tabla 96.

Comparaciones múltiples para la tracción diametral del concreto.

(I) Resistencia a la Tracción Diametral	(J) Resistencia a la Tracción Diametral	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
Patrón	10% PP	2,28000	1,01150	,252	-1,8377	6,3977
	20% PP	8,06500*	1,01150	,005	3,9473	12,1827
	30% PP	10,88500*	1,01150	,001	6,7673	15,0027

Fuente: Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

Tabla 97.

Comparaciones múltiples para la tracción diametral del concreto.

Resistencia a la Tracción Diametral	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Patrón	2		26,4900
10% PP	2		24,2100
20% PP	2	18,4250	
30% PP	2	15,6050	

Fuente: IBM SPSS Statistics – Prueba Tukey.

E. Decisión estadística

Se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Si el **P-valor** $\leq \alpha$, se rechaza H_0 (Se acepta H_1).
- Si el **P-valor** $> \alpha$, no se rechaza H_0 (Se acepta H_0).

Para llevar a cabo el contraste de la prueba de hipótesis, se recurrió al estadístico F de Snedecor.

P-valor (Resistencia a la Compresión axial) = 0.000 < $\alpha = 0.05$

P-valor (Resistencia a la Tracción Diametral) = 0.001 < $\alpha = 0.05$

Conclusión:

Existe una influencia significativa en el estado endurecido al incorporar el polipropileno reciclado en el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Por la tanto, se acepta la Hipótesis de la Investigación.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Resultados de la calidad del concreto en estado fresco

5.1.1. Asentamiento

Para los resultados obtenidos sobre el asentamiento del concreto, se puede observar en la Tabla 64 que para la mezcla del concreto patrón se obtuvo un asentamiento promedio de 3" y para las mezclas con la incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30%, se obtuvieron asentamientos promedios de 2 ½", 1 ½" y ½" respectivamente. Para la muestra patrón se obtuvo el asentamiento esperado de diseño, sin embargo, para las mezclas con incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% se obtuvieron asentamientos inferiores, variando estos inversamente proporcional al porcentaje de incorporación del polipropileno reciclado en los órdenes del 15.76%, 57.05% y 84.65% con respecto a la mezcla patrón. Estos valores son cercanos a los obtenidos por Morales (2016) en los que el asentamiento para la muestra con 5%, 10% y 15% de plástico disminuyeron su valor, con una media de 37%, 84% y 100%. Asimismo, en la prueba de hipótesis con respecto al asentamiento del concreto, se demuestra mediante la Tabla 74, que la incorporación del Polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% respectivamente influyen en el estado fresco del concreto $f'_c = 175$ kg/cm². En síntesis, a mayor porcentaje de incorporación del polipropileno reciclado, menor será el asentamiento del concreto.

5.1.2. Temperatura del concreto

Con respecto a los resultados de la temperatura del concreto se puede observar en la Tabla 65, que la temperatura promedio de la mezcla patrón alcanza los 19.8°C, mientras que las mezclas con la incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30%, alcanzan temperaturas de 16.5°C, 17.5°C y 16.0°C respectivamente. Las temperaturas de las muestras experimentales con la incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% disminuyeron sus valores en los órdenes del 16.46%, 11.39% y 18.99% respectivamente en comparación con la mezcla patrón. En la prueba de la hipótesis concerniente a la temperatura del concreto se observa en la Tabla 77, que la incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

5.1.3. Exudación del concreto

Para los resultados obtenidos de la exudación del concreto, se puede observar en la Tabla 66 que para la mezcla patrón se obtuvo una exudación de 0.0471 ml/cm² y para las mezclas con la incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% se obtuvieron exudaciones de 0.0467 ml/cm², 0.0552 ml/cm² y 0.0829 ml/cm² respectivamente, habiendo una reducción del 0.65% para la mezcla con incorporación del polipropileno reciclado del 10% y un aumento del 17.26% y 76.22% de exudación para las mezclas con el 20% y 30% de incorporación de este material con respecto a la mezcla patrón. Mediante la prueba de hipótesis para los datos obtenidos para este ensayo, se puede observar en la Tabla 82 que para la mezcla de concreto con incorporación al 10% de polipropileno reciclado no influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, sin embargo, las mezclas con incorporación del 20% y 30% de polipropileno reciclado influyen en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

En síntesis, a mayor incorporación del Polipropileno reciclado, aumentará la exudación del concreto de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

5.1.4. Peso unitario del concreto

La Tabla N° 67 muestra los resultados del peso unitario del concreto para la mezcla patrón y las mezclas con la incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30%, siendo el peso unitario de 2346 kg/m³ para la mezcla patrón y 2178 kg/m³, 2051 kg/m³ y 1886 kg/m³ para las mezclas con incorporación del polipropileno reciclado respectivamente. Comparando la variación en porcentajes de los pesos unitarios de las mezclas de concreto obtenidas, se puede observar que la mezcla del concreto patrón tiene un peso unitario superior a las mezclas experimentales, teniéndose así que la incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% muestran una reducción de sus valores en los órdenes del 7.17%, 12.57% y 19.61% respectivamente con respecto a la mezcla patrón. Estos valores obtenidos guardan relación con los obtenidos por Morales (2016) en donde los resultados obtenidos sobre el peso unitario del concreto respecto a la muestra con 5%, 10% y 15% de plástico reciclado disminuye su valor, con una media de 3%, 8% y 14% respectivamente en comparación a la muestra patrón. La Tabla N° 83 muestra los resultados de la prueba de hipótesis con respecto al peso unitario del concreto donde se comprueba que la incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. En síntesis, a mayor incorporación del Polipropileno reciclado menor será el peso unitario del concreto. Wasiak (1999), citado por Galvis (2014), confirma esta proposición puesto que refiere que el polipropileno tiene una baja densidad que se encuentra normalmente entre 0.90 y 0.96 kg/cm³, cuya característica hace que se permita la elaboración de productos ligeros.

5.1.5. Tiempo de fragua del concreto

Los resultados sobre el tiempo de fragua se pueden observar en la Tabla 68, para la mezcla patrón el tiempo promedio de fragua inicial fue a las 4 horas con 37 minutos, mientras que para las mezclas con incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30%, los tiempos de fragua inicial fueron a las 5 horas con 7

minutos, 5 horas con 6 minutos y 3 horas con 22 minutos respectivamente. Para la fragua final se tiene que para la mezcla patrón el tiempo de fragua final fue a las 6 horas con 39 minutos y para las mezclas con incorporación del polipropileno reciclado como agregado grueso en los porcentajes del 10%, 20% y 30%, los tiempos de fragua final fueron a las 7 horas con 0 minutos, 7 horas con 17 minutos y 5 horas con 35 minutos respectivamente. En el Grafico 12 se puede observar que para la fragua inicial y final se muestra una tendencia de subida para los valores de las mezclas con el 10% y 20% del polipropileno reciclado con respecto al tiempo de fragua de la mezcla patrón, sin embargo, para la mezcla con el 30% de incorporación del polipropileno reciclado el tiempo de fragua inicial disminuye considerablemente con respecto a la fragua inicial de la mezcla patrón. Estos valores no guardan relación con los resultados obtenidos por Morales (2016) en donde los resultados de los ensayos de tiempo de fragua inicial y final decrecen a medida que mayor es el reemplazo de plástico reciclado. En la prueba de hipótesis con respecto a los tiempos de fragua inicial y final del concreto, se demuestra en la Tablas N° 86 y 89 que la incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

5.2. Resultados de la calidad del concreto en estado endurecido

5.2.1. Resistencia a la compresión axial

Los valores obtenidos para las edades de 7, 14 y 28 días para la resistencia a la compresión axial tanto para la mezcla patrón y las mezclas con incorporación del polipropileno reciclado se presentan en la Tabla N° 69 y la variación de los resultados obtenidos sobre la resistencia a la compresión axial se muestran en la Tabla N° 70. Para la mezcla patrón se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 260.78 kg/cm^2 representando el 100% de la variación, para las resistencias promedio de los concretos con incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30%, se obtuvieron resistencias promedio de 180.53 kg/cm^2 , 144.19 kg/cm^2 y 99.49 kg/cm^2 , disminuyendo estos valores en los porcentajes del

30.77%, 44.71% y 61.85% respectivamente con respecto a la mezcla patrón. Estos resultados guardan relación con Hernández (2011), Vargas y Polo (2017) y Reyna (2016) en donde a mayor incorporación del plástico reciclado menor es el valor de la resistencia a la compresión. En la prueba de hipótesis concerniente a la resistencia a la compresión axial, se puede observar en la Tabla 92 que la incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, en síntesis, la resistencia a la compresión axial del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ varía inversamente proporcional al aumento de la incorporación del Polipropileno reciclado como agregado grueso.

5.2.2. Resistencia a la tracción simple por compresión diametral

Los valores obtenidos sobre la resistencia a la tracción simple por compresión diametral tanto para el concreto patrón como para los concretos con incorporación del Polipropileno reciclado a la edad de 28 días se muestran en la Tabla 71, asimismo las variaciones de las resistencias para la mezcla control y la mezcla con incorporación del polipropileno reciclado se aprecian en la Tabla 72. Para el concreto patrón se obtuvo una resistencia promedio de 26.49 kg/cm^2 , representando el 100% de la variación, para los concretos con incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 10%, 20% y 30% se obtuvieron resistencias promedio de 24.21 kg/cm^2 , 18.42 kg/cm^2 y 15.61 kg/cm^2 respectivamente, representando estos valores una disminución del 8.62%, 30.46% y 41.10% de variación con respecto a la mezcla patrón. La prueba de hipótesis concerniente a la compresión simple por tracción diametral se muestra en la Tabla 95, donde se deduce que para el concreto con incorporación al 10% de polipropileno reciclado como agregado grueso no influye en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, pero los concretos con incorporación del polipropileno reciclado en los porcentajes del 20% y 30% influyen en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, variando las resistencias inversamente al porcentaje de polipropileno incorporado.

5.3. Resultados de los análisis de costos de producción

En la Tabla 73 se muestran las variaciones de los costos de producción para 1 m³ de concreto, obteniéndose un aumento en los costos de producción en los órdenes del 5.25%, 10.50% y 15.75% para las mezclas con incorporación del polipropileno reciclado para los porcentajes del 10%, 20% y 30% respectivamente con respecto a la mezcla patrón. Afirmando que la incorporación del polipropileno reciclado influye en los costos de producción del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

CONCLUSIONES

1. La incorporación del polipropileno reciclado influye en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, ya que al incorporarse este material al 10%, 20% y 30% producen una disminución del asentamiento en los órdenes del 15.76%, 57.05% y 84.65%; la temperatura disminuye en 16.46%, 11.39% y 18.99%; la exudación se reduce en un 0.65% para la mezcla al 10% y aumenta en 17.26% y 76.22% para las mezclas al 20% y 30%; el peso unitario disminuye en un 7.17%, 12.57% y 19.61%; la resistencia a la compresión axial disminuye en 30.77%, 44.71% y 61.85% y la resistencia a la tracción simple por compresión diametral disminuye en 8.62%, 30.46% y 41.10%.
2. La incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, puesto que los valores del asentamiento, temperatura y peso unitario disminuyen a medida que el porcentaje de incorporación del polipropileno reciclado aumenta. Con respecto al tiempo de fragua se produjo un aumento en el tiempo de fragua inicial y final para las mezclas con incorporación del 10% y 20% y una disminución con el 30% del polipropileno reciclado.
3. La incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, puesto que la resistencia a la compresión axial obtenida a los 28 días para los porcentajes del 10%, 20% y 30%, disminuyeron sus valores a medida que el porcentaje de incorporación del polipropileno reciclado aumenta, obteniéndose así para la mezcla con el 10% de incorporación de polipropileno reciclado resistencias mayores a los 175 kg/cm^2 . Sobre la resistencia a la tracción simple por compresión diametral los valores obtenidos disminuyen a medida que el porcentaje de polipropileno reciclado aumenta.
4. La incorporación del polipropileno reciclado influye en los costos de producción del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, aumentado sus valores a medida que el porcentaje de polipropileno reciclado aumenta. Este aumento radica en los costos de obtención de dicho material.

RECOMENDACIONES

1. Se debe ampliar el estudio sobre la incorporación de este material en la construcción, puesto que como esta investigación lo demuestra el polipropileno reciclado influye significativamente en la calidad del concreto, pudiéndose enfocar su uso a otros aspectos constructivos.
2. Las mezclas de concreto con incorporación del polipropileno reciclado produjeron pesos unitarios livianos con respecto a la mezcla patrón, se debería ampliar y realizar estudios de aplicación para elementos de construcción utilizando al polipropileno reciclado como un material alternativo.
3. El resultado que se obtuvo para la resistencia a la compresión axial para el concreto con incorporación del polipropileno reciclado en el porcentaje del 10% fue mayor a los 175 kg/cm², recomendándose el uso de este material en la construcción de elementos no estructurales que requieran dicha calidad, ayudando así a disminuir la concentración de este material en los rellenos sanitarios.
4. Ampliar el estudio sobre materiales provenientes de residuos sólidos aprovechables para poder contemplarlos como posibles componentes en la industria de la construcción ayudando a disminuir la disposición de los residuos sólidos domiciliarios y así contribuir al medio ambiente, asimismo las organizaciones gubernamentales del estado deberían de poner mucho énfasis, voluntad social y ambiental para la implementación de una planta de tratamiento de residuos sólidos, adquiriendo maquinas propias para que puedan procesar los residuos del tipo plástico y pueda ser así económicamente factible el empleo de este material en las diversas obras que las entidades públicas ejecutan a favor de la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Abanto, F. (2017). *Tecnología del Concreto (Teoría y problemas)*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.
2. Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú.
3. Evaluación y Gestión Ambiental. (2014). *Sexto informe Nacional de Residuos Sólidos de la Gestión del Ámbito Municipales y no Municipales*. Recuperado de <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20160328155703.pdf>.
4. Gastañaduí, F. (2004). *Control de Calidad del Concreto*. Lima, Perú.
5. Galvis, N. (2014). *Caracterización del Polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con Polipropileno virgen* (tesis de grado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
6. Hernández R., Fernández C. & Baptista P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F., México: Editorial Me Graw Hill.
7. Kosmatka S., Kerkhoff B., Panarese W. & Tanesi J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois, EE. UU: Portland Cement Association.
8. Neville, A. (2013). *Tecnología del concreto*. México D.F., México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
9. Norma CE.010 (2010). *Pavimentos Urbanos*. SENCICO. Primera Edición. Lima, Perú.
10. NTP 334.001 (2001). *CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura*. INDECOPI, Lima, Perú.
11. NTP 334.009 (2016). *CEMENTO PORTLAND. Requisitos*. INDECOPI, INACAL, Lima, Perú.
12. NTP 339.034 (2013). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. INDECOPI, Lima, Perú.
13. NTP 339.035 (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*. INACAL, Lima, Perú.

14. NTP 339.036 (2011). *CONCRETO. Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco*. INDECOPI, Lima, Perú.
15. NTP 339.046 (2008). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto*. INDECOPI, Lima, Perú.
16. NTP 339.047 (2014). *CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados*. INDECOPI, Lima, Perú.
17. NTP 339.077 (2013). *CONCRETO. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto*. INDECOPI, Lima, Perú.
18. NTP 339.082 (2001). *CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración*. INDECOPI, Lima, Perú.
19. NTP 339.084 (2012). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. INDECOPI, Lima, Perú.
20. NTP 339.088 (2006). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland*. INDECOPI, Lima, Perú.
21. NTP 339.184 (2013). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto*. INDECOPI, Lima, Perú.
22. NTP 339.185 (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. INDECOPI, Lima, Perú.
23. NTP 400.010 (2016). *AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras*. INACAL, Lima, Perú.
24. NTP 400.011 (2008). *AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para su uso en morteros*. INDECOPI, Lima, Perú.
25. NTP 400.012 (2013). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. INDECOPI, Lima, Perú.
26. NTP 400.017 (2011). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("peso unitario") y los vacíos en los agregados*. INDECOPI, Lima, Perú.

27. NTP 400.018 (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ m (N° 200) por lavado en agregados.* INDECOPI, Lima, Perú.
28. NTP 400.021 (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.* INDECOPI, Lima, Perú.
29. NTP 400.022 (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.* INDECOPI, Lima, Perú.
30. NTP 400.024 (2011). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.* INDECOPI, Lima, Perú.
31. NTP 400.037 (2014). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.* INDECOPI, Lima, Perú.
32. NTP 400.043 (2015). *AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo.* INACAL, Lima, Perú.
33. PIGARS (2016). *Plan integral de Gestión de Residuos Sólidos.* Municipalidad Provincial de Huancayo. Huancayo, Perú.
34. Promoción del Desarrollo Sostenible. (2004). *Diagnóstico situacional y propuestas de gestión y manejo de los empaques rígidos para productos de consumo masivo.* Recuperado de <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128195552.doc>
35. Rivva, E. (2000). *Diseño de Mezclas.* Tecnología del Concreto. Lima, Perú: CAPITULO PERUANO ACI.
36. Torre, A. (2004). *Curso Básico de tecnología del concreto.* Lima, Perú. UNIFIC.

ANEXOS

ANEXO 01
MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DEL POLIPROPILENO RECICLADO EN LA CALIDAD DEL CONCRETO $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ ”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA																											
<p>1. PROBLEMA GENERAL ¿De qué manera la incorporación del polipropileno reciclado influye en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?</p> <p>2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>a) ¿De qué manera la incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?</p> <p>b) ¿De qué manera la incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?</p> <p>c) ¿De qué manera la incorporación del polipropileno reciclado influye en los costos de producción del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL Determinar la influencia de la incorporación del polipropileno reciclado en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Determinar la influencia de la incorporación del polipropileno reciclado en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>b) Determinar la influencia de la incorporación del polipropileno reciclado en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>c) Determinar la influencia de la incorporación del polipropileno reciclado en los costos de producción del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL La incorporación del polipropileno reciclado influye en la calidad del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) La incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado fresco del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>b) La incorporación del polipropileno reciclado influye en el estado endurecido del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.</p> <p>c) La incorporación del polipropileno reciclado influye en los costos de producción del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.</p>	<p>1. VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Polipropileno reciclado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: Incorporación del Polipropileno reciclado como agregado grueso. • Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de Polipropileno reciclado. - Tamaño máximo nominal del Polipropileno reciclado. <p>2. VARIABLE DEPENDIENTE (Y): Calidad del concreto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensión: Estado fresco • Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> - Asentamiento (mm). - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$). - Exudación (ml/cm^2). - Peso unitario (kg/cm^2). - Tiempo de fragua (hr). • Dimensión: Estado endurecido • Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la compresión axial (kg/cm^2). - Resistencia a la tracción simple por compresión diametral (kg/cm^2). • Dimensión: Costos de producción. • Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de Costos Unitario(S/). 	<ul style="list-style-type: none"> • MÉTODO DE INVESTIGACIÓN <ul style="list-style-type: none"> - Método científico. • TIPO DE INVESTIGACIÓN <ul style="list-style-type: none"> - Aplicada - Tecnológica. • NIVEL DE INVESTIGACIÓN <ul style="list-style-type: none"> - Explicativo. • DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN <ul style="list-style-type: none"> - Cuasiexperimental <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">GRUPOS</th> <th colspan="2">VARIABLE INDEPENDIENTE</th> <th colspan="2">POSPRUEBA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GE₁</td> <td>Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$</td> <td>X₁</td> <td>Incorporación del polipropileno reciclado al 10%</td> <td>O₁</td> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Estado fresco, endurecido y costos de producción.</td> </tr> <tr> <td>GE₂</td> <td>Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$</td> <td>X₂</td> <td>Incorporación del polipropileno reciclado al 20%</td> <td>O₂</td> </tr> <tr> <td>GE₃</td> <td>Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$</td> <td>X₃</td> <td>Incorporación del polipropileno reciclado al 30%</td> <td>O₃</td> </tr> <tr> <td>GC</td> <td>Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$</td> <td>-</td> <td>Sin polipropileno reciclado</td> <td>O₄</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> • POBLACIÓN <ul style="list-style-type: none"> - Concretos de calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. • MUESTRA <ul style="list-style-type: none"> - 18 probetas de 4" x 8" para el grupo control (Resistencia a la compresión axial). - 54 probetas de 4" x 8" para el grupo experimental (Resistencia a la compresión axial). - 2 probetas de 6" x 12" para el grupo control (Resistencia a la tracción simple por compresión diametral). - 6 probetas de 6" x 12" para el grupo experimental (Resistencia a la tracción simple por compresión diametral). 	GRUPOS		VARIABLE INDEPENDIENTE		POSPRUEBA		GE ₁	Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	X ₁	Incorporación del polipropileno reciclado al 10%	O ₁	Estado fresco, endurecido y costos de producción.	GE ₂	Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	X ₂	Incorporación del polipropileno reciclado al 20%	O ₂	GE ₃	Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	X ₃	Incorporación del polipropileno reciclado al 30%	O ₃	GC	Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	-	Sin polipropileno reciclado	O ₄
GRUPOS		VARIABLE INDEPENDIENTE		POSPRUEBA																											
GE ₁	Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	X ₁	Incorporación del polipropileno reciclado al 10%	O ₁	Estado fresco, endurecido y costos de producción.																										
GE ₂	Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	X ₂	Incorporación del polipropileno reciclado al 20%	O ₂																											
GE ₃	Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	X ₃	Incorporación del polipropileno reciclado al 30%	O ₃																											
GC	Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	-	Sin polipropileno reciclado	O ₄																											