



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DEL POLIPROPILENO RECICLADO  
COMO REEMPLAZO DEL AGREGADO GRUESO  
SOBRE EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN Y  
ABSORCIÓN CAPILAR DE UN CONCRETO  
CONVENCIONAL, TRUJILLO 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Br. Antony Augusto Carranza Castillo

Asesor:

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a Dios por darme salud, entereza y sabiduría en cada momento de mi vida y en mi formación profesional.

Para todos mis familiares que han partido especialmente a mi abuela Augusta que ahora es un ángel en mi vida, sé que está muy orgullosa de mí y desde donde está me bendice.

A mi abuelo Goyito que es un padre para mí, a mi mamá Elsa, mi mamá Milagros, mi papá Antonio, mis hermanos, Yasmin y Omar, en general a toda mi familia, solo tengo palabras de agradecimiento por su apoyo, cuidado y amor que siempre me han brindado.

A mi madrina Marleny, mi tía Nancy, mi prima Miluska y mi padrino Emerson que se comprometieron mucho con mi proyecto y siempre estuvieron presentes brindándome su apoyo incondicional.

**Antony Augusto Carranza Castillo**

## AGRADECIMIENTO

Estoy eternamente agradecido con cada integrante de mi familia por el compromiso, apoyo, confianza, consideración y amor que tienen hacia mi persona, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

A mi asesor, Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz, por brindarme su tiempo y dedicación, para que este proyecto sea posible, gracias por brindarme sus experiencias, sus conocimientos y estar pendiente del desarrollo de la investigación.

Agradezco mucho al Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina, por dedicar gran parte de su tiempo a este proyecto, su sabiduría, sus consejos y su motivación por esta investigación los recordaré por siempre.

Agradezco mucho a mis amigos Martín Eduardo Lázaro Linarez y Juan Enrique Rodríguez Castro por su apoyo, consejos y siempre darme ánimos para culminar de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT .....	13
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1. Realidad Problemática .....	14
1.2. Antecedentes.....	18
1.3. Bases teóricas.....	25
1.3.1. Concreto .....	25
1.3.2. Polipropileno.....	44
1.4. Formulación del problema .....	46
1.5. Objetivos.....	47
1.5.1. Objetivo General .....	47
1.5.2. Objetivos Específicos.....	47
1.6. Hipótesis.....	47
1.6.1. Hipótesis General.....	47
1.6.2. Hipótesis Específicas .....	48
1.7. Operacionalización de variable .....	49
1.7.1. Variable Independiente: .....	49
1.7.2. Variable Dependiente:.....	49
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>51</b>
2.1. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) .....	51
2.1.1. Diseño de investigación .....	51
2.1.2. Población .....	52
2.1.3. Muestra.....	52
2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	53
2.2.1. Diseño de contrastación .....	53
2.2.2. Datos estadísticos .....	55
2.2.3. Datos preliminares.....	56
2.2.4. Métodos y fórmulas para el análisis de varianza en analizar un diseño factorial .....	57
2.2.5. Propiedades del agregado grueso, fino y reciclado.....	60
2.2.6. Diseño de mezcla.....	63

2.2.7.	Ensayos del concreto .....	64
2.3.	Procedimientos .....	68
2.3.1.	Procedimiento experimental.....	68
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>		<b>94</b>
3.1.	Caracterización de Agregados .....	94
3.1.1.	Caracterización del agregado fino .....	94
3.1.2.	Caracterización del agregado grueso.....	95
3.1.3.	Caracterización del agregado de polipropileno reciclado.....	96
3.2.	Diseño de mezcla del concreto .....	97
3.2.1.	Diseño de mezcla para 1m <sup>3</sup> .....	97
3.2.2.	Diseño para la elaboración de probetas.....	98
3.3.	Ensayos de concreto en estado fresco .....	98
3.3.1.	Asentamiento .....	98
3.3.2.	Temperatura .....	99
3.3.3.	Peso Unitario.....	99
3.4.	Ensayos de concreto en estado endurecido .....	99
3.4.1.	Resistencia a la compresión .....	99
3.4.2.	Succión capilar.....	101
3.5.	Comparación de costos productivos para 1m <sup>3</sup> de concreto.....	102
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>		<b>103</b>
4.1.	Discusión .....	103
4.1.1.	Caracterización de los agregados.....	103
4.2.1.	Ensayos en concreto fresco .....	106
4.3.1.	Ensayos en concreto endurecido .....	109
4.2.	Conclusiones.....	117
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>119</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>120</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>123</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Valores de asentamientos recomendados para concretos de diferentes grados de manejabilidad. ....	31
Tabla N° 2: Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción. ....	32
Tabla N° 3: Hipótesis General. ....	48
Tabla N° 4: Hipótesis específica para la resistencia a la compresión. ....	48
Tabla N° 5: Hipótesis específica para la absorción capilar. ....	49
Tabla N° 6: Operacionalización de variables. ....	50
Tabla N° 7: Esquema de diseño cuasi experimental. ....	51
Tabla N° 8: Población muestral. ....	53
Tabla N° 9: Matriz de diseño. ....	54
Tabla N° 10: Secuencia experimental. ....	69
Tabla N° 11: Ubicación exacta en coordenadas. ....	70
Tabla N° 12: Granulometría del agregado fino. ....	72
Tabla N° 13: Requisitos granulométricos del agregado grueso, huso 57. ....	73
Tabla N° 14: Requisitos granulométricos del agregado de polipropileno reciclado, huso 56. ....	74
Tabla N° 15: Formato de granulometría para los tres tipos de agregados. ....	74
Tabla N° 16: Formato de contenido de humedad. ....	76
Tabla N° 17: Formato de peso específico y absorción del agregado grueso. ....	77
Tabla N° 18: Formato de peso específico y absorción del agregado fino. ....	78
Tabla N° 19: Formato de peso específico del polipropileno reciclado. ....	79
Tabla N° 20: Capacidad de los recipientes. ....	80
Tabla N° 21: Requisitos para los recipientes. ....	80
Tabla N° 22: Formato de peso unitario suelto y compactado de los agregados. ....	81
Tabla N° 23: Formato de contenido de vacíos. ....	82
Tabla N° 24: Formato de contenido de finos. ....	83
Tabla N° 25: Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado. ....	84
Tabla N° 26: Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión. ...	84
Tabla N° 27: Volumen de agregado grueso (m <sup>3</sup> ) por volumen unitario de concreto. ....	85
Tabla N° 28: Formato de proporciones de diseño de mezcla final. ....	88
Tabla N° 29: Formato de temperatura del concreto es estado fresco. ....	88
Tabla N° 30: Formato de asentamiento del concreto en estado fresco. ....	89
Tabla N° 31: Volumen del medidor en función al tamaño nominal del agregado. ....	89
Tabla N° 32: Formato de peso unitario del concreto en estado fresco. ....	91
Tabla N° 33: Formato de la resistencia a la compresión. ....	92
Tabla N° 34: Formato de velocidad de succión capilar. ....	92
Tabla N° 35: Formato de capacidad de succión capilar. ....	93
Tabla N° 36: Resultados promedio de los ensayos de caracterización del agregado fino. ....	94
Tabla N° 37: Resultados promedio de los ensayos de caracterización del agregado grueso. ....	95
Tabla N° 38: Resultados promedio de los ensayos de caracterización del agregado de polipropileno reciclado. ....	96
Tabla N° 39: Resultados obtenidos para el diseño de mezclas de 1m <sup>3</sup> . ....	97
Tabla N° 40: Diseños de mezcla para la elaboración de testigos. ....	98
Tabla N° 41: Resultados promedio del ensayo de asentamiento. ....	98
Tabla N° 42: Resultados promedio del ensayo de temperatura. ....	99
Tabla N° 43: Resultados promedio del ensayo de peso unitario. ....	99
Tabla N° 44: Resultados promedio del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días. ....	100
Tabla N° 45: Resultados promedio del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días. ....	100
Tabla N° 46: Resultados promedio del ensayo de succión capilar. ....	101
Tabla N° 47: Resultados promedio del ensayo de absorción capilar. ....	102

Tabla N° 48: Comparación de costos productivos estimados para 1m <sup>3</sup> de concreto. ....	102
Tabla N° 49: Matriz de consistencia. ....	123
Tabla N° 50: Resultados de granulometría del agregado fino.....	124
Tabla N° 51: Datos de la muestra del agregado fino.....	124
Tabla N° 52: Resultados de granulometría del agregado grueso. ....	124
Tabla N° 53: Datos de la muestra del agregado grueso. ....	125
Tabla N° 54: Resultados de granulometría del agregado de polipropileno reciclado. ....	125
Tabla N° 55: Datos de la muestra del agregado grueso plástico. ....	125
Tabla N° 56: Resultados de contenido de humedad del agregado fino.....	125
Tabla N° 57: Resultados de contenido de humedad del agregado grueso.....	126
Tabla N° 58: Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	126
Tabla N° 59: Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso. ....	126
Tabla N° 60: Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado de polipropileno reciclado. ....	127
Tabla N° 61: Resultados del contenido de finos del agregado fino. ....	127
Tabla N° 62: Resultados del contenido de finos del agregado grueso. ....	127
Tabla N° 63: Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso.....	127
Tabla N° 64: Resultados de peso específico y absorción del agregado fino. ....	128
Tabla N° 65: Resultados de peso específico del agregado de polipropileno reciclado. ....	128
Tabla N° 66: Resultados de contenido de vacíos de los agregados fino-suelto. ....	128
Tabla N° 67: Resultados de contenido de vacíos del agregado grueso-suelto. ....	129
Tabla N° 68: Resultados de contenido de vacíos del agregado de polipropileno reciclado -suelto. .....	129
Tabla N° 69: Resultados de contenido de vacíos del agregado fino-compacto. ....	129
Tabla N° 70: Resultados de contenido de vacíos del agregado grueso-compacto. ....	129
Tabla N° 71: Resultados de contenido de vacíos del agregado de polipropileno reciclado -compacto. .....	130
Tabla N° 72: Diseño de mezcla para un m <sup>3</sup> por el método ACI 211.....	130
Tabla N° 73: Diseño de mezcla para 60 probetas. ....	131
Tabla N° 74: Resultados del ensayo de temperatura del concreto. ....	131
Tabla N° 75: Resultados del ensayo de asentamiento del concreto. ....	132
Tabla N° 76: Resultados del ensayo de peso unitario del concreto patrón. ....	132
Tabla N° 77: Resultados del ensayo de peso unitario del concreto al 25% de Agregado de polipropileno reciclado.....	132
Tabla N° 78: Resultados del ensayo de peso unitario del concreto al 50% de agregado de polipropileno reciclado.....	132
Tabla N° 79: Resultados del ensayo de peso unitario del concreto al 75% de agregado de polipropileno reciclado.....	133
Tabla N° 80: Resultados del ensayo de peso unitario del concreto al 100% de agregado de polipropileno reciclado.....	133
Tabla N° 81: Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días... 133	133
Tabla N° 82: Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días. 134	134
Tabla N° 83: Resultados del incremento de masa para el ensayo de succión capilar. ....	134
Tabla N° 84: Capacidad de succión capilar. ....	135
Tabla N° 85: Velocidad de absorción de agua. ....	138
Tabla N° 86: Costo por m <sup>3</sup> de agregado de polipropileno reciclado.....	138
Tabla N° 87: Costo unitario por m <sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm <sup>2</sup> con 0% de agregado de polipropileno reciclado.....	139
Tabla N° 88: Costo unitario por m <sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm <sup>2</sup> con 25% de agregado de polipropileno reciclado.....	139
Tabla N° 89: Costo unitario por m <sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm <sup>2</sup> con 50% de agregado de polipropileno reciclado.....	139
Tabla N° 90: Costo unitario por m <sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm <sup>2</sup> con 75% de agregado de polipropileno reciclado.....	139

Tabla N° 91: Costo unitario por m <sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm <sup>2</sup> con 100% de agregado de polipropileno reciclado.....	140
Tabla N° 92: Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión a los 7 días.....	141
Tabla N° 93: Prueba de homogeneidad de varianza de la resistencia a la compresión a los 7 días. .....	142
Tabla N° 94: Parámetros del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días.....	142
Tabla N° 95 : Contrastación de hipótesis de los parámetros de la resistencia a la compresión a los 7 días. ....	142
Tabla N° 96: Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión a los 28 días.....	143
Tabla N° 97: Prueba de homogeneidad de varianza de la resistencia a la compresión a los 28 días. .....	143
Tabla N° 98: Parámetros del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.....	144
Tabla N° 99: Contrastación de hipótesis de los parámetros de la resistencia a la compresión a los 28 días. ....	145
Tabla N° 100: Prueba de normalidad de succión capilar. ....	145
Tabla N° 101: Prueba de homogeneidad de varianza de la succión capilar.....	146
Tabla N° 102: Parámetros del ensayo de absorción capilar. ....	146
Tabla N° 103: Contrastación de hipótesis de los parámetros de la resistencia a la absorción capilar. .....	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Restos descompuestos de un albatros contaminado con plástico debido a su ingesta.	16
Figura N° 2: Nivel de contaminación del botadero "El Milagro".	18
Figura N° 3: Criterio del balance de volúmenes absolutos. Pasquel, 1999.	26
Figura N° 4: Homogeneidad del concreto normal. CEMEX, 2019.	30
Figura N° 5: Exudación del concreto. Bascoy, 2013.	33
Figura N° 6: Patología contracción placa tránsito peatonal. Moreno, 2020.	35
Figura N° 7: Estados de deformación de un material. Osorio, 2018.	36
Figura N° 8: Esfuerzo - Deformación. Osorio, 2018.	37
Figura N° 9: Valores permisibles del agua. Abanto, 1996, p.21.	42
Figura N° 10: Ubicación de la cantera. Google maps.	70
Figura N° 11: Agregado grueso plástico. Elaboración propia, 2020.	71
Figura N° 12: Curva granulométrica del agregado fino. Elaboración propia, 2020.	95
Figura N° 13: Curva granulométrica del agregado grueso. Elaboración propia, 2020.	96
Figura N° 14: Curva granulométrica del agregado de polipropileno reciclado. Elaboración propia, 2020.	97
Figura N° 15: Gráfico de los resultados promedios del ensayo de asentamiento. Elaboración propia, 2020.	107
Figura N° 16: Gráfico de los resultados promedios del ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco. Elaboración propia, 2020.	109
Figura N° 17: Gráfico de los resultados promedios de la resistencia a compresión a los 7 días de curado del concreto en estado endurecido. Elaboración propia, 2020.	110
Figura N° 18: Gráfico de los resultados promedios de la resistencia a compresión a los 28 días de curado del concreto en estado endurecido. Elaboración propia, 2020.	111
Figura N° 19: Gráfico de absorción en función del tiempo de los distintos porcentajes de agregado de polipropileno reciclado. Elaboración propia, 2020.	114
Figura N° 20: Velocidad de absorción capilar. Elaboración propia, 2020.	115
Figura N° 21: Costo de concreto por m <sup>3</sup> . Elaboración propia, 2020.	116
Figura N° 23: Velocidad de succión capilar del concreto con 25% de agregado de polipropileno reciclado.	136
Figura N° 22: Velocidad de succión capilar del concreto con 0% de agregado de polipropileno reciclado.	136
Figura N° 24: Velocidad de succión capilar del concreto con 50% de agregado de polipropileno reciclado.	137
Figura N° 25: Velocidad de succión capilar del concreto con 50% de agregado de polipropileno reciclado.	137
Figura N° 26: Velocidad de succión capilar del concreto con 100% de agregado de polipropileno reciclado.	138
Figura N° 27: reciclaje de tapas para obtener el agregado de polipropileno reciclado.	148
Figura N° 28: Proceso de fundición.	148
Figura N° 29: Resultado del polipropileno reciclado en forma de agregado grueso.	148
Figura N° 30: Materiales para la elaboración de testigos.	148
Figura N° 31: Agregado de polipropileno reciclado para granulometría.	148
Figura N° 32: Tamizado manual de los agregados.	148
Figura N° 33: Peso unitario compactado del agregado fino.	148
Figura N° 34: Peso unitario del agregado grueso.	148
Figura N° 35: Peso específico del agregado fino.	148
Figura N° 36: Peso específico del agregado fino.	148
Figura N° 37: Peso unitario del concreto en estado fresco.	148
Figura N° 38: Ensayo de asentamiento del concreto.	148
Figura N° 39: Ensayo de temperatura del concreto.	148

Figura N° 40: Preparación de la mezcla en el trompo mezclador. ....	148
Figura N° 41: Elaboración de testigos.....	148
Figura N° 42: Proceso de curado de los testigos.....	148
Figura N° 43: Ensayo de resistencia a la compresión. ....	148
Figura N° 44: Extracción del testigo de la máquina de compresión axial.....	148
Figura N° 45: Interior del testigo con el 100% de polipropileno reciclado.....	148
Figura N° 46: Testigos ensayados de la resistencia a la compresión. ....	148
Figura N° 47: Corte de testigos para realizar el ensayo de succión capilar. ....	148
Figura N° 48: Muestras del ensayo de succión capilar. ....	148
Figura N° 49: Ensayo de succión capilar. ....	148
Figura N° 50: Ensayo de succión capilar. ....	148

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1: Promedio o media aritmética. ....	55
Ecuación N° 2: Desviación estándar. ....	56
Ecuación N° 3: Suma de cuadrados para el factor A. ....	58
Ecuación N° 4: Suma de cuadrados para el factor B. ....	58
Ecuación N° 5: Suma de cuadrados de la interacción de los factores (D). ....	58
Ecuación N° 6: Suma de cuadrados totales. ....	58
Ecuación N° 7: Suma de cuadrados del error. ....	59
Ecuación N° 8: Media de cuadrados para el factor A. ....	59
Ecuación N° 9: Media de cuadrados para el factor B. ....	59
Ecuación N° 10: Media de cuadrados de la interacción de los factores (AB). ....	59
Ecuación N° 11: Media de cuadrados del error. ....	59
Ecuación N° 12: Fo del factor A. ....	59
Ecuación N° 13: Fo del factor B. ....	60
Ecuación N° 14: Fo del factor AB. ....	60
Ecuación N° 15: Cálculo del módulo de finura. ....	75
Ecuación N° 16: Contenido de humedad total. ....	75
Ecuación N° 17: Peso específico de masa. ....	76
Ecuación N° 18: Peso específico saturado superficialmente seco. ....	76
Ecuación N° 19: Peso específico aparente. ....	76
Ecuación N° 20: Absorción. ....	77
Ecuación N° 21: Peso específico de masa. ....	78
Ecuación N° 22: Peso específico saturado superficialmente seco. ....	78
Ecuación N° 23: Peso específico aparente. ....	78
Ecuación N° 24: Absorción. ....	78
Ecuación N° 25: Volumen desplazado. ....	79
Ecuación N° 26: Peso específico del agregado grueso artificial. ....	79
Ecuación N° 27: Peso unitario. ....	80
Ecuación N° 28: Contenido de vacíos. ....	81
Ecuación N° 29: Contenido de finos. ....	82
Ecuación N° 30: Cantidad de cemento. ....	85
Ecuación N° 31: Cantidad de agua. ....	85
Ecuación N° 32: Cantidad de aire incorporado. ....	86
Ecuación N° 33: Peso del agregado grueso. ....	86
Ecuación N° 34: Cantidad de volumen de agregado grueso. ....	86
Ecuación N° 35: Cantidad de agregado fino. ....	86
Ecuación N° 36: Peso del agregado fino. ....	86
Ecuación N° 37: Corrección por humedad de los agregados. ....	87
Ecuación N° 38: Corrección por absorción de los agregados. ....	87
Ecuación N° 39: Aporte de agua a la mezcla. ....	87
Ecuación N° 40: Agua efectiva de la mezcla. ....	87
Ecuación N° 41: Peso unitario del concreto en estado fresco. ....	90
Ecuación N° 42: Rendimiento. ....	90
Ecuación N° 43: Rendimiento relativo. ....	90
Ecuación N° 44: Contenido de aire del concreto. ....	91
Ecuación N° 45: Resistencia a la compresión. ....	91

## RESUMEN

Aligerar el peso del concreto mediante la transformación físico-química de un material muy contaminante como plástico y generando un segundo uso de este, minimizando los impactos ambientales que genera tanto el desperdicio del plástico como la depredación de los recursos naturales como la pérdida, es por ello que en esta investigación se reemplazó el agregado grueso de un concreto convencional por agregados plásticos al 25%, 50% 75% y 100% y se realizaron los diseños de acuerdo con lo establecido en la norma ACI 211.

Se realizaron ensayos de caracterización a los agregados naturales y el agregado de polipropileno reciclado; al concreto en estado fresco se le evaluó el asentamiento, temperatura y peso unitario, para los ensayos en estado endurecido se elaboraron un total de 45 probetas cilíndricas de 4" x 8", evaluando la resistencia a compresión promedio a 7 y 28 días de curado. También se elaboraron 15 probetas de 4" x 8" para determinar la succión capilar promedio a 28 días de curado.

En base a los resultados obtenidos se determinó que la mejor opción para la fabricación de concreto estructural es con un 25% de agregado de concreto plástico ya que a los 28 días de curado alcanzó una resistencia promedio de 214 kgf/cm<sup>2</sup>, una velocidad de succión capilar promedio de 16.108 g/ (m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) y su costo de producción es de S/. 233.21 Nuevos soles.

**Palabras clave:** Concreto, resistencia a la compresión, succión capilar, costo.

## ABSTRACT

Lighten the weight of concrete through the physical-chemical transformation of a highly polluting material such as plastic and generating a second use of it, minimizing the environmental impacts generated by both the waste of plastic and the depredation of natural resources as lost, is for Therefore, in this investigation, the coarse aggregate of a conventional concrete was replaced by plastic aggregates at 25%, 50%, 75% and 100% and the designs were made in accordance with the provisions of the ACI 211 standard.

Characterization tests were carried out on natural aggregates and plastic aggregates; Concrete in a fresh state was evaluated for settlement, temperature and unit weight, for the hardened state tests, a total of 45 4 "x 8" cylindrical specimens were made, evaluating the average compressive strength at 7 and 28 days after curing. . Also, 15 4 "x 8" test tubes were made to determine the average capillary suction at 28 days of curing.

Based on the results obtained, it was determined that the best option for the manufacture of structural concrete is with 25% plastic concrete aggregate, since at 28 days of curing it reached an average resistance of 214 kgf /cm<sup>2</sup>, a suction speed average capillary of 16.108 g/ (m<sup>2</sup> \* s<sup>1/2</sup>) and its production cost is S /. 233.21 Nuevos soles.

**Key words:** Concrete, compressive strength, capillary suction, cost.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

En la actualidad, el crecimiento de la población y la desproporcionada actividad humana se ha expandido por todo el mundo provocando que la industria de la construcción sea una actividad en aumento, *“El sector Construcción se incrementó en 3,84% reflejado en el aumento del consumo interno de cemento (4,95%). Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019) provocando un constante e importante crecimiento para la economía del país, social y demográfico. Además, la publicación digital del capítulo Peruano del Instituto Americano del Concreto PERÚ menciona que “existe una demanda de infraestructura moderna capaz de garantizar seguridad, comodidad, economía, y además ser amigable con el medio ambiente” ACI (2015).*

Al hablar sobre la explotación de los agregados naturales el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente indica que: La arena y la grava se extraen en todo el mundo y representan el mayor volumen de material sólido extraído a nivel mundial. Formados por procesos erosivos durante miles de años, ahora se extraen a un ritmo mucho mayor que su renovación. Además, el volumen que se extrae está teniendo un impacto importante en los ríos, deltas y ecosistemas costeros y marinos, resulta en la pérdida de tierra por erosión fluvial o costera, disminución del nivel freático y disminución en la cantidad de suministro de sedimentos. A pesar de las cantidades colosales de arena y grava que se utilizan, nuestra creciente dependencia de ellas y el impacto significativo que su extracción tiene en el medio ambiente, este problema ha sido ignorado en su mayoría por los responsables políticos y sigue siendo en gran parte desconocido por el público en general. PNUMA (2014).

Es importante destacar que en el Perú existen una variedad de canteras tanto legales como ilegales que producen agregados para el sector de la construcción que tiene una alta demanda, sin embargo algunos de esos agregados no garantizan que sean aptos para la construcción y la explotación masiva de las canteras tiene como resultado una degradación ambiental de la corteza terrestre, ya que para conseguir una tonelada de agregado para el concreto, necesariamente se remueven varias toneladas de suelo superficial (Arangurí, 2016).

Por otra parte, la Organización de Naciones Unidas señala que “el 90% de toda la basura marina en los océanos es plástico y las pérdidas que genera en los ecosistemas marinos asciende a 8.000 millones de dólares” ONU (2017). Según la investigación de Nature Research “el continente de plástico es una isla llena de basura al norte del océano Pacífico mide hoy casi tres veces más que Francia. Son 1.600.000 km<sup>2</sup> en donde se acumulan aproximadamente 1,8 billones de piezas de plástico”. Lebreton (2018).

El director ejecutivo de la Organización de Naciones Unidas Medioambiente indicó que: La tendencia en el uso de plástico da como resultado que cada año se arrojen a los océanos alrededor de 13 millones de toneladas de residuos de este material con una población en auge impulsando la demanda, se espera que la producción llegue a 500 millones para el año 2025 y 619 millones de toneladas para el año 2030. (Solheim, 2017).

El ambientalista de la ONG Sierra Club explicó que el plástico “se va descomponiendo, se va rompiendo en fragmentos cada vez más pequeños, lo que se llama micro plástico. Esto tiene unas consecuencias nefastas para la flora y la fauna de los océanos. Lo contamina todo, los peces que nosotros comemos, en prácticamente todos los océanos”. Sierra (2018). Además, el especialista en conservación marina señala que “Se hizo un muestreo de especies en comercios, en negocios, en el mercado, y se descubrió que el 70% de los peces tenía pequeños plásticos en sus tejidos internos. Estamos comiendo el plástico que hemos echado

en los océanos”. Schwartzman (2017). Según estimaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente si continuamos desechando productos plásticos a nuestros mares al actual ritmo, para 2050 habrá más plástico que peces (PNUMA, 2014).



**Figura N° 1:** Restos descompuestos de un albatros contaminado con plástico debido a su ingesta.

En Colombia, la directora de la ONG ambientalista Greenpeace indicó que *“El panorama es aterrador porque los lugares más preciados en el país, como manglares, mares y ríos, sufren una contaminación por plástico inmensa”*. Gómez (2018) Además, precisó que los colombianos realizan un consumo per cápita del 56% de plástico de uso único como pitillos, cubiertos, tapas de refresco o envases, estableciendo que generen 12 millones de toneladas de residuos sólidos al año y solo reciclar el 17%. En el caso de Bogotá, la directora señaló que la cifra de residuos sólidos por día es de 7 500 toneladas, reciclando un 15%. Estos datos *“permiten establecer que se necesita lanzar una voz de alarma con respecto al verdadero tsunami de plástico que enfrentan sitios como las costas colombianas”*.

En Ecuador la periodista del portal Plan V precisó que *“un ecuatoriano genera al día 0,86 kilogramos de basura. La cifra parece mínima. Pero en realidad al multiplicarla por la población del país representa millones de desperdicios que se entierran diariamente”*. Morán

(2020). Además, la fundadora de la iniciativa ecuatoriana PlastiCo. Project explicó que "Desde su inicio, el plástico tiene un impacto fuerte en la tierra, porque viene de un proceso de extractivismo donde se talan un millón de bosques, que son únicos en el planeta, para poder extraer su materia prima (petróleo y gas natural) de la tierra". Lema, A. (2019). Según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Censos el 96% de la basura se entierra y solo se recicla el 4%. De lo que se entierra, el 66,5% es orgánico y el 33,5% restante corresponde a desechos inorgánicos que clasificados adecuadamente pueden ser reciclados en su mayoría. INEC (2016).

El Perú el jefe de la Unidad de Negocios de Reciclado de San Miguel Industrias PET señaló que se producen 23 000 toneladas de basura diaria y solo se recicla el 15%, si bien una gran parte de residuos sólidos podrían reciclarse, esto no sucede. Gran parte de este material aprovechable termina en el mar, otro punto preocupante es que actualmente funcionan 12 rellenos sanitarios autorizados en todo el país y aproximadamente el 90% de la basura tiene como fin uno de los 1 850 botaderos informales estimados. (Escrivá, 2017).

Según el informe realizado por el Ministerio del Ambiente y Recicla.pe menciona que la cultura del reciclaje en Perú está atrasada y que solo el 3% de los peruanos recicla la basura que genera diariamente. La Ministra del Ambiente, "señaló que el 43% de los residuos plásticos no tiene una disposición adecuada y existe una acumulación anual de 708 000 toneladas". Además mencionó que La Libertad está dentro de los 10 departamentos que generó el mayor número de residuos sólidos con 0,52 (kg/hab/día) per cápita. (Muñoz, 2018)

La gran cantidad de los residuos reciclables de la ciudad de Trujillo han constituido un problema difícil de solucionar ya que la mayoría son acumulados en botaderos e incinerados, la Municipalidad Provincial de Trujillo en su portal institucional menciona que el Botadero "El Milagro" ubicado en el centro poblado El Milagro, distrito de Huanchaco, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad, ocupa el puesto 50 dentro de los focos más

infecciosos del mundo, en él se produce la emisión de malos olores, quema de residuos sólidos, existe presencia de aves, roedores y vectores, lo que genera un riesgo. (MPT, 2016).



**Figura N° 2:** Nivel de contaminación del botadero "El Milagro".

Es por esto que se pretende utilizar el agregado grueso de polipropileno reciclado como una alternativa innovadora en el mundo de la construcción para disminuir la extracción que causa daños en la corteza terrestre y también minimizar la acumulación de residuos sólidos reciclables tanto en los botaderos y en los mares.

## 1.2. Antecedentes

### I. “SUCCIÓN CAPILAR EN HORMIGONES RECICLADOS EXPUESTOS A DIFERENTES CONDICIONES DE CURADO”

Taus & Zega (2006), tuvieron como objetivo evaluar la durabilidad de los hormigones reciclados con aire intencionalmente incorporado sometidos a diferentes condiciones de curado, frente al mecanismo de transporte por succión capilar, comparativamente con el de un hormigón convencional. Se determinó que cuando los porcentajes de reemplazo son bajos las propiedades de los hormigones reciclados no se ven modificadas con relación a las de los hormigones convencionales, mientras que para porcentajes superiores al 50 %

las diferencias comienzan a hacerse más notorias, fundamentalmente en el aspecto durable. En este trabajo se evaluó, por medio del ensayo de succión capilar, la influencia del tipo de curado sobre hormigones elaborados con distintos porcentajes de agregado grueso reciclado (50 y 100 %), comparativamente con el de hormigones de similares características elaborados con agregados gruesos naturales, habiéndose empleado en todos los hormigones un aditivo incorporador de aire. Desde el punto de vista de la durabilidad, los resultados mostraron que la deficiencia de curado resulta de mayor importancia que la incorporación de agregados reciclados. Bajo un curado apropiado, con la incorporación intencional de aire y acompañado de una baja razón a/c, el comportamiento de todos los hormigones mejora sustancialmente.

Esta investigación se obtuvo información muy relevante de acuerdo con los resultados obtenidos en los distintos ensayos se determina que los hormigones reciclados de baja razón a/c y con aire incorporado, curados durante 28 días, presentan un buen comportamiento, aun cuando se empleó el 100% de agregados gruesos reciclados.

## II. “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO SOMETIDO A AMBIENTES SEVEROS: ALTAS, BAJAS TEMPERATURAS Y AMBIENTES SALINOS”.

Mestanza, J. (2016), tuvo como objetivo principal analizar la resistencia a compresión del concreto con adición de fibras de polipropileno sometido a ambientes severos durante la etapa de curado: altas, bajas temperaturas y

ambientes salinos. En este trabajo se procedió a realizar los ensayos respectivos de los componentes del concreto: agregado fino, grueso y cemento, ensayos de granulometría, densidad aparente suelta y compactada de los agregados y de la mezcla, densidad real del agregado fino, grueso y cemento, capacidad de absorción de los agregados, con las especificaciones de la norma INEN, donde se obtuvo porcentaje óptimo de agregado fino y grueso, para posteriormente elaborar y analizar los especímenes que en estado fresco alcanzaron un asentamiento de 6 centímetros y cuya consistencia era blanda. Se determinó la resistencia a compresión de los especímenes curados en los distintos ambientes severos fueron: El concreto curado en baja temperatura 3°C, tuvo un aumento en su densidad de 1,64% y una disminución de 15 % en su resistencia a la compresión. Los especímenes curados en alta temperatura 45°C, aumento su densidad en un 2,13% y se incrementó en un 15%, en su resistencia a compresión. La presencia de cloruro de sodio provocó que en los cilindros curados con agua de mar su densidad aumento en un 2,36% y su resistencia a la compresión disminuyo en un 27%.

Del siguiente trabajo de investigación se pudo determinar que el concreto reforzado con 0,2 % de fibra, mejora la adherencia entre los componentes del concreto, porque luego de los ensayos a compresión es visible que el conjunto permanece unido y no se desprende fácilmente. Además al agregar fibra de polipropileno en un 0,2% del volumen de concreto, se obtuvo una mezcla con consistencia blanda en vista de que su asentamiento es de 6 centímetros, que está en el rango de diseño (6-9 cm). Por otro lado, con la adición de fibras dificulto la trabajabilidad y la compactación de la mezcla.

### III. "OBTENCIÓN DE UNA MEZCLA DE CONCRETO CON RESIDUOS PLÁSTICOS DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES".

Vargas & Polo (2017), tuvieron como objetivo realizar un diseño de 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. En el desarrollo de esta investigación se pretendió establecer la viabilidad de implementar los desechos electrónicos de tipo plástico (E- Waste) en la elaboración de concreto no estructural usado en la construcción mediante pruebas para conocer la resistencia a la compresión de mezclas con 40%, 50% y 60% de agregado de polipropileno reciclado reemplazado con base a la cantidad de agregado grueso obtenido para un diseño de mezcla de  $f'c$  21 MPa realizado con materiales convencionales implementados tradicionalmente en la elaboración de hormigón, todo esto teniendo en cuenta los estándares de durabilidad y resistencia requeridos.

De esta tesis se rescató que el concreto sin plástico alcanza a los 28 días el 91% de la resistencia de diseño, obteniendo como resultado un valor promedio de 2728 psi, y en el caso de los concretos con plástico adicionado, los valores de resistencia a los 28 días (2147 psi, 1521 psi, 1803 psi) se consideraron satisfactorios teniendo en cuenta que estos concretos se utilizarán en la elaboración de elementos no estructurales como muros divisorios.

### IV. "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO INCORPORANDO PET RECICLADO".

Miller, M. (2016), tuvo como objetivo determinar la variación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido sustituyendo de manera parcial el agregado grueso por PET (Tereftalato de Polipropileno) reciclado y utilizando un procedimiento para diseñar la mezcla de concreto, teniendo como base las tablas elaboradas por el comité ACI-211.1-91 y la metodología del agregado global , así determinó las propiedades físicas de los agregados utilizados, se estudió diferentes dosificaciones de mezcla del concreto patrón, con relaciones agua/cemento (0.60, 0.65, 0.70) y mezclas de concreto con reemplazo de 5%, 10% y 15% de PET reciclado en peso del agregado grueso. Una de las conclusiones fundamentales es que la resistencia a la compresión axial con la relación agua/cemento (0.60, 0.65, 0.70), con una edad a los 28 días, respecto a la muestra con de 5%, 10% y 15% de PET disminuye su esfuerzo, con una media de 24%, 37% y 67% frente a la muestra patrón. Sin embargo, las muestras con de 5% y 10% PET reciclado se obtuvo resistencias mayores que  $175 \text{ kg/cm}^2$  y  $140 \text{ kg/cm}^2$  suficiente para realizar construcciones de elementos no estructurales.

Esta investigación contribuirá de manera positiva, ya que abre un panorama sobre las relaciones agua/cemento y la adición del agregado grueso artificial PET frente a la resistencia de la compresión axial, dejando un aporte en los resultados como resistencias mayores que  $175 \text{ kg/cm}^2$  la cual se podría trabajar para viviendas de interés social.

## V. "EFECTO DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA CONCRETOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE $210 \text{ KG/CM}^2$ Y $280$

KG/CM<sup>2</sup>, ELABORADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA DE COCHAMARCA – PASCO”.

Carhuapoma, W. (2018), tuvo como objetivo determinar el efecto que tienen de las fibras de polipropileno al adicionar en el concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , elaborado con agregados de la cantera de Cochamarca. Además se determinaron las propiedades físicas y mecánicas tanto de los agregados como del cemento a utilizar. En base a la resistencia a la compresión simple a la edad de 28 días en probetas cilíndricas de prueba, se seleccionó el Método propuesto por el A.C.I. para la obtención definitiva de la dosificación para la preparación de la mezcla, sin refuerzo, de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y  $280 \text{ kg/cm}^2$ . Luego se incorporaron, por separado, tres concentraciones distintas de fibra de polipropileno al mismo concreto definitivo obtenido anteriormente, con el objeto de seleccionar aquella que proporcione mejoras a la resistencia a la compresión.

Esta investigación proporciona información trascendental ya que para los diseños de concretos  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , adicionando 9kg y 5kg respectivamente de macro fibra de polipropileno le agrega una resistencia considerable al concreto en 12.03% y 13.32% y tienen mejores resultados que las fibras de acero. Es por ello que se decide trabajar esta investigación con un material tan versátil como el polipropileno al tener reacciones positivas con el concreto.

**VI. “INFLUENCIA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN UN CONCRETO CONVENCIONAL, TRUJILLO 2018”.**

Rodrich & Silva (2018), tuvieron como objetivo que el concreto pueda ser recuperado, triturado y reutilizado como agregado en nuevos proyectos, para así contribuir con la construcción sostenible, reduciendo los impactos ambientales y abriendo nuevas alternativas de negocio, por lo cual en esta investigación se reemplazó al agregado grueso de un concreto convencional por agregado de concreto reciclado procedente de la demolición de una vereda en la ciudad de Trujillo, en diferentes cantidades (15%, 30% , 45% y 60% en peso respecto al agregado grueso), variando las relaciones agua/cemento (0.55, 0.65 y 0.70) diseñando las mezclas de acuerdo a la norma ACI 211. Se realizaron ensayos de caracterización a los agregados naturales y agregado reciclado; al concreto en estado fresco se le evaluó el asentamiento, temperatura y peso unitario, para los ensayos en estado endurecido se elaboraron un total de 270 probetas cilíndricas de 4" x 8", evaluando la resistencia a compresión promedio a 3, 7 y 28 días de curado. Así mismo se elaboraron 30 probetas de 4"x8" para determinar la succión capilar promedio a 28 días de curado. En base a los resultados obtenidos se determinó que la mejor opción para la fabricación de concreto estructural es utilizar una  $R/a/c = 0.65$  con 30% de agregado de concreto reciclado ya que a los 28 días de curado alcanzó una resistencia promedio de  $225.86 \text{ kgf/cm}^2$ , una velocidad de succión capilar promedio de  $14.305 \text{ g/ (m}^2 * \text{s}^{1/2})$  y su costo de producción es de S/. 208.28 Nuevos soles y para la fabricación de concreto no estructural se recomienda utilizar una  $R/a/c = 0.70$  con 15% de agregado de concreto reciclado ya que a los 28 días de curado alcanzó una resistencia promedio de  $190.87 \text{ kgf/cm}^2$ , una velocidad de succión capilar promedio de  $16.971 \text{ g/ (m}^2 * \text{s}^{1/2})$  y su costo de producción es de S/. 198.26 nuevos soles.

Esta investigación contribuirá de manera positiva gracias a que nos brinda un panorama más amplio acerca de cómo un agregado reciclado sustituye al agregado grueso natural en el diseño de mezcla de concreto sin perder sus propiedades mecánicas más importantes, como la resistencia a compresión axial, succión capilar y peso unitario. Además, de brindar idea del costo de producción de un concreto.

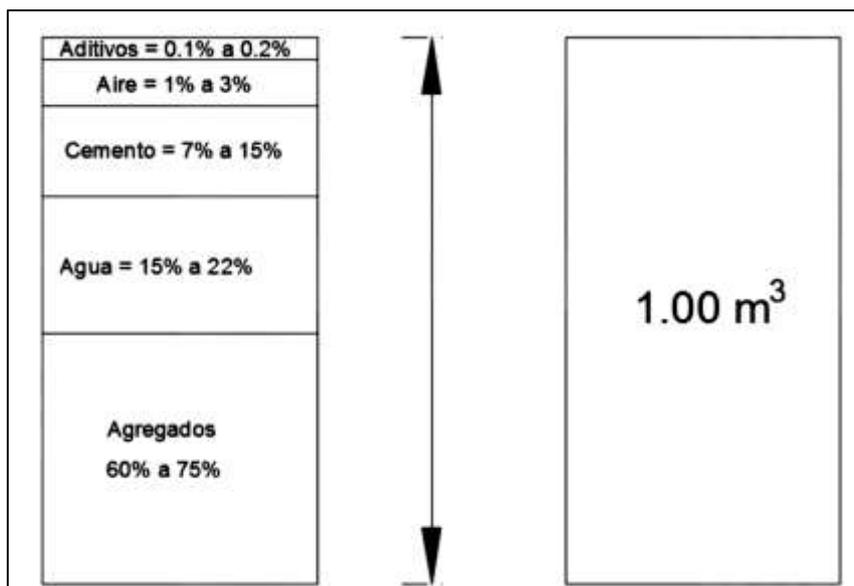
### 1.3. Bases teóricas

#### 1.3.1. Concreto

##### ➤ **Definición.**

El concreto es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia. El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos que mejora o modifican algunas propiedades del concreto. Abanto (1996, p. 11).

La cantidad de los componentes del concreto al realizar la mezcla está ligado a factores como la resistencia, especificada en los planos de estructuras. Además, la resistencia de las columnas y de los techos debe ser superior a la resistencia de cimientos y falsos pisos. Después del vaciado, es necesario garantizar que el cemento reaccione químicamente y desarrolle su resistencia. Esto sucede principalmente durante los 7 primeros días, por lo cual es muy importante mantenerlo húmedo en ese tiempo. A este proceso se le conoce como curado del concreto. Orihuela, Orihuela, lazo & Ulloa. (2010).



**Figura N° 3:** Criterio del balance de volúmenes absolutos.  
Pasquel, 1999.

### ➤ Tipos de concretos.

En la actualidad se puede encontrar muchos tipos de concretos y cada uno de ellos está diseñado para un uso en específico. Debido a la gran demanda de concreto en el mundo, ha crecido exponencialmente las investigaciones y nuevas fórmulas para brindar un producto que sea resistente, económico y amigable con el ambiente, pero en la construcción de una vivienda se usan principalmente tres y además en este caso se está incorporando información del concreto ligero debido a que el tema de investigación lo amerita:

- Concreto Simple.

Es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso y agua. En la mezcla el agregado grueso deberá estar totalmente envuelto por la pasta de cemento, el agregado fino deberá rellenar los espacios entre el agregado y a la vez estar recubierto por la misma pasta. Abanto (1996, p. 12).

- Concreto ciclópeo.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones denomina al concreto ciclópeo como aquel concreto simple que es colocado conjuntamente con piedra desplazadora y que tiene las siguientes características:

- ✓ La resistencia mínima del concreto de la matriz será  $f'c = 10$  MPa.
- ✓ La piedra desplazadora no excederá del 30% del volumen total de concreto ciclópeo y será colocada de manera homogénea, debiendo quedar todos sus bordes embebidos en el concreto.
- ✓ La mayor dimensión de la piedra desplazadora no excederá de la mitad de la menor dimensión del elemento ni será mayor de 250 mm.

Además este tipo de concreto se utiliza en cimentaciones y sobre cimientos. RNE (2009).

- Concreto armado.

Se denomina así al concreto simple cuando éste lleva armaduras de acero como refuerzo y que está diseñado bajo la hipótesis de que dos materiales trabajan conjuntamente o incrementar la resistencia a la compresión del concreto. Abanto (1996, p. 12).

- Concreto ligero.

El concreto ligero (liviano) estructural es un concreto similar al concreto de peso normal, excepto que tiene una densidad menor. Se lo produce con agregados ligeros (concreto totalmente ligero) o una combinación de agregados ligeros y normales. El término "peso ligero arena" se refiere al concreto ligero producido con agregado grueso ligero y arena natural. Kosmatka, Kerkhoff, Panarese & Tanesi (2004).

Se denomina como concretos liviano a los que cuentan con una densidad que está entre el rango de  $300 \text{ kg/m}^3$  y  $1\ 900 \text{ kg/m}^3$  y los concretos normales fluctúan entre los  $2\ 200 \text{ kg/m}^3$  y  $2\ 400 \text{ kg/m}^3$ . (Valdez & Suarez, 2010).

La norma ASTM C567 establece un método de ensayo para determinar las densidades seca al horno del concreto estructural liviano. Cabe resaltar que esta norma no será aplicada a la presente tesis.

Las ventajas que presenta este tipo de concreto son:

- ✓ Reduce la carga muerta de la edificación que son transmitidas a la cimentación.
- ✓ Optimiza las propiedades térmicas y acústicas de la estructura.
- ✓ Mejora la colocación y acabado son más económicos.

También, este tipo de concretos presentan desventajas como por ejemplo:

- ✓ Algunos agregados livianos pueden tener un mayor costo, sin embargo, se puede ver compensado con un menor costo de transporte.
- ✓ Puede generar deformaciones con un módulo de elasticidad bajo.
- ✓ El poco empleo de este concreto acarrea inconvenientes en su uso y elaboración. (Valdez & Suarez, 2010).

#### ➤ **Estados de concretos.**

El fraguado y endurecimiento del concreto es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del hormigón.

Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provoquen el endurecimiento de la masa y que se caracterice por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

La pasta del hormigón se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua.

El fraguado y endurecimiento del hormigón no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo.

Una reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra rellenando todos los huecos en los encofrados y una lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas.

En condiciones normales un hormigón portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas sobre 10 o 12 horas. (Sánchez, 2013).

- Estado fresco.

Inicialmente, cuando se produce la reacción química, el concreto tiene un comportamiento blando y que puede ser trabajado o moldeado de distintas maneras.

- ✓ Trabajabilidad.

Según el capítulo ACI 116R denomina a la trabajabilidad como “aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado,

transportado, colocado, compactado y acabado”. (ACI COMMITTEE 116R 2005).



**Figura N° 4:** Homogeneidad del concreto normal.  
CEMEX, 2019.

Esta propiedad se determina por medio del ensayo de asentamiento con el cono de Abrams o slump, la cual es útil para detectar las variaciones de uniformidad de una mezcla de proporciones determinadas (Rivera, 2013).

La NTP 339.035/ASTM C-143 Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland. Es un método de control de calidad que tiene como objetivo principal medir la consistencia del concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica que tan seco o fluido está el concreto.

De ambas definiciones se puede dilucidar que es una de las propiedades más importantes del concreto en estado fresco, y si no tiene una buena trabajabilidad es probable que no sea moldeable en el encofrado al momento del vaciado generando vacíos que provoquen posibles fallas estructurales.

En la **Tabla N°1** se presentan valores de consistencia y asentamiento recomendados para concretos de diferentes grados de manejabilidad, según el tipo de construcción, sistema de colocación y sistema de compactación, en la **Tabla N°2** se aprecia los asentamientos máximos y mínimos en milímetros y pulgadas recomendados por el ACI 211.1-91 dependiendo el tipo de construcción de concreto.

**Tabla N° 1: Valores de asentamientos recomendados para concretos de diferentes grados de manejabilidad.**

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación natural.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
Muy Húmeda	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Súper Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

*Fuente: (Rivera, 2013).*

**Tabla N° 2:** Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.

Construcción de concreto	Revenimiento o asentamiento mm (pulg.)	
	máximo	mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

*Fuente: ACI 211.1-91.*

✓ Segregación.

La segregación de los áridos consiste en la separación de sus partículas de forma que no presenten una distribución uniforme

De forma análoga, se entiende que la segregación del hormigón es la separación de sus componentes una vez amasado provocando que la mezcla de hormigón fresco presente una distribución de sus partículas no uniforme. (Yepes, 2017).

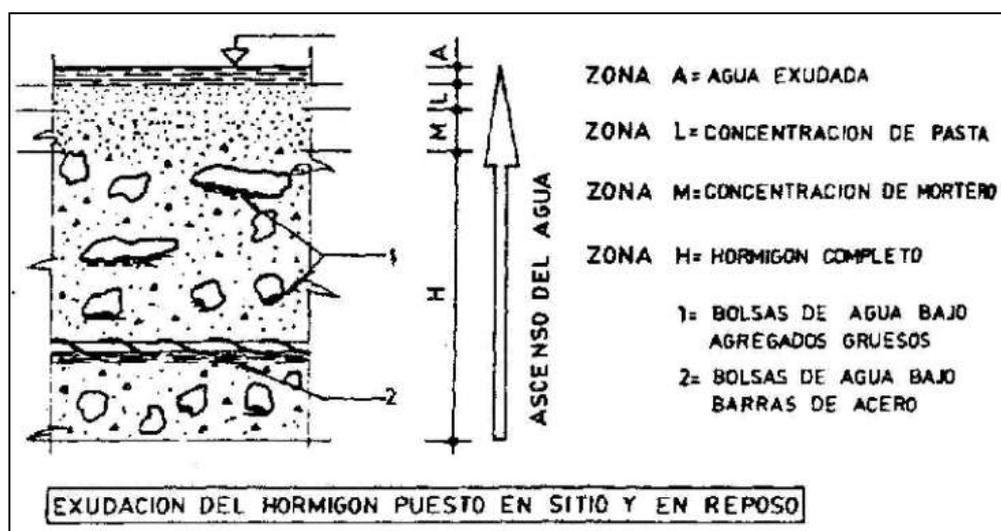
De la presente cita se puede deducir que los problemas de la segregación del concreto están ligados con la inadecuada granulometría, con los trabajos de colocación y compactación, y teniendo como resultado estructuras con defectos como poros y cangrejas.

✓ Exudación.

El Comité del ACI-116R define a la exudación como el flujo autógeno de agua de amasado dentro del hormigón o mortero fresco, o bien la emergencia de esta agua del hormigón o mortero fresco; es provocada por la sedimentación de los materiales sólidos dentro de la

masa; también se denomina exceso de agua. (ACI COMMITTEE 116R 2005:13)

De la cita mencionada se deduce que al ascender el agua crea la superficie del concreto una capa delgada, débil y porosa que no tiene resistencia ni es durable. En la *Figura N° 5* podemos observamos los efectos que provoca la exudación.



*Figura N° 5:* Exudación del concreto. Bascoy, 2013.

✓ Contracción.

Es la disminución de la longitud o del volumen autógeno del concreto debido a la pérdida de agua, más conocido como exudación, este como consecuencia del proceso de fragua inherente al concreto fresco en proceso a ser concreto endurecido. (ACI COMMITTEE 116R 2005:34).

(Moreno, 2020) menciona que la retracción o contracción tiene dos fases: La Fase uno, durante el proceso de producción, transporte, vaciado y curado en el cual el concreto se comporta de una forma frente a la contracción o retracción; y la Fase dos, después de las 24

horas, cuando se tienen otras características también relacionadas con el problema.

(Cipriano, 2020) explica tres tipos de contracción o retracción.

1. La contracción por secado provoca las principales causas de fisuración del concreto debido a que la pasta se encoge cuando esta blanda debido a que se seca por el sol, y el agua que queda en la pasta de cemento provoca esfuerzos de succión que tracción a los granos del material sólido adyacente, como se observa en la **Figura N° 6**.
2. La retracción plástica se presenta cuando el concreto está recién colocado y empieza a presentar fisuras a consecuencia de la retracción por secado (blando o "plástico").

La diferencia entre contracción plástica y contracción por secado radica solo en la condición del concreto cuando se seca, se encoge y aparece la grieta.

3. La retracción química o autógena comienza en el instante en que el cemento entra en contacto con el agua. Pastas puras de cemento y agua tienen un encogimiento del 1% de su volumen en las primeras 24 horas. En unas cuantas horas después del mezclado, la retracción química de la pasta puede ser la causa fundamental del encogimiento del concreto.



**Figura N° 6:** Patología contracción placa tránsito peatonal. Moreno, 2020.

- Estado endurecido.

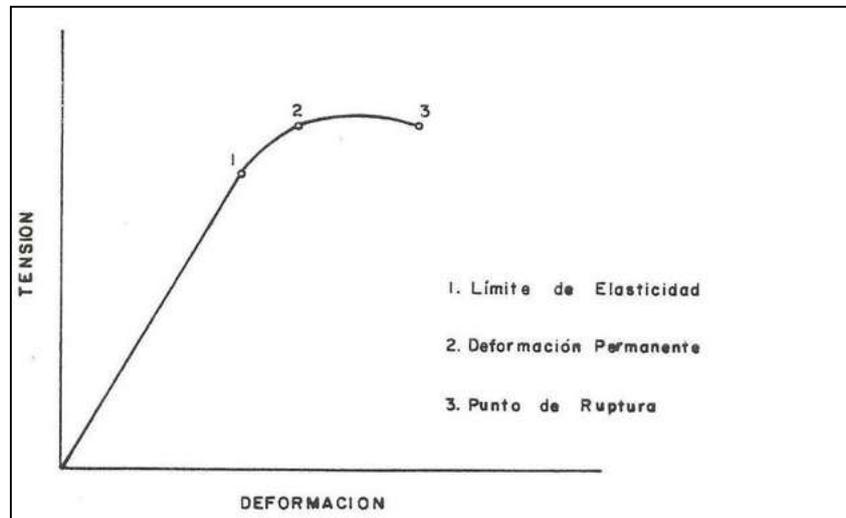
Después que el concreto ha fraguado empieza el proceso de endurecer y ganar resistencia teniendo como propiedades principales las de:

- ✓ Elasticidad.

La elasticidad es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos. La deformación es la variación de forma y dimensión de un cuerpo. Un material es elástico cuando la deformación que sufre ante la acción de una fuerza, cesa al desaparecer la misma.

Como se observa en la **Figura N°7** los materiales totalmente elásticos pueden llegar hasta cierta deformación máxima, es lo que se conoce como límite elástico, que en la figura se muestra hasta el punto 1. Si se sobrepasa este límite, es decir hasta el punto número 2 la deformación del material es permanente y sus propiedades cambian. Si el esfuerzo que incide sobre el material supera las fuerzas internas

de cohesión, llegará hasta el punto 3 donde el material se fisura y termina por fallar. (Osorio, 2018).



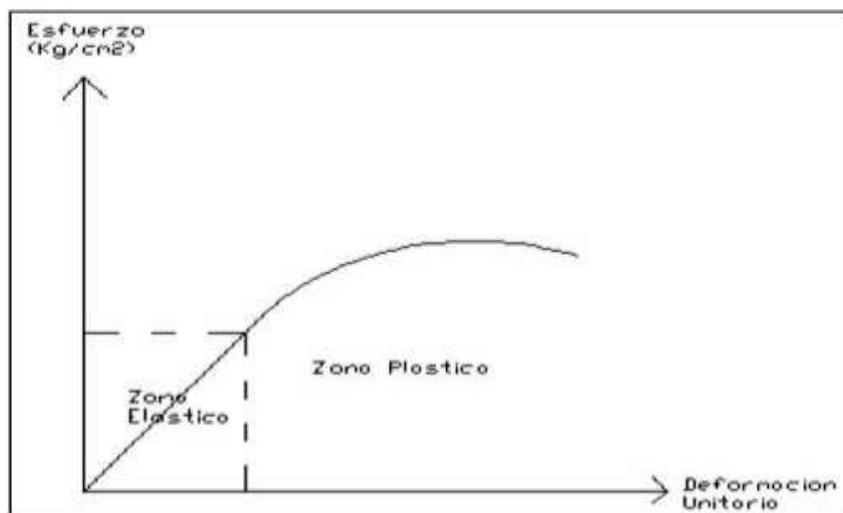
**Figura N° 7:** Estados de deformación de un material. Osorio, 2018.

El módulo de elasticidad del concreto representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo como se muestra en la **Figura N° 8** el esfuerzo – deformación consta de dos fases:

La primera fase es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 45% de la resistencia a la compresión del concreto.

La segunda fase representada con una línea curva como consecuencia de una microfisuración que se produce en el concreto al recibir una carga,

Estas fisuras se ubican en la interface agregado – pasta y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto. (Osorio, 2018).



**Figura N° 8:** Esfuerzo - Deformación. Osorio, 2018.

✓ La resistencia.

Resistencia a la compresión se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo  $f'c$  (Kosmatka & Panarese, 1992).

Además, la resistencia del concreto no puede probarse en condición plástica, por lo que el procedimiento acostumbrado consiste en tomar muestras durante el mezclado las cuales después de curadas se someten a pruebas de compresión. Y se emplea la resistencia a la compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran al incrementarse esta resistencia. Abanto (1996, p.50-51).

La Norma Técnica Peruana indica que los resultados de las pruebas de resistencia a partir de la elaboración de cilindros, se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para

estimar la resistencia del concreto en estructuras, permitiendo programar las operaciones de construcción, tales como remoción de formaletas (cimbras) o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura. (NTP 339.034).

Por otra parte la American Society for Testing and Materials formula procedimientos para las pruebas de curado en campo de la siguiente manera: Un resultado de prueba es el promedio de por lo menos 2 pruebas de 300 mm x 150 mm y el promedio de 3 pruebas de 200 mm x 100 mm resistencia curadas de manera estándar o convencional, elaboradas con la misma muestra de concreto, y sometidas a ensayo a la misma edad. (ASTM C31).

✓ Permeabilidad.

Se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias (Kosmatka & Panarese, 1992).

✓ Absorción capilar.

Fenómeno debido a fuerzas capilares por el que un líquido es absorbido por un medio poroso. (UNESCO, 1992)

El Instituto Argentino de Normalización y Certificación menciona que la capacidad y la velocidad de succión del concreto, y particularmente del concreto de recubrimiento, son parámetros asociados con la durabilidad de las estructuras de concreto. (IRAM 1871).

✓ **Peso Unitario.**

Peso unitario del concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras, es de 2,240 a 2,400 kg por metro cúbico (Kosmatka & Panarese, 1992).

✓ **Durabilidad**

El comité 201 del American Concrete Institute define a la durabilidad del concreto de cemento Portland como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, abrasión, y cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzcan deterioro del concreto. (ACI COMMITTEE 201 2008:1).

➤ **Materiales del concreto**

(Pasquel, 1992) indica que la tecnología del concreto, define cuatro componentes: Cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo. A continuación especificaremos a detalle cada componente que forma el concreto.

• **Cemento**

El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un Clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezcla que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas. Abanto (1996, p.16).

La ASTM (C 150) normaliza la fabricación de cinco tipos de cementos:

- ✓ Tipo I: para usos generales.
  - ✓ Tipo II: generalmente se usa cuando se requiere disminuir el calor de hidratación o cuando se necesita una moderada resistencia a los sulfatos.
  - ✓ Tipo III: produce alta resistencia inicial, en comparación con el tipo I, este cemento alcanza la resistencia en 7 días que el tipo I alcanza en 28 días, pero la resistencia a largo plazo se mantiene.
  - ✓ Tipo IV: produce bajo calor de hidratación, su uso ha sido limitado a estructuras masivas como las presas.
  - ✓ Tipo V: Es resistente a sulfatos, se usa usualmente en suelos altamente sulfatados o cuando hay sulfatos presentes en forma de solución o en el agua freática.
- Agregados

Según la ASTM es aquel material granular el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.

Constituye del 60% al 75% como se muestra en la **Figura N° 3** y deben estar definidos de acuerdo al ensayo de granulometría realizado al material de acuerdo con la NTP 400.037/ASTM C33 Agregados de peso normal.

- ✓ Agregado fino

El agregado fino debe ser durable, fuerte, limpio, duro y libre de materias impuras como polvo, limo, pizarra, álcalis y materias orgánicas. No debe tener más de 5% de arcilla o limos ni más de Se

considera como agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm 3(8") y que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.012 2001 "Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global". Las arenas provienen de la desintegración natural de las rocas y que arrastrados por corrientes aéreas o fluviales se acumulan en lugares determinados. Abanto (1996, p.12).

✓ Agregado grueso

Se define como agregado grueso al material en el tamiz N°4 (4.75 $\mu$ ) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecido según NTP 400.012 2001. El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc. Abanto (1996, p.12).

Puede usarse piedra partida en chancadora o grava zarandeada de los lechos de los ríos o yacimientos naturales. Harmsen (2005).

• Agua

El agua es un material importante para la elaboración del concreto debido a 2 funciones principales que posee: Reaccionar químicamente con el cemento para hidratarlo y actuar como lubricante para una mejor trabajabilidad. Se debe tener un control sobre qué cantidad de agua será necesario añadir a la mezcla para obtener un material resistente que cumpla con los requerimientos correspondientes. Parte de ese control está dado por la relación agua/cemento; parámetro que tiene influencia sobre la resistencia, durabilidad y retracción del concreto. De no realizar el

control respectivo, se podría obtener un concreto endurecido con menor resistencia. Rivera (2013, p.77).

El agua deberá cumplir con ciertos requisitos al emplearse en la preparación del concreto, deberá ser limpia y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero.

Si se tuvieran dudas de la calidad del agua a emplearse en la preparación de una mezcla de concreto, será necesario realizar un análisis químico de ésta, para comparar los resultados con los valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del concreto que a continuación indicamos.

<b>SUSTANCIAS DISUELTAS</b>	<b>VALOR MAXIMO ADMISIBLE</b>
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

*Figura N° 9:* Valores permisibles del agua. Abanto, 1996, p.21.

- Aditivos

Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada pasta de cemento y modifican en forma dirigida algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto (Pasquel, 1992).

Según el ACI 318-14 los aditivos más comunes son:

✓ Acelerantes:

Este aditivo reduce el tiempo inicial de fraguado del concreto para obtener a temprana edad una mayor resistencia. Usado en construcciones donde se requiere un rápido desencofrado o aplicación de cargas. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese & Tanesi, 2011 p.144).

✓ Incorporadores de aire:

Este aditivo se incorpora en la mezcla de concreto para generar burbujas de aire microscópicas en la pasta de cemento provocando un mejor desempeño en la durabilidad cuando el concreto está expuesto al congelamiento y descongelamiento, además reduce la exudación y la segregación. Kosmatka et al. (2011).

✓ Reductores de agua:

Este aditivo se emplea con la finalidad de reducir el contenido de agua en el concreto para conseguir mayor resistencia y asentamientos más altos, además mejoran la manejabilidad en el vaciado. Kosmatka et al. (2011).

✓ Reductores de agua de alto rango:

Este aditivo reduce una gran demanda de agua entre un 12% y 30%, también el contenido de cemento, produciendo concretos con baja relación agua-cemento, altas resistencias y mejor trabajabilidad. Kosmatka et al. (2011).

✓ Retardantes:

Este aditivo prolonga el tiempo de fraguado inicial del concreto por una hora o más y se usa principalmente en lugares de climas muy cálidos o en áreas grandes para tener mayor tiempo de vaciado. Kosmatka et al. (2011).

➤ **Diseño de mezclas según ACI 211**

La selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, conocida usualmente como diseño de la mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia adecuadas; y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador e indicados en los planos y/o las especificaciones de obra. Rivva (2007, p.16).

### 1.3.2. Polipropileno

➤ **Tapas plásticas**

Una tapa es un elemento que permite cerrar algún tipo de recipiente o envase. Las tapas cumplen con diversas funciones, Pueden servir para que aquello que se almacena en un recipiente no se caiga o no se pierda. También ayudan a mantenerlo limpio, impidiendo que ingrese polvo o suciedad al contenedor. (Pérez, J. & Gardey, A, 2014). Están hechas de Polipropileno (plástico 5, PP) diferente al de las botellas (PET), por esto lo ideal es remover las tapitas de

las botellas y juntarlas por separado. Aún si no se separan de las botellas, todo se considera un recurso reciclable.

### ➤ **Definición de polipropileno**

La Enciclopedia Universal 2012, da como su definición: "Química: compuesto químico que se obtiene por polimerización del propileno". "Es uno de esos polímeros versátiles que andan a nuestro alrededor. Cumple una doble tarea, como plástico y como fibra. Como plástico se utiliza para hacer cosas como envases para alimentos capaces de ser lavados en un lavaplatos. Esto es factible porque no funde por debajo de 160°C. Como fibra, se utiliza para hacer alfombras de interior y exterior, la clase que usted encuentra siempre alrededor de las piscinas y las canchas de mini-golf." Y agrega: "Química Orgánica: plástico ligero muy resistente al calor, a los disolventes orgánicos y agentes químicos activos, pero sensible a la luz solar."

### ➤ **Propiedades del polipropileno**

Cada plástico tiene una estructura molecular que le aporta determinadas características. El polipropileno tiene propiedades parecidas a las del polietileno (PE), pero con un punto de ablandamiento más alto. Algunas de las características serían las siguientes:

- Es un polímero de bajo costo con respecto a los beneficios.
- Tiene una alta resistencia química a los disolventes.
- Fácil de moldear, especialmente con calor.
- Es resistente al agua, por lo que evita el traspaso de humedad y de agua.

- Alta resistencia al someterlo a flexión o fatiga tiene una gran resistencia y no se fractura fácilmente.
- Buena resistencia a temperaturas superiores a 15°C.
- Buena estabilidad térmica.

Algunas de las desventajas de este plástico es que puede llegar a ser frágil a bajas temperaturas, sensible a la luz UV, menos resistente a la oxidación o difícil de pegar. Sin embargo estas desventajas se pueden mejorar con la ayuda de aditivos o elastómeros.

#### ➤ Usos del polipropileno

Tiene muchos usos y aplicaciones, lo podemos encontrar en:

- Juguetes para niños.
- Vasos y tapas de plástico.
- Materiales de construcción.
- Recipientes para alimentos, medicinas o productos químicos.
- Ropa y electrodomésticos.
- Bolsas.

#### 1.4. Formulación del problema

¿De qué manera influye el porcentaje de reemplazo del polipropileno reciclado por agregado grueso sobre la resistencia a la compresión axial y absorción capilar de un concreto convencional, Trujillo 2020?

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

- Evaluar la influencia del porcentaje del polipropileno reciclado por agregado grueso sobre la resistencia a la compresión axial y absorción capilar de un concreto convencional.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Analizar las propiedades físicas de asentamiento y peso unitario del concreto con adición de material reciclado de polipropileno frente a la mezcla patrón.
- Determinar la resistencia a la compresión y absorción capilar del concreto con polipropileno reciclado respecto al concreto patrón.
- Analizar el costo de un concreto convencional con el agregado grueso artificial.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis General**

Existe influencia significativa del polipropileno reciclado en reemplazo al agregado grueso sobre las propiedades de compresión axial y absorción capilar de un concreto convencional Trujillo 2020.

**Tabla N° 3: Hipótesis General.**

Hipótesis	Componentes Metodológicos			Componentes Referenciales	
	VARIABLES	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
Existe influencia significativa del polipropileno reciclado en reemplazo al agregado grueso sobre las propiedades de compresión axial y absorción capilar de un concreto convencional Trujillo 2020.	<u>VARIABLES dependiente</u>		Testigos de concreto	Mantendrá	Trujillo 2020
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia a la compresión</li> <li>➤ Absorción capilar</li> </ul>				
	<u>VARIABLES independientes</u>				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Porcentaje de agregado grueso reciclado</li> </ul>				

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

### 1.6.2. Hipótesis Específicas

Existe influencia significativa del polipropileno reciclado en reemplazo al agregado grueso sobre la propiedad de compresión axial de un concreto convencional Trujillo 2020

**Tabla N° 4: Hipótesis específica para la resistencia a la compresión.**

Hipótesis	Componentes Metodológicos			Componentes Referenciales	
	VARIABLES	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
Existe influencia significativa del polipropileno reciclado en reemplazo al agregado grueso sobre la propiedad de compresión axial de un concreto convencional Trujillo 2020.	<u>VARIABLE dependiente</u>		Resistencia a la compresión	Mantendrá	Trujillo 2020
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia a la compresión.</li> </ul>				
	<u>VARIABLE independiente</u>				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Porcentaje de agregado grueso reciclado</li> </ul>				

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

Existe influencia significativa del polipropileno reciclado en reemplazo al agregado grueso sobre la propiedad de absorción capilar de un concreto convencional Trujillo 2020.

**Tabla N° 5: Hipótesis específica para la absorción capilar.**

Hipótesis	Componentes Metodológicos			Componentes Referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
Existe influencia significativa del polipropileno reciclado en reemplazo al agregado grueso sobre la propiedad de absorción capilar de un concreto convencional Trujillo 2020.	<u>Variable dependiente</u> ➤ Absorción capilar <u>Variable independiente</u> ➤ Porcentaje de agregado grueso reciclado	Succión capilar	Mantiene	Trujillo	2020

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

## 1.7. Operacionalización de variable

### 1.7.1. Variable Independiente:

- 0% de polipropileno reciclado en el agregado grueso.
- 25% de polipropileno reciclado en el agregado grueso.
- 50% de polipropileno reciclado en el agregado grueso.
- 75% de polipropileno reciclado en el agregado grueso.
- 100% de polipropileno reciclado en el agregado grueso.

### 1.7.2. Variable Dependiente:

- Resistencia a la compresión.
- Absorción Capilar.

**Tabla N° 6:** Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión se define como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. (Kosmatka y Panarese, 1992).	Es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión axial.	Fuerza	Kilogramo fuerza	kgf
			Área	Centímetro cuadrado	cm <sup>2</sup>
Absorción capilar	Fenómeno originado por fuerzas capilares según el cual un líquido a una presión inferior a la atmosférica es absorbido por un medio poroso. (Glosario Internacional de Hidrología, 1992).	Es un ensayo gravimétrico que permite registrar el incremento de masa y está asociado a la durabilidad de las estructuras de concreto.	Masa	Gramos	g
			Longitud	Metros	m
			Tiempo	Segundos	s

**Fuente:** Elaboración Propia, 2020.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### 2.1.1. Diseño de investigación

En esta oportunidad la investigación está arraigada netamente a un diseño experimental debido a la manipulación deliberada de las variables independientes (variación del porcentaje de agregado grueso de polipropileno) para observar su influencia en la variable dependiente (esfuerzo a la compresión axial y absorción capilar), a esto se le denomina diseño cuasi experimental el cual tendrá un esquema solo con posprueba como se muestra en la **Tabla N° 7**.

**Tabla N° 7:** Esquema de diseño cuasi experimental.

Grupo	Estimulo	Medición posterior
GE	X	O1
GC	-	O2

*Fuente:* (Ávila, 2006).

Donde:

G1: Grupo experimental.

G2: Grupo testigo o control.

O1; O2: Posprueba.

X: Tratamiento o modificación experimental.

-: Ausencia de tratamiento experimental.

### **2.1.2. Población**

La población o universo tomado para la investigación de esta tesis son todos los testigos o probetas cilíndricas elaboradas en el marco de las normativas vigentes, que se usaran para los ensayos de concreto y a su vez cada una de ellas es identificada como la unidad de estudio.

### **2.1.3. Muestra**

El objetivo de este estudio permite elegir una muestra no probabilística debido a que el estudio es exploratorio y determinada por opinión de experto en este caso del Ingeniero Alberto Rubén Vásquez Díaz que determinó que se debe realizar según lo que establecido el ACI 318-19, donde indica que se podría realizar un mínimo de 3 réplicas de 3 probetas hermanas, con medidas de 200mm x 100mm, para obtener resultados más exactos.

Para el ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días se han desarrollado 3 réplicas patrón (0% de agregado polipropileno reciclado) y 3 réplicas para cada distinto porcentaje de agregado de polipropileno reciclado plástico (25%, 50%, 75% y 100%) teniendo un total de 15 probetas para este ensayo. A los 28 días se han realizado 6 réplicas patrón (0% de agregado polipropileno reciclado) y 6 réplicas por cada porcentaje de agregado de polipropileno reciclado obteniendo un total de 30 probetas y finalmente para el ensayo de permeabilidad por absorción capilar se han desarrollado 3 réplicas patrón (0% de agregado de polipropileno reciclado) y 3 réplicas por cada porcentaje de agregado de polipropileno reciclado (25%, 50%, 75% y 100%) a los 28 días obteniendo como resultado la cantidad de 10 probetas.

En conclusión, se realizarán 60 probetas cilíndricas de concreto de 200mm x 100mm, de los cuales 45 serán para realizar el ensayo de la resistencia a la compresión y 15 para ejecutar el ensayo de permeabilidad por succión capilar. La fabricación de las 60 probetas cilíndricas de 200mm x 100mm que determina la población muestral de la investigación se muestra en la **Tabla N° 8**.

**Tabla N° 8: Población muestral.**

Días	7	28
Resistencia a la Compresión.		
0% de agregado de polipropileno reciclado (patrón)	3	6
25% de agregado de polipropileno reciclado	3	6
50% de agregado de polipropileno reciclado	3	6
75% de agregado de polipropileno reciclado	3	6
100% de agregado de polipropileno reciclado	3	6
Subtotal	15	30
Absorción Capilar		
0% de agregado de polipropileno reciclado (patrón)	-	3
25% de agregado de polipropileno reciclado	-	3
50% de agregado de polipropileno reciclado	-	3
75% de agregado de polipropileno reciclado	-	3
100% de agregado de polipropileno reciclado	-	3
Subtotal		15
<b>Total</b>		<b>60</b>

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

## 2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

### 2.2.1. Diseño de contrastación

En el presente tema de investigación, se evaluarán las propiedades físicas del agregado grueso, agregado fino y agregado de polipropileno reciclado de

polipropileno reciclado. Luego se realizará un diseño de mezclas para los porcentajes establecidos en la tesis de 25%, 50%, 75% y 100% de agregado de polipropileno reciclado como reemplazo al agregado natural, frente a un diseño patrón sin alterar el agregado grueso natural (0%). En esta investigación se evaluarán algunas propiedades del concreto en estado fresco como: asentamiento y peso unitario. Después se procederá a elaborar probetas de concreto según la normativa, las cuales se someterán a un proceso de curado por 7 y 28 días, para evaluar las propiedades del concreto en estado endurecido como, resistencia a la compresión (7 y 28 días) y permeabilidad por absorción capilar (28 días).

Finalmente, se analizarán los resultados de los ensayos conseguidos mediante métodos estadísticos, utilizando gráficos de barras como instrumento para tener una mejor perspectiva de análisis.

*Tabla N° 9: Matriz de diseño.*

VI	VD	B					
		B1	B2	B1	B2	B1	B2
A	A1	A1B1	A1B2	A1B1	A1B2	A1B1	A1B2
	A2	A2B1	A2B2	A2B1	A2B2	A2B1	A2B2
	A3	A3B1	A3B2	A3B1	A3B2	A3B1	A3B2
	A4	A4B1	A4B2	A4B1	A4B2	A4B1	A4B2
	A5	A5B1	A5B2	A5B1	A5B2	A5B1	A5B2

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

Donde:

V.I. = Variable Independiente.

A = porcentaje de Agregado Grueso Reciclado (V.I.)

Subniveles:

A1: 0% de polipropileno reciclado.

A2: 25% de polipropileno reciclado.

A3: 50% de polipropileno reciclado.

A4: 75% de polipropileno reciclado.

A5: 100% de polipropileno reciclado.

V.D. = Variable Dependiente.

B = Propiedades en estado endurecido del concreto

B1: Resistencia a la Compresión.

B2: Permeabilidad por absorción capilar.

### 2.2.2. Datos estadísticos

Para determinar el promedio o media aritmética de los ensayos de resistencia a compresión y succión capilar se utilizará la siguiente ecuación:

*Ecuación N° 1: Promedio o media aritmética.*

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética de los resultados.

$n$  = número de resultados del ensayo.

$x_i$  = resultados del ensayo.

Para determinar la desviación estándar que es la medida de dispersión más común e indica que tan dispersos están los datos con respecto a la media, al ser mayor la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos de los ensayos de resistencia a compresión y succión capilar. La desviación estándar

se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable y se expresa en la ecuación:

*Ecuación N° 2: Desviación estándar.*

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

$\sigma$  = desviación estándar de los resultados.

$\bar{x}$  = media aritmética de los resultados.

$n$  = número de resultados del ensayo.

$x_i$  = resultados de los ensayos.

### 2.2.3. Datos preliminares

Para determinar la cantidad de información suministrada por los datos se usaran los grados de libertad (GL)

a) Grados de libertad

- Grados de libertad de la variable porcentaje de agregado de polipropileno reciclado (A)

$$G.L. = a - 1$$

- Grados de libertad de la variable resistencia a la compresión y succión capilar (B)

$$G.L. = b - 1$$

- Grados de libertad de las variables (A) x (B)

$$G.L. = (a - 1) \times (b - 1)$$

- Grados de libertad del error

$$G.L. = (a \times 1) \times (r - 1)$$

Donde:

a = número de niveles de la variable (A)

b = número de niveles de la variable (B)

r = número de réplicas del ensayo.

b) Nivel de significancia

Es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera y es denotada como alfa o  $\alpha$ . Se estima trabajar con un 95% de nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ) indicando un riesgo del 5% de concluir que existe una diferencia cuando no hay una diferencia real, además de ser habituales en investigaciones experimentales.

c) Criterio de decisión

La distribución F se utiliza en el análisis de varianza y en pruebas de hipótesis para determinar si dos varianzas de la población son iguales, y determinar si la hipótesis es verdadera, es una distribución continua de muestreo.

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F_{calculado} > F_{tablas}$

#### **2.2.4. Métodos y fórmulas para el análisis de varianza en analizar un diseño factorial**

La suma de distancias cuadradas. Las fórmulas presentadas son para un modelo factorial completo de dos factores con factores A y B. La suma de

cuadrados (SC) total es la variación total en el modelo. SC (A) y SC (B) son la suma de las desviaciones cuadradas de las medias de niveles de factores estimadas alrededor de la media general. El error de SC es la suma de los residuos cuadráticos. Esto se conoce también como un error en los tratamientos. Los cálculos son:

a) Suma de cuadrados

- Suma de cuadrados para el factor A.

*Ecuación N° 3: Suma de cuadrados para el factor A.*

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i..}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

- Suma de cuadrados para el factor B.

*Ecuación N° 4: Suma de cuadrados para el factor B.*

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j.}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

- Suma de cuadrados de la interacción de los factores (D).

*Ecuación N° 5: Suma de cuadrados de la interacción de los factores (D).*

$$SC_D = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij.}^2}{n} - \frac{Y_{...}^2}{N} - SC_A - SC_B$$

- Suma de cuadrados totales.

*Ecuación N° 6: Suma de cuadrados totales.*

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

- Suma de cuadrados del error.

***Ecuación N° 7: Suma de cuadrados del error.***

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B}$$

b) Las esperanzas de los cuadrados medios:

- Media de cuadrados para el factor A.

***Ecuación N° 8: Media de cuadrados para el factor A.***

$$CM_A = E\left(\frac{SC_A}{a-1}\right)$$

- Media de cuadrados para el factor B.

***Ecuación N° 9: Media de cuadrados para el factor B.***

$$CM_B = E\left(\frac{SS_B}{b-1}\right)$$

- Media de cuadrados de la interacción de los factores (AB).

***Ecuación N° 10: Media de cuadrados de la interacción de los factores (AB).***

$$CM_{AB} = E\left(\frac{SC_{AB}}{(a-1)(b-1)}\right)$$

- Media de cuadrados de error.

***Ecuación N° 11: Media de cuadrados del error.***

$$CM_D = E\left(\frac{SC_E}{(ab)(r-1)}\right)$$

c) Fo experimental

- Fo (A).

***Ecuación N° 12: Fo del factor A.***

$$Fo(A) = \frac{CM_A}{CM_E}$$

- Fo (B).

*Ecuación N° 13: Fo del factor B.*

$$Fo(B) = \frac{CM_B}{CM_E}$$

- Fo (AB).

*Ecuación N° 14: Fo del factor AB.*

$$Fo(AB) = \frac{CM_{AB}}{CM_E}$$

### 2.2.5. Propiedades del agregado grueso, fino y reciclado

#### ➤ Ensayos físicos para agregado grueso, fino y reciclado

- Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global (NTP 400.012.2013).

Antes de realizar el análisis granulométrico se deberá tomar muestras de los agregados de acuerdo a la (NTP 400.010.2001) Extracción y preparación de las muestras, este análisis se realizará con los agregados secos y para ello la NTP 400:012 indica secar la muestra a peso constante a una temperatura de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  por unas  $24 \pm 4$  horas en la estufa. Después, se seleccionarán tamaños adecuados para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material ensayado. La norma también indica que se deben encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior y agitar los tamices manualmente o por un aparato mecánico por un periodo suficiente, establecido por tanda o verificado por la medida de la muestra ensayada, para obtener los criterios

de suficiencia o tamizado descritos en el apartado 8.4. Por último, las mallas con las muestras retenidas son pesadas y con ello se logra la cantidad retenida en da una de estas.

- **Peso específico y absorción**

Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (NTP 400.021.2013).

Una muestra de agregado es sumergida en agua por  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$  para esencialmente llenar los poros. Luego la muestra es removida del agua, y el agua superficial de las partículas es secada y se determina la masa. Posteriormente, el volumen de la muestra se determina por el método de desplazamiento de agua. Finalmente, la muestra es secada en horno y la masa determinada. Usando los valores de la masa obtenidos y las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y la absorción.

Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (NTP 400.022.2013).

Una muestra de agregado es retirada en agua por  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$  para esencialmente llenar los poros. Luego es retirada del agua, el agua superficial de las partículas es secada y se determina la masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra es secada en horno y la masa se determina de nuevo. Usando los valores de la masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y la absorción.

- Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados (NTP 400.017.2011).

Para determinar el Peso Unitario Suelto (PUS) la norma indica en primer lugar, llenar el recipiente hasta el reboce con una pala o cucharón, descargando el agregado de una altura que no exceda 50 mm encima del borde superior del mismo. Tener cuidado a fin de prevenir, como sea posible, la segregación del tamaño de partículas que constituyen la muestra. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente. Además, se debe determinar la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registrar los valores con exactitud de 0,05 kg.

Para el Peso Unitario Compactado (PUC) la norma establece, llenar el recipiente a un tercio del total y nivelar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido sobre la superficie. Llenar el recipiente a los 2 tercios del total y nuevamente nivelar y apisonar como anteriormente. Finalmente, llenar el recipiente a sobre-volumen y apisonar nuevamente de la forma indicada líneas arriba. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado grueso aproximadamente equilibre los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.

- Ensayos físicos para Agregado Grueso y Fino
  - Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado (NTP 339.185.2013).

Este método consiste en someter una muestra de agregado a un proceso de secado constante en horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas y comparar su masa antes y después del mismo para determinar su porcentaje de humedad total.

Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado  $75\text{ }\mu\text{m}$  (N° 200) por lavado en agregados (NTP 400.018.2013).

Una muestra del agregado se lava de la manera descrita, utilizando agua pura o agua con agente dispersante. El agua de lavado decantada, conteniendo material suspendido y disuelto se pasa a través de un tamiz  $75\text{ }\mu\text{m}$  (N° 200). La pérdida de muestra resultante del tratamiento de lavado se calcula como porcentaje en masa de la muestra original y se reporta como el porcentaje de material más fino que un tamiz  $75\text{ }\mu\text{m}$  (N° 200) por lavado.

#### **2.2.6. Diseño de mezcla**

Para el diseño de mezclas se realizará por el procedimiento propuesto por el comité ACI 211 y con la siguiente secuencia de diseño:

- Determinar la resistencia a la compresión requerida ( $F'_{cr}$ ).
- Selección del TMN del agregado grueso.
- Selección del asentamiento.
- Cálculo del contenido de agua.
- Seleccionar el contenido de aire atrapado.

- Selección de la relación agua/cemento, por resistencia y durabilidad.
- Estimación del contenido de agregado grueso y fino.
- Ajustes por absorción y humedad de los agregados.

### 2.2.7. Ensayos del concreto

- Ensayos de concreto en estado fresco
  - Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland (NTP 339.035.2009).

En primer lugar, se humedece el molde y se coloca sobre una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. El molde se fija firmemente en su lugar durante el llenado pisando las aletas o asegurando las abrazaderas a la placa de base, manteniendo limpio el perímetro. Se llena el molde vaciando el concreto en tres capas, de modo que cada capa corresponda a aproximadamente a la tercera parte del volumen del molde. Se coloca el concreto en el molde usando el cucharón y se vierte moviendo el cucharón alrededor del perímetro del molde, para asegurar la distribución del concreto con la mínima segregación.

Cada capa se compacta aplicando 25 golpes con la barra compactadora distribuidos y aplicados uniformemente en toda la sección de la capa.

El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa. Luego se procede a enrasar rodando la barra compactadora sobre el borde superior del molde. Se retira inmediatamente el molde del concreto levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Se levanta el molde una altura de 300 mm en 5 s.  $\pm$  2 s con un movimiento ascendente firme, evitándose los movimientos laterales o torsionales. La operación completa desde el

principio de llenado del molde hasta su retiro se hará sin interrupción y en un tiempo no mayor de 2,5 min.

Se mide inmediatamente el asentamiento, determinado por la diferencia entre la altura del molde y la del centro desplazado de la cara superior del cono deformado. En caso de que se presente una falla por corte, donde se aprecia una separación de una parte de la masa este ensayo será desechado y debe realizarse uno nuevo con otra parte de la muestra.

- Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto (NTP 339.184.2023).

Este método permite medir la temperatura de la mezcla de concreto en estado fresco ya sea en el equipo de transporte o después de la descarga, si el sensor del dispositivo de medición de temperatura está rodeado por al menos de 75 mm de recubrimiento de concreto en todas las direcciones. Luego de ello, se coloca el dispositivo de medición de temperatura en la mezcla de concreto fresco, de tal modo que el sensor esté sumergido un mínimo de 75 mm. Presionar levemente el concreto en la superficie alrededor del dispositivo de medición de temperatura para que la temperatura ambiente no afecte la lectura por un tiempo mínimo de 2 minutos, pero no más de 5 minutos, y a continuación leer y registrar la temperatura, con una precisión de 0,5 °C. No retirar el dispositivo del concreto durante la lectura de la temperatura.

- Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto) (NTP 339.046.2008).

Colocar el concreto en el recipiente de medición, previamente humedecido, en tres capas de aproximadamente igual volumen. Apisonar cada capa con 25 golpes de la barra compactadora cuando se utilicen recipientes de medida nominal de 14 L o más pequeños; 50 golpes cuando se utilicen recipientes de medida nominal de 28 L y un golpe por cada 15 cm<sup>2</sup> de superficie para recipientes de medición más grandes. Distribuir los golpes uniformemente sobre la sección transversal del recipiente y para la segunda y tercera capa, la barra compactadora debe penetrar aproximadamente 25 mm en la capa subyacente. Después de que cada capa ha sido apisonada se debe golpear con el los lados del recipiente, 10 a 15 veces, usando la fuerza apropiada para cerrar cualquier poro causado por la barra de apisonado y eliminar las burbujas grandes de aire atrapadas. Agregar la última capa para evitar el sobrellenado. Finalmente se determina el peso de la muestra en el molde para calcular la densidad.

- Contenido de aire en el concreto

Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión (NTP 339.080).

Este método tiene por objetivo determinar el contenido de aire de concretos con agregados densos y relativamente densos excluyendo el aire que puedan contener las partículas de los agregados. Cabe resaltar, que este método no se debe usar para concretos con agregados ligeros, escoria de fundición, agregados con alta porosidad y tampoco para concretos no plásticos como los usados en unidades de albañilería (1.2 – ASTM).

Método de ensayo volumétrico para determinar el contenido de aire del concreto fresco (NTP 339.081).

Este método determina el contenido de aire de cualquier tipo de concretos, como agregado ligero, normal y pesado. Además, determina el contenido de aire en la fracción de mortero del concreto, pero no es afectada por el aire que puede estar presente en las partículas porosas del agregado. Por último, si el concreto contiene agregado mayor a 1 1/2", tamizar la muestra en un tamiz de 1".

- Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo (NTP 339.033.2009).

Los especímenes cilíndricos para determinar la resistencia a la compresión, deben ser cilindros vaciados y fraguados en posición vertical. El número y tamaño de los cilindros serán establecidos en las especificaciones de los ensayos. Adicionalmente, la longitud debe ser el doble del diámetro y el diámetro del cilindro debe ser por lo menos tres veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso. Cuando el tamaño nominal máximo del agregado grueso exceda 50 mm, la muestra de concreto se debe tamizar por vía húmeda a través del tamiz de 50 mm, tal como se describe en al NTP 339.036. Para ensayos de aceptación para la resistencia especificada a la compresión, los cilindros deben ser de 150mm x 300mm o 100mm x 200mm.

- Ensayos de concreto en estado endurecido
  - Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034.2015).

El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad que se encuentra en un rango prescrito hasta la falla. La resistencia a la compresión del espécimen es calculado por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección transversal del espécimen.

- Método de ensayo para determinar la velocidad de absorción de agua en concretos de cemento Portland (NTP 339.232.2010).

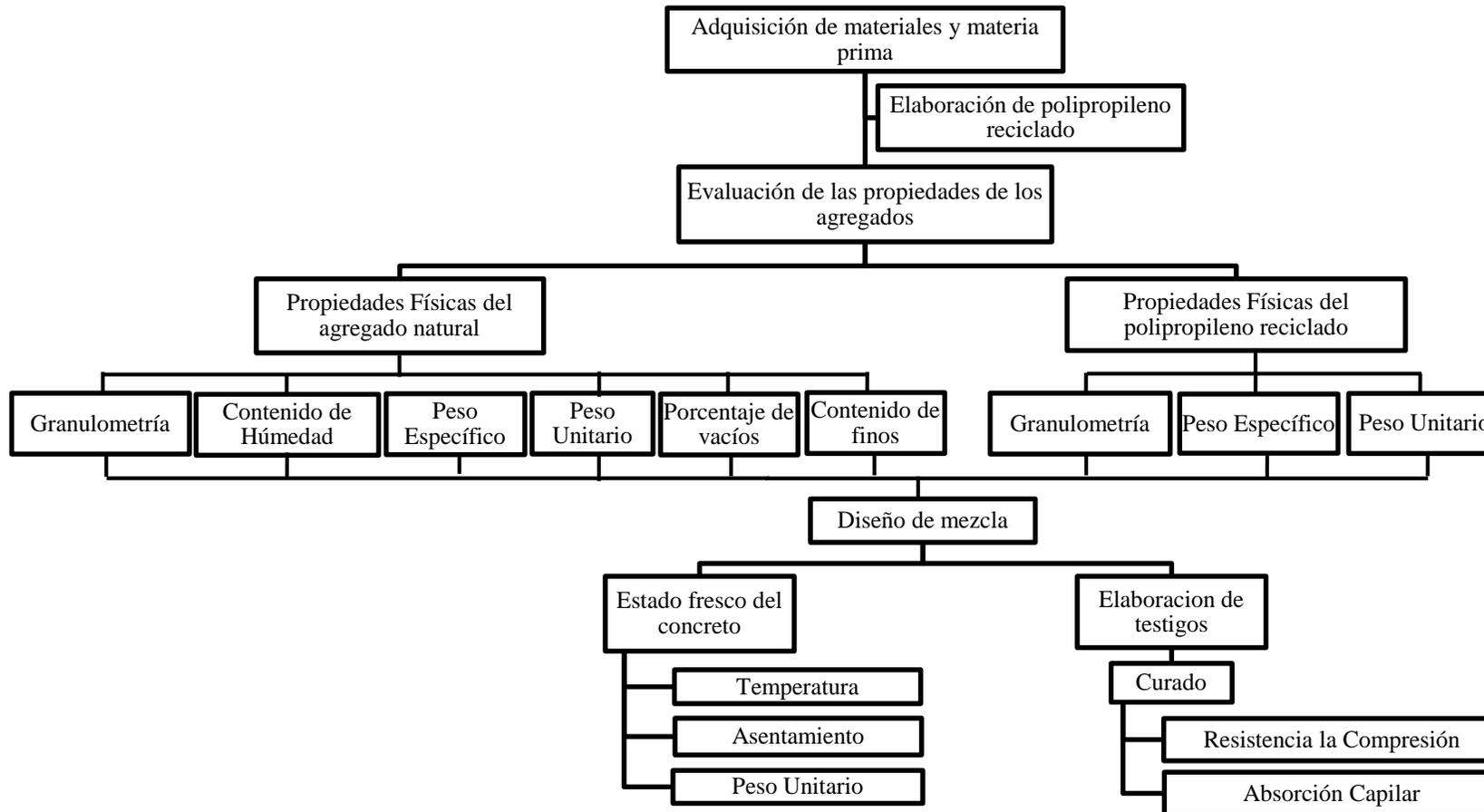
Este método establece la determinación de la velocidad de absorción del agua en concretos de cemento hidráulicos, al medir el incremento en la masa del espécimen que resulta de la absorción del agua, como una función de tiempo, cuando sólo una superficie del espécimen es expuesta al agua. La superficie expuesta del espécimen se sumerge en agua, que durante el contacto inicial y mediante succión capilar ingresa por los poros de la superficie de concreto no saturado.

## 2.3. Procedimientos

### 2.3.1. Procedimiento experimental.

La *Tabla N° 10* expresa la secuencia experimental que se realizará en la investigación.

**Tabla N° 10:** Secuencia experimental.



*Fuente:* Elaboración propia, 2020.

➤ Adquisición de materiales

La adquisición de materiales se realizó mediante la empresa CONSORCIO RODRÍGUEZ CABALLERO ubicada en la urbanización Las Casuarinas Mza. B Lote. 08 en la ciudad de Trujillo – La Libertad. La empresa se dedica al rubro de la construcción y venta de materiales, además de contar con una cantera en la carretera Huanchaco (ver **ANEXO N° 5**) de donde se extrajo el agregado fino y grueso para evaluar sus propiedades, y con la conformidad de ello realizar diseños de mezclas para luego elaborar las probetas. La ubicación exacta en coordenadas de la cantera de donde se extrajo el material para la presente investigación se ve reflejada en la **Tabla N° 11** y la ubicación está plasmada en un mapa como se muestra en la **Figura N° 10**.

**Tabla N° 11:** Ubicación exacta en coordenadas.

Coordenadas de la cantera de extracción de los agregados	
Oeste	79°03'47.5"
Sur	7°58
Elevación	235

*Fuente:* Google Earth.



**Figura N° 10:** Ubicación de la cantera.  
Google maps.

Adquisición de materia prima y elaboración de agregado de polipropileno reciclado.

La adquisición de la materia prima (tapas plásticas) para la elaboración del agregado grueso de polipropileno reciclado se produjo gracias a la ayuda de familiares y amigos. Luego de contar con la materia prima se procedió a la fundición de la misma, después se introduce a un molde de aluminio con la forma del agregado grueso deseado y se comprime para eliminar los excesos, por último esperar su solidificación y obtenemos el agregado grueso de polipropileno reciclado como se observa en la *Figura N° 11*.



*Figura N° 11:* Agregado grueso plástico. Elaboración propia, 2020.

- Evaluación de las propiedades de los agregados
  - Ensayos de las propiedades físicas del agregado grueso natural y artificial
    - ✓ Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, según la NTP 400.012.2013.

Para el agregado fino se utilizará una cantidad mínima de 500 gramos, para el agregado grueso será una cantidad de 3000 gramos y para el agregado de polipropileno reciclado se trabajará como

equivalente en volumen del peso del agregado grueso. Los agregados tienen que cumplir con los límites de huso establecidos en la NTP 400.037.2014 Especificaciones para agregados en concreto.

La clasificación del agregado fino se realizó en cumplimiento del huso granulométrico dispuesto en la **Tabla N° 12**.

**Tabla N° 12:** Granulometría del agregado fino.

Abert. (mm)	Tamiz	Límites de Huso
9.5 mm	3/8 in.	100 a 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
0.60 mm	N° 30	25 a 60
0.30 mm	N° 50	05 a 30
0.15 mm	N° 100	0 a 10
0.15 mm	N° 200	0 a 05

**Fuente:** NTP 400.037.201.

En la **Tabla N° 13** se observa distintos tipos de huso granulométrico, para determinar la clasificación del agregado grueso natural, en la presente investigación se determinó un huso 57 en función al tamaño máximo nominal.

**Tabla N° 13:** Requisitos granulométricos del agregado grueso, huso 57.

Huso	T.M.N.	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		4"	3 ½"	3"	2 ½"	2"	1 ½"	(1 in.)	(¾ in.)	(½ in.)	(3/8 in.)	(N° 4)	(N° 8)	(N° 16)	(N° 50)
1	3 ½" a 1 ½"	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	2 ½" a 1 ½"	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	2" a 1"	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	2" a N° 4	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	1 ½" a ¾"	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 5	-	0 a 5	-	-	-	-
467	1 ½" a N° 4	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	1" a ½"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	1" a 3/8"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	1" a N° 4	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	¾" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	¾" a N° 4	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	½" a N° 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	3/8" a N° 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	3/8" a N° 16	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	N°4 a N° 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

*Fuente:* NTP 400.037.2014.

En la **Tabla N° 14** se muestra los requisitos granulométricos para el agregado de polipropileno reciclado que se determinó en función al tamaño máximo nominal.

**Tabla N° 14:** Requisitos granulométricos del agregado de polipropileno reciclado, huso 56.

Abert. (mm)	Tamiz	Límites de Huso
37.5 mm	1 1/2 in.	100 a 100
25.0 mm	1 in.	90 a 100
19.0 mm	3/4 in.	40 a 85
12.5 mm	1/2 in.	10 a 40
9.50 mm	3/8 in.	0 a 15
4.75 mm	N° 4	0 a 05

*Fuente: NTP 400.037.2014.*

Los resultados granulométricos obtenidos del agregado fino que va desde el tamiz 3/8" hasta N°200, del agregado grueso del tamiz 1 1/2" hasta N° 16 y del agregado de polipropileno reciclado que va desde el tamiz 1 1/2" hasta N°4 se ordenarán en el formato de la **Tabla N° 15** para cada agregado.

**Tabla N° 15:** Formato de granulometría para los tres tipos de agregados.

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% Que Pasa	NTP 400.037:2014 Limites
1 1/2 in.	37.5 mm					
1 in.	25.0 mm					
3/4 in.	19.0 mm					
1/2 in.	12.5 mm					
3/8 in.	9.50 mm					
N° 4	4.75 mm					
N° 8	2.36 mm					
N° 16	1.18 mm					
N° 30	0.60 mm					
N° 50	0.30 mm					
N° 100	0.15 mm					
N° 200	0.15 mm					

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

Para clasificar los agregados se determinó el módulo de finura (MF) mediante la **Ecuación N° 15**:

**Ecuación N° 15: Cálculo del módulo de finura.**

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acm. en los tamices (1 1/2" ; 3/4" ; 3/8 ; #4 ; #8 ; #16 ; #30 ; #50 ; #100 ; #200)}}{100}$$

- ✓ Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado según la NTP 339.185.2013.

De acuerdo con la norma la cantidad de agregado fino será de 300 gramos y para el agregado grueso un mínimo de 3000 gramos. El agregado polipropileno reciclado asumirá un contenido de humedad nulo debido a las características de impermeabilidad del polipropileno.

Para determinar el contenido de humedad se realizó mediante la **Ecuación N° 16** como lo describe la norma.

**Ecuación N° 16: Contenido de humedad total.**

$$P = 100 \left( \frac{W}{D} \right)$$

Donde:

P = Contenido de humedad total.

W = Masa original de la muestra (gr.)

D = Masa seca de la muestra (gr.)

Los resultados obtenidos del ensayo de contenido de humedad tanto para el agregado fino como para el agregado grueso serán ordenados en el formato de la **Tabla N° 16**.

**Tabla N° 16:** Formato de contenido de humedad.

Descripción	Contenido de humedad			
	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A = Peso del Recipiente	(gr.)			
B = Peso del Recipiente + Muestra Húmeda	(gr.)			
C = Peso del Recipiente + Muestra Seca	(gr.)			
W = (B – A) = Peso Muestra Húmeda	(gr.)			
D = (C – A) = Peso Muestra Seca	(gr.)			
Contenido de humedad = (W – D)/D X 100	(%)			
Contenido de humedad promedio	(%)			

*Fuente:* Elaboración propia, 2020.

- ✓ Método Peso específico y Absorción del agregado grueso y fino según la NTP 400.021.2013 y NTP 400.022.2013.

De acuerdo con la norma la cantidad de agregado fino será de 500 gramos y para el agregado grueso un mínimo de 3000 gramos. El polipropileno reciclado se trabajará en función del peso del agregado natural para el peso específico y para el ensayo de absorción se considera nulo debido a las características propias del polipropileno. Para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso se realizaron las siguientes ecuaciones descritas en la norma.

**Ecuación N° 17:** *Peso específico de masa.*

$$P. E. M. = \frac{G}{E - F}$$

**Ecuación N° 18:** *Peso específico saturado superficialmente seco.*

$$P. E. S. S. S. = \frac{E}{E - F}$$

**Ecuación N° 19:** *Peso específico aparente.*

$$P. E. A. = \frac{G}{G - F}$$

***Ecuación N° 20: Absorción.***

$$\text{Abs (\%)} = \frac{E - G}{G} \times 100$$

Donde:

E = Peso de la muestra saturada (gr.)

F = Peso de la muestra sumergida (cm<sup>3</sup>)

G = Peso de muestra seca (gr.)

Los resultados obtenidos de los ensayos de peso específico y absorción serán ordenados en el formato de la **Tabla N° 17** para el agregado grueso, en la **Tabla N°18** para el agregado fino y respecto al agregado de polipropileno reciclado se ordenarán los resultados de peso específico en la **Tabla N° 19**.

**Tabla N° 17: Formato de peso específico y absorción del agregado grueso.**

Peso específico y absorción del agregado grueso				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A=Peso de la muestra secada en horno al aire	(gr.)			
B=peso de la muestra en estado SSS al aire	(gr.)			
C=peso de la muestra saturada en agua	(gr.)			
P.E.A. = A/(A-C)	(gr.)			
P.E.A. Promedio	(gr.)			
P.E.M. = A/(B-C)	(gr.)			
P.E.M. Promedio	(gr.)G			
P.E.S.S. = B/(B-C)	(gr.)			
P.E.S.S. Promedio	(kg/m <sup>3</sup> )			
Absorción = (B-A/A) x 100g	(kg/m <sup>3</sup> )			
Absorción Promedio	(kg/m <sup>3</sup> )			

**Fuente:** *Elaboración propia, 2020.*

Para determinar el peso específico y absorción del agregado fino se realizaron las siguientes ecuaciones.

**Ecuación N° 21: Peso específico de masa.**

$$P. E. M. = \frac{E}{F + S - G}$$

**Ecuación N° 22: Peso específico saturado superficialmente seco.**

$$P. E. S. S. S. = \frac{S}{F + S - G}$$

**Ecuación N° 23: Peso específico aparente.**

$$P. E. A. = \frac{E}{F + E - G}$$

**Ecuación N° 24: Absorción.**

$$\text{Abs (\%)} = \frac{S - E}{E} \times 100$$

Donde:

E = Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr.)

F = Peso de fiola + agua (cm<sup>3</sup>)

G = Peso de fiola + muestra + agua (gr.)

S = Peso de la muestra saturada (gr.)

**Tabla N° 18: Formato de peso específico y absorción del agregado fino.**

Peso específico y absorción del agregado fino				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A= Peso de la muestra secada en horno	(gr.)			
B = Peso del picnómetro lleno de agua	(gr.)			
C = Peso picnómetro + muestra + agua	(gr.)			
D = Peso de la muestra en estado SSS	(gr.)			
P.E.A. = A/(B+D-C)	(gr.)			
P.E.A. Promedio	(cm <sup>3</sup> )			
P.E.M. = A/(B+A-C)	(gr.)			
P.E.M. Promedio	(gr.)			
P.E.S.S. = D/(B+D-C)	(kg/m <sup>3</sup> )			
P.E.S.S. Promedio	(kg/m <sup>3</sup> )			
Absorción = (D-A/A) x 100g	(kg/m <sup>3</sup> )			
Absorción Promedio	(kg/m <sup>3</sup> )			

**Fuente: Elaboración propia, 2020.**

Para determinar el peso específico del polipropileno reciclado se realizaron las siguientes ecuaciones.

**Ecuación N° 25: Volumen desplazado.**

$$V.D. = V_1 - V_2$$

**Ecuación N° 26: Peso específico del agregado grueso artificial.**

$$\gamma_{A.G.A} = \frac{W_{A.G.A}}{V.D.}$$

Donde:

$V.D.$  = Volumen desplazado (cm<sup>3</sup>)

$W_{A.G.A}$  = Peso de la muestra (gr.)

$V_1$  = Peso de la probeta + agua (cm<sup>3</sup>)

$V_2$  = Peso de la probeta + muestra + agua (cm<sup>3</sup>)

$\gamma_{A.G.A}$  = Peso específico del agregado grueso artificial (gr/cm<sup>3</sup>)

**Tabla N° 19: Formato de peso específico del polipropileno reciclado.**

Peso específico del polipropileno reciclado				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
$W_{A.G.A}$ = Peso de la muestra	(gr.)			
$V_1$ = Peso del recipiente + agua	(cm <sup>3</sup> )			
$V_2$ = Peso recipiente + muestra + agua	(gr.)			
$V.D. = (V_1 - V_2)$	(cm <sup>3</sup> )			
Peso Específico = ( $W_{A.G.A}/V.D.$ )	(gr/cm <sup>3</sup> )			
Peso Específico Promedio	(gr/cm <sup>3</sup> )			

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

- ✓ Método de ensayo normalizado para determinar el peso Unitario y los vacíos en los agregados según la NTP 400.017.2011.

Se utilizara un mínimo de material de 8000 gramos para el agregado fino y el agregado grueso; para el polipropileno reciclado se trabajará de manera equivalente del peso del agregado grueso en volumen. La

capacidad del recipiente para determinar el peso unitario se elegirá de la **Tabla N° 20** y está en función al tamaño máximo nominal.

**Tabla N° 20:** Capacidad de los recipientes.

Tamaño máximo nominal del agregado		Capacidad del recipiente	
Mm	Pulgadas	m <sup>3</sup>	p <sup>3</sup>
12.5	½	0.0028 (2.8)	1/10
25.0	1	0.0093 (9.3)	1/3
37.5	1 ½	0.0140 (1.4)	1/2
75.0	3	0.0280 (28)	1
112.0	4	0.0700 (70)	2 ½
150.0	5	0.10000 (100)	3 ½

*Fuente: NTP 400.017.2011.*

Para determinar el espesor del metal en el recipiente será como se describe en la **Tabla N° 21**.

**Tabla N° 21:** Requisitos para los recipientes.

Capacidad del recipiente	Espesor del metal mínimo		
	Base	Sobre 38 mm de pared	Resto de pared
menor que 11L	5.0 mm	2.5 mm	2.5 mm
11 a 42 L inc.	5.0 mm	5.0 mm	3.0 mm
De 42 a 80 L inc.	10.0 mm	6.4 mm	3.8 mm
De 80 a 133 L inc.	13.0 mm	7.6 mm	5.0 mm
menos que 0.4 p <sup>3</sup>	0.20 pulg.	0.10 pulg.	0.10 pulg.
de 0.4 a 1.5 p <sup>3</sup>	0.20 pulg.	0.20 pulg.	0.12 pulg.
de 1.5 a 2.8 p <sup>3</sup>	0.40 pulg.	0.25 pulg.	0.15 pulg.
de 2.8 a 4.0 p <sup>3</sup>	0.50 pulg.	0.30 pulg.	0.20 pulg.

*Fuente: NTP 400.017.2011.*

Para determinar el peso unitario suelto y compactado del agregado fino grueso y artificial se calculó mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación N° 27:** Peso unitario.

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M = Peso Unitario del agregado (gr. /cm<sup>3</sup>)

G = Peso del recipiente de medida del agregado (gr.)

T = Peso del recipiente de medida (gr.)

M = Volumen del molde (cm<sup>3</sup>)

Los resultados obtenidos del ensayo de peso unitario suelto y compactado para los tres tipos de agregados serán ordenados en el formato de la **Tabla N° 22**.

**Tabla N° 22:** Formato de peso unitario suelto y compactado de los agregados.

Peso unitario suelto y compactado de los agregados				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del recipiente (gr.)	(gr.)			
V = volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> )	(gr.)			
G = T + Peso de la muestra	(gr.)			
Peso Unitario = (G-T) / V	(cm <sup>3</sup> )			
Peso Unitario Promedio	(kg/cm <sup>3</sup> )			

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

Para determinar el contenido de vacíos del agregado fino, grueso y artificial se utilizó la siguiente ecuación:

**Ecuación N° 28:** Contenido de vacíos.

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100$$

Donde:

A = Peso específico aparente (gr. /cm<sup>3</sup>)

B = Peso Unitario seco (gr. /cm<sup>3</sup>)

W = Peso unitario agua (gr. /cm<sup>3</sup>)

Los resultados obtenidos del porcentaje de contenido de vacíos tanto para el agregado fino, grueso y plástico serán ordenados en el formato de la **Tabla N° 23**.

**Tabla N° 23:** Formato de contenido de vacíos.

Descripción	Contenido de vacíos			
	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
W = Peso unitario agua	(gr/cm <sup>3</sup> )			
A = Peso específico aparente	(gr/cm <sup>3</sup> )			
B = Peso Unitario del agregado	(gr/cm <sup>3</sup> )			
Cont. de vacíos=((AxW)-B/(AxW)) x 100	(%)			
Promedio del contenido de vacíos	(%)			

*Fuente:* Elaboración propia, 2020.

- ✓ Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 µm (N° 200) por lavado en agregados según la NTP 400.018.2011.

El contenido mínimo de material de agregado fino después de ser secado será de 300 gramos y para el agregado grueso será de 2500 gramos como lo describe la norma, además de determinar mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación N° 29:** Contenido de finos.

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado de 75 µm (N° 200) por vía húmeda.

P1 = Masa seca de la muestra original (gr).

P2 = Masa seca de la muestra luego del lavado (gr).

Los resultados obtenidos del porcentaje de contenido de finos tanto para el agregado fino y grueso serán ordenados en el formato de la **Tabla N° 24**, en tanto en el agregado de polipropileno reciclado no

se realizó este ensayo debido a que no cuenta con finos por la forma como está fabricado.

**Tabla N° 24:** Formato de contenido de finos.

Descripción	Contenido de finos			
	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A = Peso muestra seca sin lavar	(gr.)			
B = Peso muestra seca lavada	(gr.)			
Contenido de finos = $((A - B)/A) \times 100$	(%)			
Promedio de contenido de finos	(%)			

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

➤ Diseño de mezcla según el método ACI 211.1

Para realizar el diseño de mezclas de esta investigación se consideró como base el procedimiento de diseño bastante simple del comité ACI. Antes de comenzar el proceso de dosificación es fundamental conocer ciertos datos iniciales relacionados con la estructura, los materiales y registros estadísticos.

Pasos a seguir para el diseño de mezclas por el método ACI 211.1

- Definir el T.M.N. y el módulo de finura del agregado grueso mediante el análisis granulométrico.
- Definir el asentamiento del concreto.
- Calcular el agua de la mezcla y el contenido de aire mediante la **Tabla N°**

25.

**Tabla N° 25:** Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado.

Tamaño máximo de la grava (mm)								
Revenimiento(cm)	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Aire atrapado aprox. (%)	3	2.5	2	1.5	1.5	1	0.5	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%)								
Exposición ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

**Fuente:** ACI 211.1-91

- Selección de la relación agua-cemento por resistencia a la compresión a los 28 días de la **Tabla N° 26**.

**Tabla N° 26:** Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión.

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento (a partir del peso)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	---
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

**Fuente:** ACI 211.1-91

- Estimación del contenido de agregado grueso por unidad de volumen de concreto. En la **Tabla N° 27** tendremos el volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para los diversos módulos de finura del agregado fino.

**Tabla N° 27:** Volumen de agregado grueso ( $m^3$ ) por volumen unitario de concreto.

Tamaño máximo del agregado grueso (mm)	Módulo de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

*Fuente:* ACI 211.1-91

- Estimación del contenido de agregado grueso fino mediante la transformación a volumen absoluto como se muestra en las siguientes ecuaciones:

Calculo de la cantidad de cemento para  $1 m^3$  de concreto.

**Ecuación N° 30:** Cantidad de cemento.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Cantidad de cemento (Kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

Calculo de la cantidad de agua para  $1 m^3$  de concreto.

**Ecuación N° 31:** Cantidad de agua.

$$\text{Agua} = \frac{\text{cantidad de agua (Kg)}}{\text{Peso específico } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

Calculo de la cantidad de aire incorporado para  $1 m^3$  de concreto.

**Ecuación N° 32:** Cantidad de aire incorporado.

$$\text{Aire} = \frac{\text{Porcentaje}}{100}$$

Para calcular el peso del agregado grueso se realizará con la siguiente ecuación:

**Ecuación N° 33:** Peso del agregado grueso.

**Cantidad de agregado grueso = PUCS x Factor\***

\*Ver Tabla N° 27.

Calculo del volumen del agregado grueso para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

**Ecuación N° 34:** Cantidad de volumen de agregado grueso.

$$\text{Vol. del A. G.} = \frac{\text{cantidad de agregado grueso (Kg)}}{\text{Peso especifico } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

Calculo del volumen del agregado fino para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

**Ecuación N° 35:** Cantidad de agregado fino.

$$\text{Vol. de A. F.} = 1\text{m}^3 - \left(\sum \text{vol. (cemento + agua + aire + vol. A. G.)}\right)$$

Para calcular el peso del agregado fino se realizará con la siguiente ecuación:

**Ecuación N° 36:** Peso del agregado fino.

$$\text{Peso del A. F.} = \text{Vol. de A. F.} \times \text{Peso especifico } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$$

- Presentación del diseño en estado en seco.

- Para los ajustes por absorción y humedad de los agregados se realizarán las siguientes ecuaciones:

**Ecuación N° 37:** Corrección por humedad de los agregados.

$$\text{Corrección de agregados} = \text{agregados secos} \times \left( \frac{\% \text{ humedad}}{100} + 1 \right)$$

**Ecuación N° 38:** Corrección por absorción de los agregados.

$$\text{Corrección de agregados} = \text{agregados secos} \times \left( \frac{\% \text{ absorción}}{100} + 1 \right)$$

- Para determinar el agua corregida por aporte de agregados se utilizó la siguiente ecuación:

**Ecuación N° 39:** Aporte de agua a la mezcla.

$$\text{Aporte de agua de agregados} = \text{agregados secos} \times \left( \frac{\% \text{ hum.} - \% \text{ abs.}}{100} \right)$$

- Para establecer el agua efectiva se estimó mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación N° 40:** Agua efectiva de la mezcla.

$$\text{Agua Corr. Hum.} = \text{Can. Agua} - \left( \sum \text{de aportes de agregados} \right)$$

- Finalmente a los valores obtenidos en Kg. y Lt. se dividirán entre el peso del cemento y el agua entre el factor cemento dando como resultado las proporciones del diseño de mezcla y serán ordenados en el formato de la **Tabla N° 28.**

**Tabla N° 28:** Formato de proporciones de diseño de mezcla final.

Proporciones del diseño de mezclas						
Materiales	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	100%
Cemento	(kg)					
Agregado Fino	(kg)					
Agregado Grueso	(kg)					
Agregado Grueso Artificial	(kg)					
Agua	(Lt)					

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

➤ Ensayos del concreto

- Ensayos del concreto en estado fresco.
  - ✓ Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto según la NTP 339.184.2013.

Se determinó la temperatura del concreto en estado fresco en cumplimiento a la norma, el promedio de cada variación del porcentaje de agregado durante el ensayo de peso unitario y todos los resultados obtenidos se ordenaran en la **Tabla N° 29**.

**Tabla N° 29:** Formato de temperatura del concreto es estado fresco.

Temperatura						
Descripción del ensayo	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	% 100
Temperatura	C°					
Temperatura promedio	C°					

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

- ✓ Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland según la NTP 339.035.2009.

Se determinó el asentamiento del concreto en estado fresco en cumplimiento a la norma y se realizó a cada diseño de mezclas en

función a la variación del porcentaje de agregado grueso y todos los datos obtenidos se registrarán en el formato de la **Tabla N° 30**.

**Tabla N° 30:** Formato de asentamiento del concreto en estado fresco.

Descripción del ensayo	Asentamiento					
	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	% 100
Asentamiento	(kg/m <sup>3</sup> )					
Asentamiento promedio	(kg/m <sup>3</sup> )					

*Fuente:* Elaboración propia, 2020.

- ✓ Método de ensayo para determinar el peso unitario y contenido de aire del concreto según la NTP 339.046.2008.

Se determinó la masa neta del concreto en kilogramos restando la masa del recipiente como lo establece la norma y se realizó a cada diseño de mezclas en función a la variación del porcentaje de agregado grueso, para el determinar el volumen del medidor, este estará en función al tamaño máximo nominal del agregado como lo muestra la **Tabla N° 31** y todos los datos obtenidos se registrarán en el formato de la **Tabla N° 32**.

**Tabla N° 31:** Volumen del medidor en función al tamaño nominal del agregado.

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Volumen del medidor (L)
25	6
37.5	11
50	14
75	28
112	70
150	100

*Fuente:* (ASTM C138, s.f.)

Para determinar el peso unitario del concreto en estado fresco se utilizó la siguiente ecuación:

***Ecuación N° 41: Peso unitario del concreto en estado fresco.***

$$D = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

D = Peso unitario del concreto en estado fresco kg/m<sup>3</sup>.

G = Peso total del molde más el concreto kg.

T = Peso del molde kg.

V = Volumen del molde m<sup>3</sup>.

Para determinar rendimiento del concreto en estado fresco se utilizaron las siguientes ecuaciones:

***Ecuación N° 42: Rendimiento.***

$$Y = \frac{M}{D}$$

Donde:

Y = Rendimiento m<sup>3</sup>.

D = Densidad kg/m<sup>3</sup>.

M = Masa total de los materiales kg.

***Ecuación N° 43: Rendimiento relativo.***

$$RY = \frac{Y}{Yd}$$

Donde:

RY = Rendimiento relativo.

Y = Rendimiento m<sup>3</sup>.

Yd = Volumen de concreto diseñado m<sup>3</sup>.

Para determinar el contenido de aire del concreto en estado fresco se utilizó la siguiente ecuación:

**Ecuación N° 44:** *Contenido de aire del concreto.*

$$A = \frac{T - D}{T} \times 100$$

**Tabla N° 32:** *Formato de peso unitario del concreto en estado fresco.*

Peso unitario del concreto en estado fresco				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del molde	(kg)			
V = Volumen del molde	(m <sup>3</sup> )			
G = Peso del molde + Peso muestra	(kg)			
Peso unitario = (G-T)/V	(kg/m <sup>3</sup> )			
Peso unitario promedio	(kg/m <sup>3</sup> )			

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

- Ensayos del concreto en estado endurecido.
  - ✓ Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas según la NTP 339.034.2015.

Después del proceso de curado para 7 y 28 días, la norma indica que se someterán los testigos a una fuerza de compresión axial la cual mediante la **Ecuación N° 45** se registraran la resistencia a la compresión que soportan y los resultados obtenidos se ordenaran en el formato de la **Tabla N° 33**.

**Ecuación N° 45:** *Resistencia a la compresión.*

$$f'c = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}}$$

**Tabla N° 33:** Formato de la resistencia a la compresión.

Resistencia a la compresión.						
Porcentaje (%)	Muestras	Fuerza (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
0	Muestra 1					
	Muestra 2					
	Muestra 3					
25	Muestra 1					
	Muestra 2					
	Muestra 3					
50	Muestra 1					
	Muestra 2					
	Muestra 3					
75	Muestra 1					
	Muestra 2					
	Muestra 3					
100	Muestra 1					
	Muestra 2					
	Muestra 3					

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

- ✓ Método de ensayo para determinar la velocidad de absorción de agua en concretos de cemento Portland según la NTP 339.232.2010.

De acuerdo a la norma, se realizó el seguimiento del incremento de masa a los 60 segundos, 5, 10, 20, 30, 60 minutos, luego cada hora hasta 6 horas, un día hasta 3 días, del día 4 a 7 3 medidas separadas 24 horas y del día 7 a 9 una medida, hasta que la variación de masa del testigo de 100 mm x 50 mm resulte menor que 0.1% entre dos determinaciones sucesivas de la masa húmeda y los datos de la velocidad por succión capilar se registraron en el formato de la **Tabla N° 34** y los de capacidad de succión capilar en la **Tabla N° 35**.

**Tabla N° 34:** Formato de velocidad de succión capilar.

Velocidad de succión capilar					
Porcentaje de agregado de polipropileno reciclado	0	25	50	75	100
S(g/(m <sup>2</sup> .S <sup>1/2</sup> ))					
R <sup>2</sup>					

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

**Tabla N° 35:** Formato de capacidad de succión capilar.

Capacidad de succión capilar					
Porcentaje de agregado de polipropileno reciclado	0	25	50	75	100
Día (00:05)					
Día (00:10)					
Día (00:20)					
Día (00:30)					
Día (01:00)					
Día (02:00)					
Día (03:00)					
Día (04:00)					
Día (05:00)					
Día (06:00)					
Día (24:00)					
Día (36:00)					
Día (48:00)					
Día (60:00)					
Día (72:00)					
Día (84:00)					
Día (96:00)					
Día (108:00)					

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Caracterización de Agregados

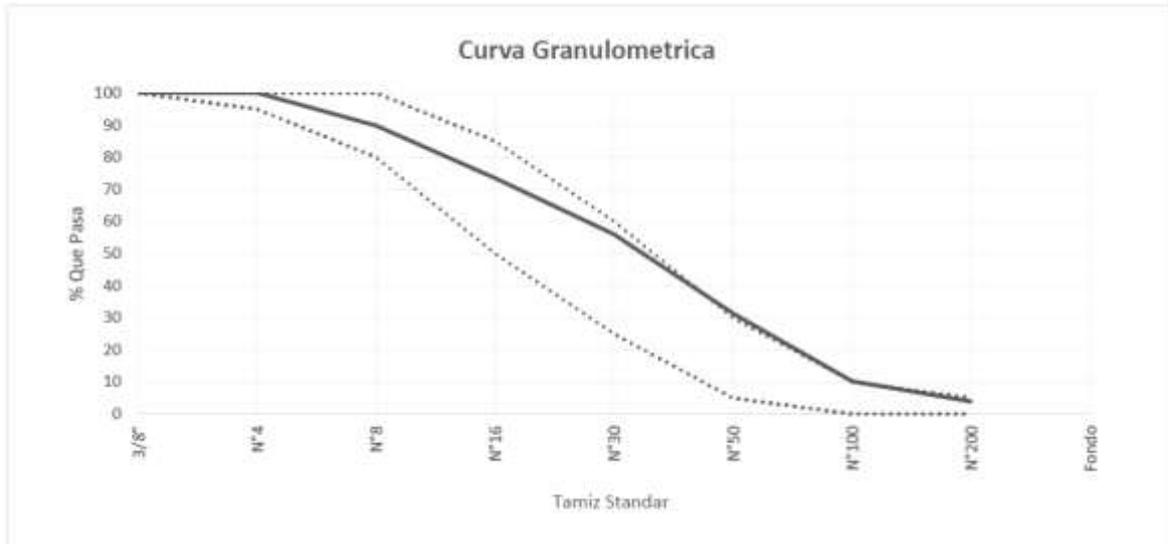
#### 3.1.1. Caracterización del agregado fino

La *Tabla N° 36* comprende el promedio de resultados en los ensayos realizados para la caracterización del agregado fino. Conjuntamente se muestra la distribución del tamaño de partículas del agregado fino en el huso granulométrico dispuesto en la norma NTP 400.037:2014, *Figura N° 12*.

*Tabla N° 36: Resultados promedio de los ensayos de caracterización del agregado fino.*

Propiedades físicas y mecánicas	Unidad de medida	Resultado
Módulo de finura	(MF)	2.39
Gravas	(%)	0.0
Arenas	(%)	96.1
Finos	(%)	3.9
Humedad	(%)	0.50
Peso específico nominal	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.66
Peso específico aparente	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.74
Peso específico s.s.s.	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.69
Peso unitario suelto	(kg/m <sup>3</sup> )	1627
Peso unitario compactado	(kg/m <sup>3</sup> )	1765
Absorción	(%)	1.10
Contenido de finos	(%)	4.69
Contenido de vacíos agregado suelto	(%)	40.61
Contenido de vacíos agregado compactado	(%)	35.58

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*



**Figura N° 12:** Curva granulométrica del agregado fino. Elaboración propia, 2020

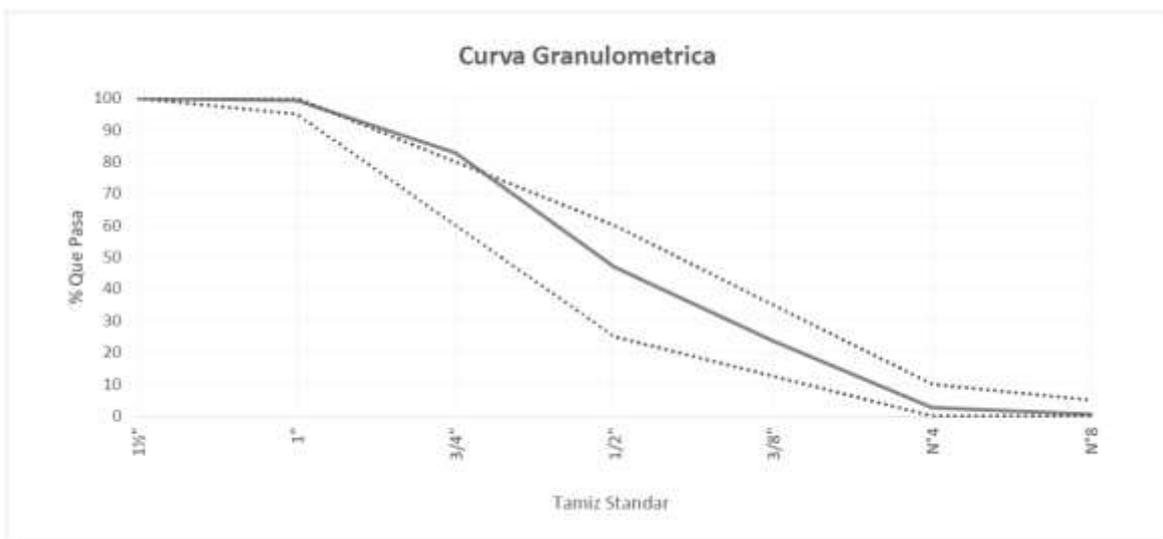
### 3.1.2. Caracterización del agregado grueso

En la **Tabla N° 37** se muestra los resultados promedios de los ensayos para la caracterización del agregado grueso. Además, en la **Figura N° 13** se muestra la gradación del agregado grueso en el huso granulométrico 57 según la norma NTP 400.037:2014.

**Tabla N° 37:** Resultados promedio de los ensayos de caracterización del agregado grueso.

Propiedades físicas y mecánicas	Unidad de medida	Resultado
Módulo de finura	(MF)	6.9
Gravas	(%)	97.4
Arenas	(%)	2.0
Finos	(%)	0.6
Humedad	(%)	0.40
Peso específico nominal	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.70
Peso específico aparente	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.77
Peso específico s.s.s.	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.72
Peso unitario suelto	(kg/m <sup>3</sup> )	1432
Peso unitario compactado	(kg/m <sup>3</sup> )	1565
Absorción	(%)	0.96
Contenido de finos	(%)	0.28
Contenido de vacíos agregado suelto	(%)	46.92
Contenido de vacíos agregado compactado	(%)	42.01

*Fuente:* Elaboración propia, 2020.



**Figura N° 13:** Curva granulométrica del agregado grueso. Elaboración propia, 2020.

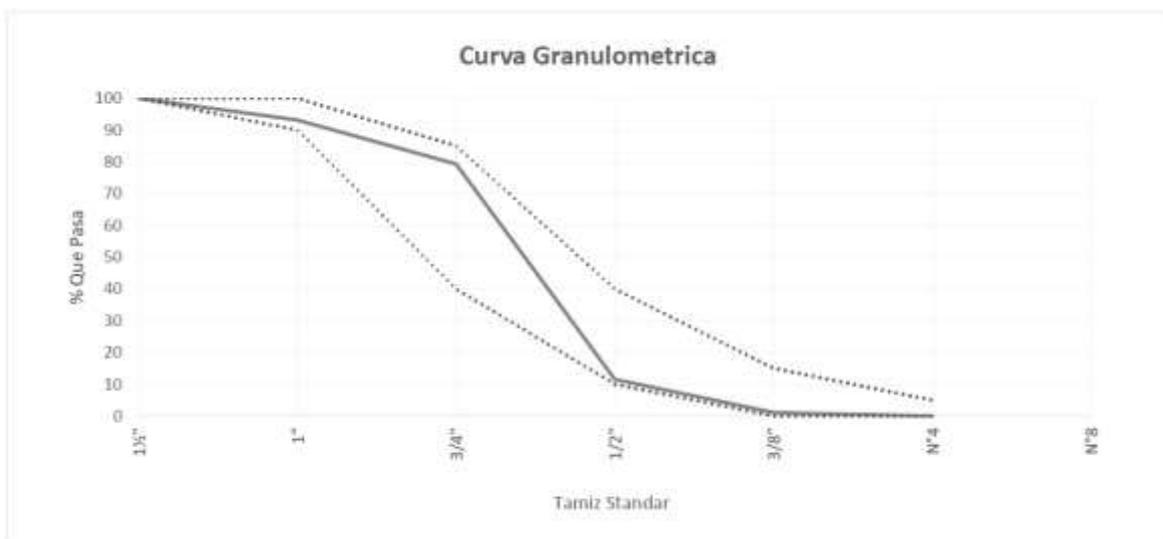
### 3.1.3. Caracterización del agregado de polipropileno reciclado

En la **Tabla N° 38** se muestra los resultados promedios de los ensayos para la caracterización del agregado grueso plástico. Además, en la **Figura N° 14** se muestra la gradación del agregado grueso plástico en el huso granulométrico 67 según la norma NTP 400.037:2014.

**Tabla N° 38:** Resultados promedio de los ensayos de caracterización del agregado de polipropileno reciclado.

Propiedades físicas y mecánicas	Unidad de medida	Resultado
Módulo de finura	(MF)	7.2
Gravas	(%)	100
Arenas	(%)	0
Finos	(%)	0
Peso específico	(gr/cm <sup>3</sup> )	0.94
Peso unitario suelto	(kg/m <sup>3</sup> )	496
Peso unitario compactado	(kgf/m <sup>3</sup> )	552
Contenido de vacíos agregado suelto	(%)	47.21
Contenido de vacíos agregado compactado	(%)	41.22

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.



**Figura N° 14:** Curva granulométrica del agregado de polipropileno reciclado. Elaboración propia, 2020.

### 3.2. Diseño de mezcla del concreto

#### 3.2.1. Diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup>.

En la **Tabla N° 39** Se observan los datos del diseño de mezcla patrón (0% de agregado de polipropileno reciclado) y también los datos de los diseños de mezcla con la variación del 25%, 50%, 75% y 100% de agregado de polipropileno reciclado para 1m<sup>3</sup> de concreto.

**Tabla N° 39:** Resultados obtenidos para el diseño de mezclas de 1m<sup>3</sup>.

Materiales	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	100%
Agua	(Lt)	203.05	203.05	203.05	203.05	203.05
Cemento	(kgf)	307.32	307.32	307.32	307.32	307.32
Agregado grueso	(kgf)	1115.59	836.69	557.80	278.90	--
Agregado fino	(kgf)	753.44	753.44	753.44	753.44	753.44
Agregado de polipropileno reciclado	(kgf)	--	96.53	193.07	289.60	386.14

**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

### 3.2.2. Diseño para la elaboración de probetas

En la **Tabla N° 40** se tiene el diseño de mezcla para cada porcentaje de agregado de polipropileno reciclado necesario para la elaboración de testigos cilíndricos de 4" x 8". Estos datos son obtenidos mediante la multiplicación de las cantidades del diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup> por un factor de conversión para la ejecución de las 55 probetas.

**Tabla N° 40:** Diseños de mezcla para la elaboración de testigos.

Materiales	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	100%
Factor de conversión		0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Agua	(Lt)	14.21	14.21	14.21	14.21	14.21
Cemento	(kgf)	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51
Agregado grueso	(kgf)	78.09	58.57	39.05	19.52	0.00
Agregado fino	(kgf)	52.74	52.74	52.74	52.74	52.74
Agregado de polipropileno reciclado.	(kgf)	0.00	6.76	13.51	20.27	27.03

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

### 3.3. Ensayos de concreto en estado fresco

#### 3.3.1. Asentamiento

En la **Tabla N° 41** se observan los valores promedios de asentamiento del concreto en estado fresco según la variación del porcentaje de agregado de polipropileno frente al agregado grueso natural.

**Tabla N° 41:** Resultados promedio del ensayo de asentamiento.

		Asentamiento				
Descripción del ensayo	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	%100
Asentamiento promedio	(kg/m <sup>3</sup> )	4	3 3/4	3 1/2	2 3/4	2 1/2

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

### 3.3.2. Temperatura

En la **Tabla N° 42** se observan los valores promedios de temperatura del concreto en estado fresco según la variación del porcentaje de agregado de polipropileno reciclado frente al agregado grueso natural.

**Tabla N° 42:** Resultados promedio del ensayo de temperatura.

Descripción del ensayo	Temperatura					
	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	%100
Temperatura promedio	C°	22.0	21.0	21.5	20.5	20.5

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

### 3.3.3. Peso Unitario

En la **Tabla N° 43** se observan los valores promedios del peso unitario del concreto en estado fresco según la variación del porcentaje de agregado de polipropileno reciclado frente al agregado grueso natural.

**Tabla N° 43:** Resultados promedio del ensayo de peso unitario.

Descripción del ensayo	Peso unitario					
	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	%100
Peso unitario	(kg/m <sup>3</sup> )	2329	2177	2036	1858	1756

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

## 3.4. Ensayos de concreto en estado endurecido

### 3.4.1. Resistencia a la compresión

En la **Tabla N° 44** se puede observar el promedio resultante de las muestras de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días después de haber pasado el proceso de curado y para cada diseño de mezclas con los con el 25%, 50%, 75% y 100% de variación del agregado de polipropileno reciclado frente al diseño de mezcla patrón con 0% de agregado de polipropileno

reciclado, asimismo en la Tabla N° 45 se observa el promedio de las muestras sometidas a una carga axial en el concreto a los 28 días de curado.

**Tabla N° 44:** Resultados promedio del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días.

Resistencia a la compresión a los 7 días.						
Porcentaje (%)	Muestras	Fuerza (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
0	Muestra 1	14904	10.1	80.12	186	184
	Muestra 2	14297	10.1	80.12	178	
	Muestra 3	15003	10.1	80.12	187	
25	Muestra 1	12350	10.1	80.12	154	151
	Muestra 2	11738	10.1	80.12	147	
	Muestra 3	12168	10.1	80.12	152	
50	Muestra 1	7905	10.1	80.12	99	103
	Muestra 2	8636	10.1	80.12	108	
	Muestra 3	8220	10.1	80.12	103	
75	Muestra 1	6734	10.1	80.12	84	86
	Muestra 2	7037	10.1	80.12	88	
	Muestra 3	6995	10.1	80.12	87	
100	Muestra 1	5268	10.1	80.12	66	68
	Muestra 2	5711	10.1	80.12	71	
	Muestra 3	5443	10.1	80.12	68	

*Fuente:* Elaboración propia, 2020.

**Tabla N° 45:** Resultados promedio del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.

Resistencia a la compresión a los 28 días.						
Porcentaje (%)	Muestras	Fuerza (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
0	Muestra 1	21445	10.1	80.12	268	271
	Muestra 2	20377	10.1	80.12	254	
	Muestra 3	22359	10.1	80.12	279	
	Muestra 4	22770	10.1	80.12	284	
	Muestra 5	21437	10.1	80.12	268	
	Muestra 6	22058	10.1	80.12	275	
25	Muestra 1	17198	10.1	80.12	215	214
	Muestra 2	16905	10.1	80.12	211	
	Muestra 3	17628	10.1	80.12	220	
	Muestra 4	17196	10.1	80.12	215	
	Muestra 5	16700	10.1	80.12	208	
	Muestra 6	17224	10.1	80.12	215	
50	Muestra 1	9896	10.1	80.12	124	126
	Muestra 2	10637	10.1	80.12	132	
	Muestra 3	10637	10.1	80.12	133	
	Muestra 4	9387	10.1	80.12	117	
	Muestra 5	10345	10.1	80.12	129	
	Muestra 6	9748	10.1	80.12	122	
	Muestra 1	8073	10.1	80.12	101	

75	Muestra 2	7730	10.1	80.12	96	99
	Muestra 3	7964	10.1	80.12	99	
	Muestra 4	7758	10.1	80.12	97	
	Muestra 5	8005	10.1	80.12	100	
	Muestra 6	7866	10.1	80.12	98	
	Muestra 1	7246	10.1	80.12	90	
100	Muestra 2	7466	10.1	80.12	93	93
	Muestra 3	6828	10.1	80.12	85	
	Muestra 4	8359	10.1	80.12	104	
	Muestra 5	7574	10.1	80.12	95	
	Muestra 6	7312	10.1	80.12	91	

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

### 3.4.2. Succión capilar

En la **Tabla N° 46** se observa el promedio de los resultados promedio de la capacidad de succión capilar del concreto en estado endurecido, después de haber concluido el proceso de curado a 28 días, según la variación del porcentaje de agregado de polipropileno reciclado frente al agregado grueso natural.

**Tabla N° 46:** Resultados promedio del ensayo de succión capilar.

Porcentaje de agregado de polipropileno reciclado	Capacidad de succión capilar				
	0	25	50	75	100
02/09/2020 (00:05)	1930	2378	3254	3254	3504
02/09/2020 (00:10)	2365	3066	4505	4192	4568
02/09/2020 (00:20)	2863	3692	5632	5006	5444
02/09/2020 (00:30)	3174	4380	6695	5694	6132
02/09/2020 (01:00)	3672	5068	8260	6946	7697
02/09/2020 (02:00)	4357	5757	9761	7884	8823
02/09/2020 (03:00)	4855	6320	10888	8760	9824
02/09/2020 (04:00)	5540	6883	12014	9636	10637
02/09/2020 (05:00)	5851	7321	12452	10450	11326
02/09/2020 (06:00)	6162	7697	12828	11075	11889
03/09/2020 (24:00)	7905	9699	16644	16895	16895
04/09/2020 (36:00)	8776	10637	19085	20149	19773
05/09/2020 (48:00)	9399	11513	20399	21775	21650
06/09/2020 (60:00)	9897	12264	21212	22777	22714
07/09/2020 (72:00)	10332	12890	21901	23590	23340
08/09/2020 (84:00)	10706	13453	22464	24341	23966
09/09/2020 (96:00)	10955	13829	22964	25029	24466
10/09/2020 (108:00)	11142	14142	23402	25592	24904

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

En la **Tabla N° 47** se observa el promedio de los resultados de velocidad de succión capilar del concreto en estado endurecido, después de haber concluido el proceso de curado a 28 días, según la variación del porcentaje de agregado de polipropileno reciclado frente al agregado grueso natural.

**Tabla N° 47:** Resultados promedio del ensayo de absorción capilar.

Velocidad de absorción de agua					
Porcentaje de agregado de polipropileno reciclado	0%	25%	50%	75%	100%
S(g/(m <sup>2</sup> .S <sup>1/2</sup> ))	12.937	16.108	27.491	27.212	27.714
R <sup>2</sup>	0.9736	0.9705	0.9736	0.98	0.9779

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

### 3.5. Comparación de costos productivos para 1m<sup>3</sup> de concreto

En la **Tabla N° 48** se observa el costo productivo estimado para la elaboración de 1m<sup>3</sup> de concreto convencional frente al costo de los distintos concretos con las variaciones del porcentaje de agregado de polipropileno reciclado.

**Tabla N° 48:** Comparación de costos productivos estimados para 1m<sup>3</sup> de concreto.

Costos productivos para 1m <sup>3</sup> de concreto						
Descripción	Unidad de medida					
Agregado de polipropileno reciclado	(%)	0	25	50	75	100
Costo productivo estimado	(S/.)	240.36	230.30	220.24	210.19	200.13

*Fuente: Elaboración propia, 2020.*

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

En el presente capítulo presentaremos el análisis comparativo entre las propiedades mecánicas del polipropileno reciclado frente al agregado de procedencia natural; asimismo, se analizará el comportamiento del concreto producido con el polipropileno reciclado y un concreto producido con agregado de procedencia natural.

#### 4.1.1. Caracterización de los agregados

En el análisis granulométrico del agregado fino se obtiene un módulo de finura de 2.39 como se observa en la **Tabla N° 36**, la cual está dentro del rango entre no ser menor de 2.30 ni mayor de 3.10 establecido en la NTP 400.037:2014, sin embargo en la malla N° 50 y la malla N° 100 exceden ligeramente el límite superior de la curva (ver **Figura N° 12**). La granulometría del agregado fino se realizó desde la malla 3/8", hasta la malla N° 200 y en la malla N° 50 quedó la mayor cantidad retenida con un 24.60%. El análisis granulométrico del agregado grueso natural (ver **Figura N° 13**) está dentro del rango establecido en la NTP 400.037:2014, cumple con el requisito según el huso 57 (ver **Tabla N° 13**) la cual define como material apropiado para ser usado en la mezcla de concreto. Lo establecido en la **Tabla N° 37** arroja un módulo de finura de 6.9, con un coeficiente de uniformidad es de 1.20 y el coeficiente de curvatura es de 1.06 lo cual nos garantiza una óptima gradación del tamaño de las partículas del agregado grueso natural, teniendo la mayor cantidad retenida en la malla 1/2" con un 36.00%. Asimismo, el tamaño máximo del agregado grueso natural es 1" por consiguiente, el tamaño máximo nominal es 3/4".

Para la elaboración del agregado grueso plástico, se derritió al polipropileno reciclado a un punto moldeable de 100 C°, para verterlo en un molde en forma de agregado grueso natural y lograr una semejanza con la granulometría (ver *Figura N° 14*). De esta manera cumple con el rango establecido en la NTP400.037:2014 y también con el requisito según el huso 56 (ver *Tabla N° 13*). El módulo de finura para el agregado de polipropileno reciclado es de 7.2 descrito en la *Tabla N° 37*, con un coeficiente de uniformidad es de 1.20 y el coeficiente de curvatura es de 1.06 lo cual nos garantiza una óptima distribución del tamaño de las partículas del agregado grueso plástico, teniendo la mayor cantidad retenida en la malla ½" con un 67.80%. Asimismo, el tamaño máximo del agregado grueso plástico es 1" por consiguiente, el tamaño máximo nominal es ¾".

La porosidad de los agregados genera que el contenido de humedad reduzca el agua en la mezcla y altere la relación agua/cemento e influya en la resistencia a compresión del concreto. Los agregados mediante los ensayos establecidos en el marco de la NTP 339.185 dieron como resultado que el agregado fino contiene 0.5% de humedad y el agregado grueso natural contiene 0.4% de humedad, mientras tanto el agregado de polipropileno reciclado al ser un material hidrofóbico se consideró un porcentaje de humedad nulo.

Además del contenido de humedad, la absorción de los agregados determinará la cantidad óptima de agua en el diseño de mezcla para lograr la resistencia solicitada. Por otra parte, la capacidad de absorción de un material está asociado a los problemas de durabilidad de las construcciones de concreto ya que tienen una relación directa con la cantidad de espacios vacíos.

En este caso se calculó que el agregado fino contiene 1.10% de absorción y el agregado grueso natural contiene 0.90% de absorción, mientras tanto el agregado de polipropileno reciclado al ser un material compacto se consideró absorción nula respecto al agregado grueso natural.

El volumen del diseño de mezcla es establecido mediante los pesos específicos de los agregados y al usar materiales livianos, el concreto toma una postura similar. En tanto, el peso específico nominal del agregado fino es de  $2.65 \text{ gr/cm}^3$ , del agregado grueso natural es de  $2.70 \text{ gr/cm}^3$  y el agregado de polipropileno reciclado es de  $0.94 \text{ gr/cm}^3$ ; el peso específico aparente del agregado fino es  $2.73 \text{ gr/cm}^3$  y del agregado grueso es  $2.76 \text{ gr/cm}^3$ ; el peso específico superficialmente seco del agregado fino es  $2.68 \text{ gr/cm}^3$  y del agregado grueso es  $2.72 \text{ gr/cm}^3$ . El agregado de polipropileno reciclado al tener características particulares como ser un material hidrofóbico no se determinó el peso específico aparente y tampoco se determinó el peso específico de masa saturada con superficie seca.

El peso unitario de los agregados sirve para cambiar pesos a volúmenes y viceversa, en las dosificaciones de mezclas. El peso unitario suelto del agregado fino es  $1,627 \text{ kg/m}^3$ , del agregado grueso natural es  $1,433 \text{ kg/m}^3$  y el agregado de polipropileno reciclado  $496 \text{ kg/m}^3$ . El peso unitario compactado del agregado fino es  $1,765 \text{ kg/m}^3$ , del agregado grueso es  $1,565 \text{ kg/m}^3$  y el agregado de polipropileno reciclado  $552 \text{ kg/m}^3$ .

El contenido de vacíos establece el conjunto de volumen que abarca los poros que existen entre las partículas de los agregados influyendo en la cantidad de pasta en el diseño de la mezcla, los agregados tipo angulares incrementan el contenido de vacíos. El contenido de vacíos del agregado fino suelto es de

38.60%, del agregado grueso natural suelto es de 33.40% y el agregado de polipropileno reciclado suelto es de 47.23%. Además, El contenido de vacíos del agregado fino compactado es de 33.40%, del agregado grueso natural compactado es de 42.04% y el agregado de polipropileno reciclado compactado es de 41.28%.

El contenido de finos que queda acumulado en el porcentaje pasante de 75  $\mu\text{m}$  (tamiz No. 200), acumula finos, arcillas y limos, indicando un grado de retención de agua y a mayor valor, se dificultara expulsarlo provocando una pobre adherencia entre el árido y la pasta cementante. El contenido de finos del agregado fino es de 4.68% y del agregado grueso natural es de 0.25%. El agregado de polipropileno reciclado al ser un material que se produce a medida carece de finos.

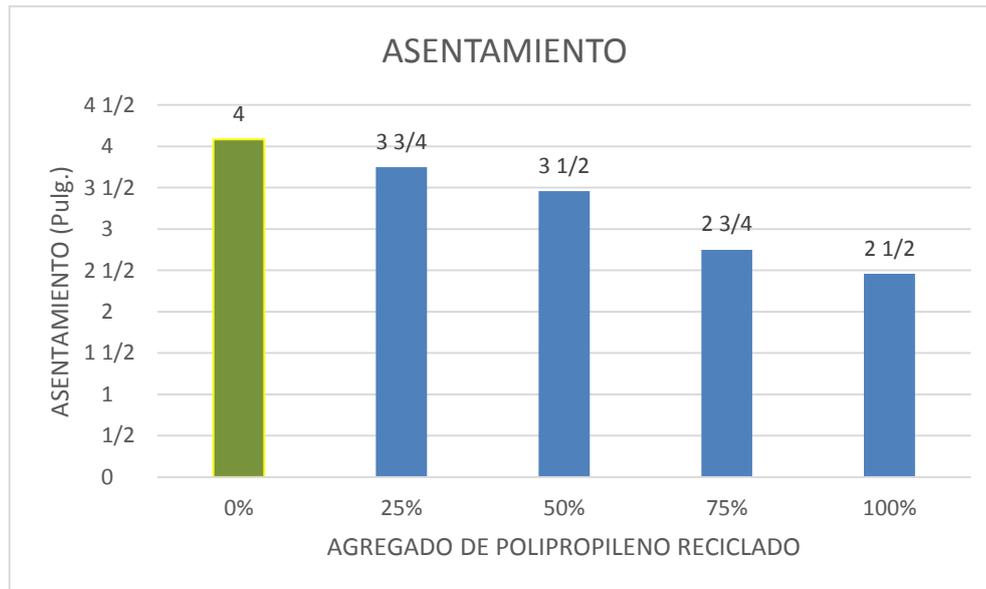
#### 4.2.1. Ensayos en concreto fresco

##### ➤ Asentamiento

El ensayo de asentamiento es una medida de consistencia de la mezcla que permite detectar su fluidez para el manejo frente al encofrado que lo va a sostener.

En la **Figura N° 15** se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de asentamiento del concreto, establecidos por un concreto patrón con el 0% de agregado de polipropileno reciclado, frente al asentamiento de los concretos con el 25%, 50%, 75% y 100% de agregados plásticos en reemplazo del agregado natural produciendo una tendencia a la baja y según la **Tabla N° 1**, los porcentajes tienen una consistencia media plástica, están dentro del rango de asentamiento de (50 mm a 10 mm) y pueden ser usadas en tipos de construcción como pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas,

columnas, cimentaciones y con una colocación natural. Adicionalmente, la **Tabla N° 2** indica que pueden ser utilizados en la construcción de zapatas, muros de cimentación reforzados y calzaduras, siendo el asentamiento máximo de 4” y el mínimo de 1”.



**Figura N° 15:** Gráfico de los resultados promedios del ensayo de asentamiento. Elaboración propia, 2020.

➤ **Peso unitario**

El ensayo de peso unitario está ligada a la gravedad específica de los agregados, su granulometría, cantidad de agua y aire atrapado en la mezcla.

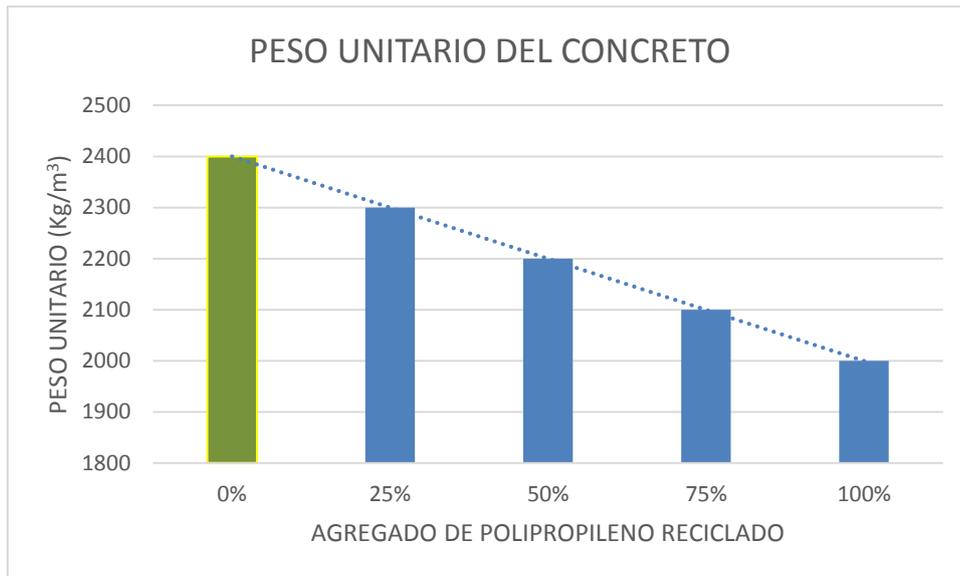
En el agregado grueso incrementos en el contenido de humedad aumentan el peso unitario del concreto y el tamaño máximo a usar está indicado en la **Tabla N° 25**. El cual influye en las cantidades aproximadas para el amasado.

Si la mezcla de concreto cuenta con mayor cantidad de agregados el peso unitario del mismo aumentara. En cambio, si la pasta de cemento dentro de la mezcla aumenta el peso unitario disminuye.

El peso unitario del concreto en estado fresco esencialmente debe ser estudiado, ya que la consistencia de la mezcla debe contar con la facilidad de

transportar, colocar y compactar sin que se produzca segregación. También se determina la cantidad de volumen unitario de concreto en peso. Al contar con un peso unitario bajo, disminuye las cargas muertas y por ende las dimensiones de los cimientos, mejora el aislamiento térmico y acústico. Sustentablemente el concreto ligero genera un ahorro de energía y materia prima.

En la presente investigación se estudió los resultados del peso unitario del concreto en estado fresco y se determinó que para la muestra patrón con 0% de agregado de polipropileno reciclado se obtuvo un valor promedio de 2329 kg/m<sup>3</sup>, para el 25 % de agregado de polipropileno reciclado un promedio de 2177 kg/m<sup>3</sup>, para el 50 % de agregado de polipropileno reciclado un promedio de 2036 kg/m<sup>3</sup>, para el 75 % de agregado de polipropileno reciclado un promedio de 1858 kg/m<sup>3</sup> y finalmente para el 100 % de agregado de polipropileno reciclado un promedio de 1756 kg/m<sup>3</sup>. Las cuales establecen una disminución notable y los concretos con el 25%, 50% y 75% de agregado de polipropileno reciclado están dentro del rango de concretos de peso normal que oscilan entre 2240 kg/m<sup>3</sup> a 2400 kg/m<sup>3</sup> y mientras que el concreto con el 100% de agregado de polipropileno reciclado está dentro del rango de concreto ligero que oscilan entre 1440 kg/m<sup>3</sup> y 1840 kg/m<sup>3</sup>.



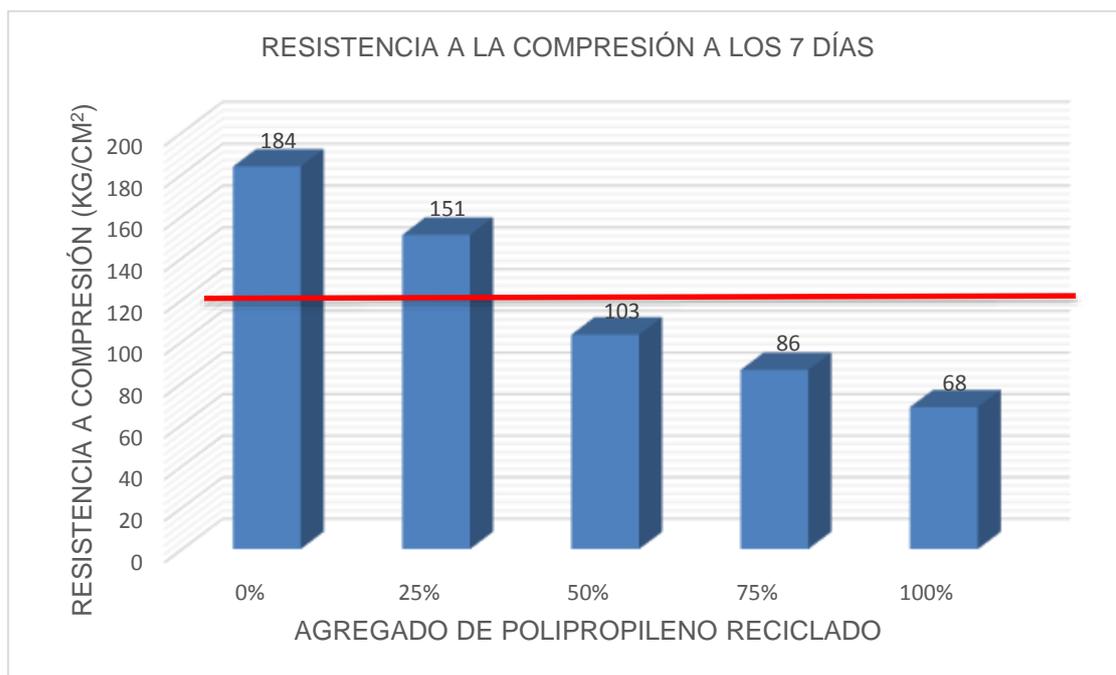
**Figura N° 16:** Gráfico de los resultados promedios del ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco. Elaboración propia, 2020.

La **Figura N° 16** muestra los resultados promedios del ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco, la cual indica que al incrementarse los porcentajes de agregado de polipropileno reciclado, el peso unitario disminuye en un 6.53%, 12.58%, 20.22% y 24.60% respecto a la muestra patrón.

#### 4.3.1. Ensayos en concreto endurecido

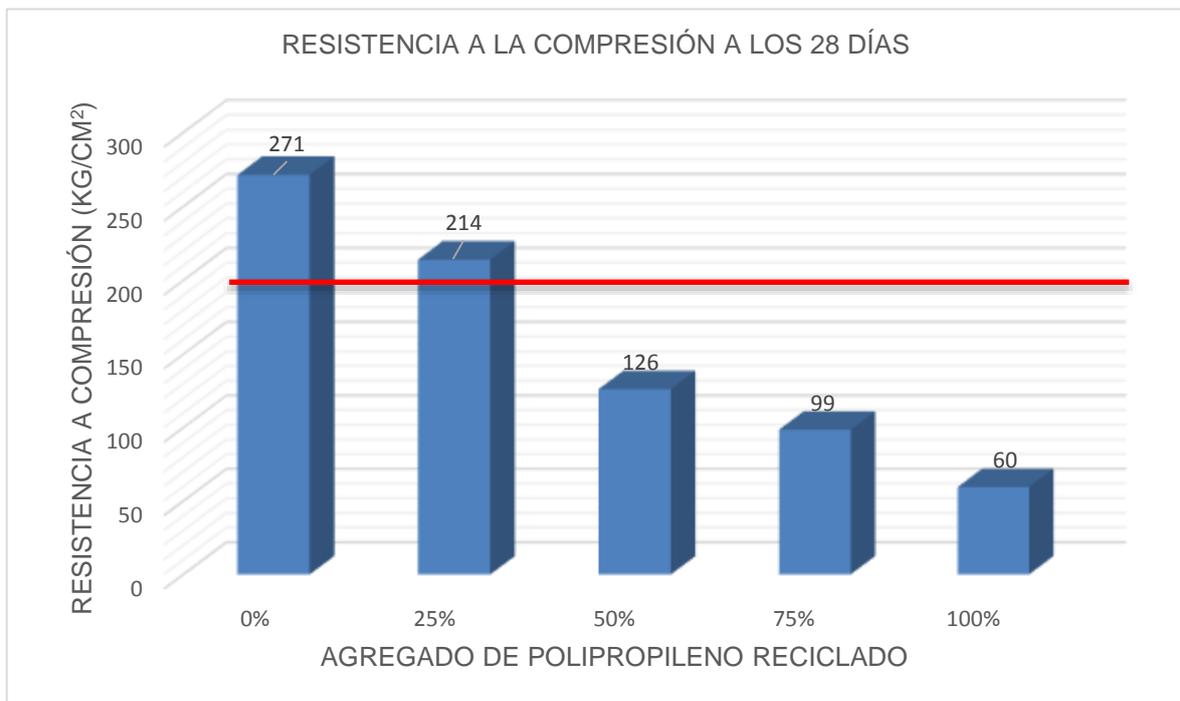
- Resistencia a compresión

Para el diseño de estructuras de concreto, una de las propiedades más importantes es la resistencia a compresión, se determina al someter muestras cilíndricas estandarizadas a una carga axial en una de sus caras y llevadas hasta el punto de ruptura. A través de los resultados obtenidos de estos ensayos se considera el tipo de estructuras en el que se debe emplear. Por tanto, esta investigación busca el porcentaje óptimo de agregado de polipropileno reciclado en un concreto convencional  $f'c$  175  $kg/cm^2$ . Analizando la resistencia a la compresión a los 7 días, la cual debe alcanzar el 65% de la resistencia propuesta de 175  $kg/cm^2$ , por lo tanto se tiene que llegar a una resistencia a la compresión de 114  $kg/cm^2$  a los 7 días de curado.



**Figura N° 17:** Gráfico de los resultados promedios de la resistencia a compresión a los 7 días de curado del concreto en estado endurecido. Elaboración propia, 2020.

En la **Figura N° 17** se muestran los resultados promedios de la resistencia a la compresión a los 7 días, donde se observa que la mezcla del concreto patrón (0% de agregado de polipropileno reciclado.) y el concreto con el 25% de agregado de polipropileno reciclado logran una resistencia de 184 kg/cm<sup>2</sup> y 151 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, las cuales superan el 65% de la resistencia propuesta. En los concretos con el 50%, 75% y 100% de agregado de polipropileno reciclado muestran una tendencia a la baja con 103 kg/cm<sup>2</sup>, 85 kg/cm<sup>2</sup> y 68 kg/cm<sup>2</sup> los cuales quedan por debajo de los 65% de la resistencia propuesta.



**Figura N° 18:** Gráfico de los resultados promedios de la resistencia a compresión a los 28 días de curado del concreto en estado endurecido. Elaboración propia, 2020.

En la **Figura N° 18** se muestran los resultados promedios de la resistencia a la compresión a los 28 días, donde se observa que la resistencia a la compresión promedio disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de agregado de polipropileno reciclado, sin embargo, la mezcla del concreto

patrón con el 0% de agregado de polipropileno reciclado y el concreto con el 25% de agregado de polipropileno reciclado superan la resistencia propuesta al alcanzar un promedio de resistencia de  $271 \text{ kg/cm}^2$  y  $214 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. En cambio los concretos con el 50%, 75% y 100% de agregado de polipropileno reciclado muestran una tendencia a la baja más pronunciada con  $103 \text{ kg/cm}^2$ ,  $85 \text{ kg/cm}^2$  y  $68 \text{ kg/cm}^2$  los cuales quedan por debajo de la resistencia propuesta.

➤ Absorción por succión capilar

La succión capilar se origina por la acción de fuerzas de adhesión de las moléculas de agua a una presión inferior a la atmosférica y es absorbido por los poros en el concreto. La absorción capilar es un caso especial de transporte inducido por la energía del agua actuando sobre los capilares del hormigón y es necesario estudiarlo para verificar si las estructuras son aptas para ser usadas en ambientes agresivos; ya que, estos producen corrosión en las armaduras ocasionando distintas patologías como carbonatación del recubrimiento. Obtener una baja velocidad de succión capilar hace que el concreto sea más durable debido a que evita que ingresen cloruros o sulfatos que puedan dañar a la estructura.

En la **Figura N° 19** se muestra la absorción en función del tiempo de los distintos porcentajes de agregado de polipropileno reciclado frente a la muestra patrón; asimismo, en la **Figura N° 20** muestra el resumen de la velocidad de absorción de los distintos porcentajes de agregado de polipropileno reciclado frente a la muestra patrón, en ambas figuras muestra que a mayor porcentaje de agregado de polipropileno reciclado la velocidad de absorción es mayor.

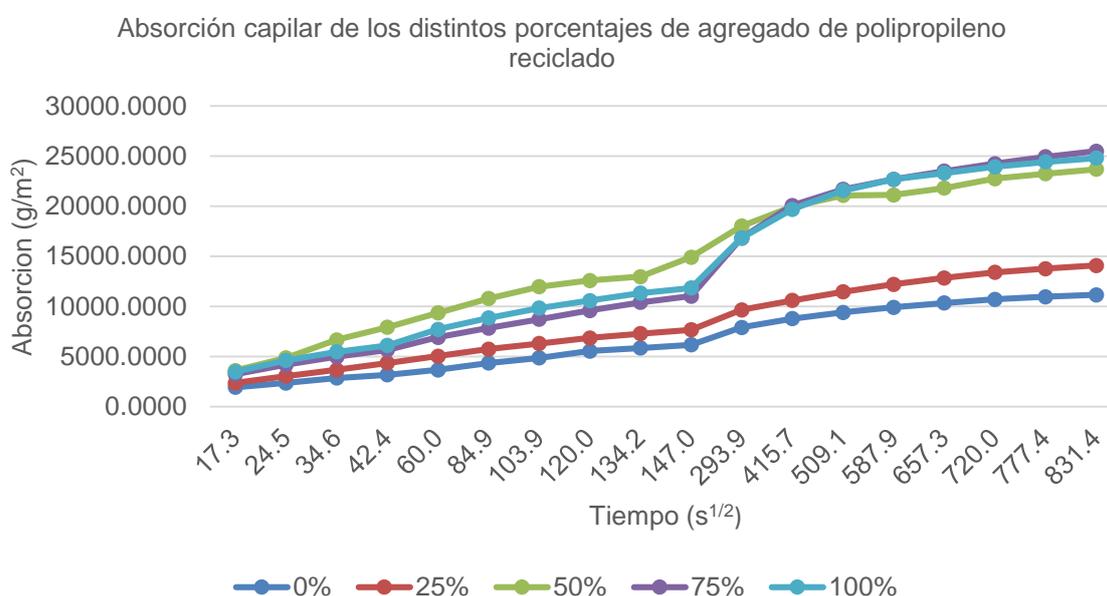
El aumento de la velocidad de absorción capilar según el incremento de agregado de polipropileno reciclado se puede asumir debido a la poca adherencia entre el agregado de polipropileno reciclado y el resto del conglomerado de concreto, generándose pequeños poros. Para tener un panorama más amplio y corroborar se debe realizar el ensayo para la determinación microscópica de parámetros del aire vacío descrito en la norma ASTM C457.2006 la cual tiene como objetivo contar los poros al observar a especímenes de concreto a través de un microscópico petrográfico y se aplica para prever daños en el concreto, mayormente se utiliza para evaluar el daño producido por el congelamiento y descongelamiento del concreto, sin embargo se puede usar para otras aplicaciones en las que el contenido de aire esté involucrado.

Además, se muestra que, al aumentar el contenido de agregado de polipropileno reciclado en la mezcla de concreto, la velocidad de succión capilar aumenta, lo cual puede darse debido a que el agregado de polipropileno reciclado al ser un material hidrofóbico ocasionaría una película de aire entre el agregado de polipropileno reciclado y el resto de la composición del concreto, sobre todo en el agregado de mayor diámetro. Para obtener la respuesta exacta se debe realizar un "examen petrográfico de hormigón endurecido" establecido en la norma ASTM C856.2014. Este estudio sirve para determinar las condiciones del concreto y su probable comportamiento a futuro.

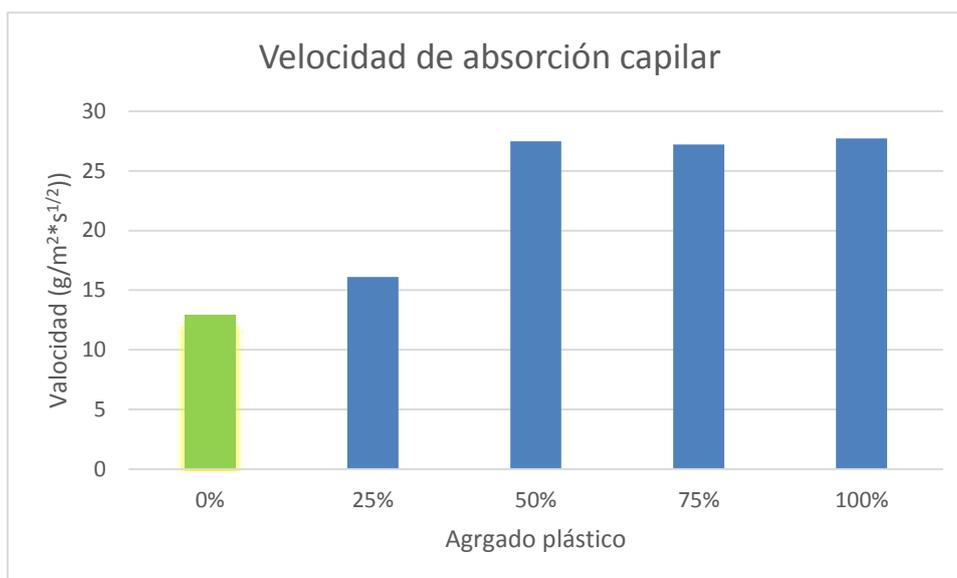
De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de succión capilar de los concretos con el 25, 50, 75 y 100% de agregado de polipropileno reciclado sobre la muestra patrón con 0%, se puede concluir que se producen

incrementos en los parámetros de succión capilar cuando se incrementa el porcentaje de reemplazo del agregado de polipropileno reciclado.

La velocidad de absorción capilar promedio crece a medida que aumentan los porcentajes de agregado de polipropileno reciclado, la muestra patrón cuenta con (10.614 g/ (m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>)), Y se incrementa en un 12.984, 21.445, 27.196 y 25.539 g/ (m<sup>2</sup>\*s<sup>1/2</sup>) para los concretos de 25, 50, 75 y 100% de agregado de polipropileno reciclado plástico respectivamente.



**Figura N° 19:** Gráfico de absorción en función del tiempo de los distintos porcentajes de agregado de polipropileno reciclado. Elaboración propia, 2020.



**Figura N° 20:** Velocidad de absorción capilar. Elaboración propia, 2020.

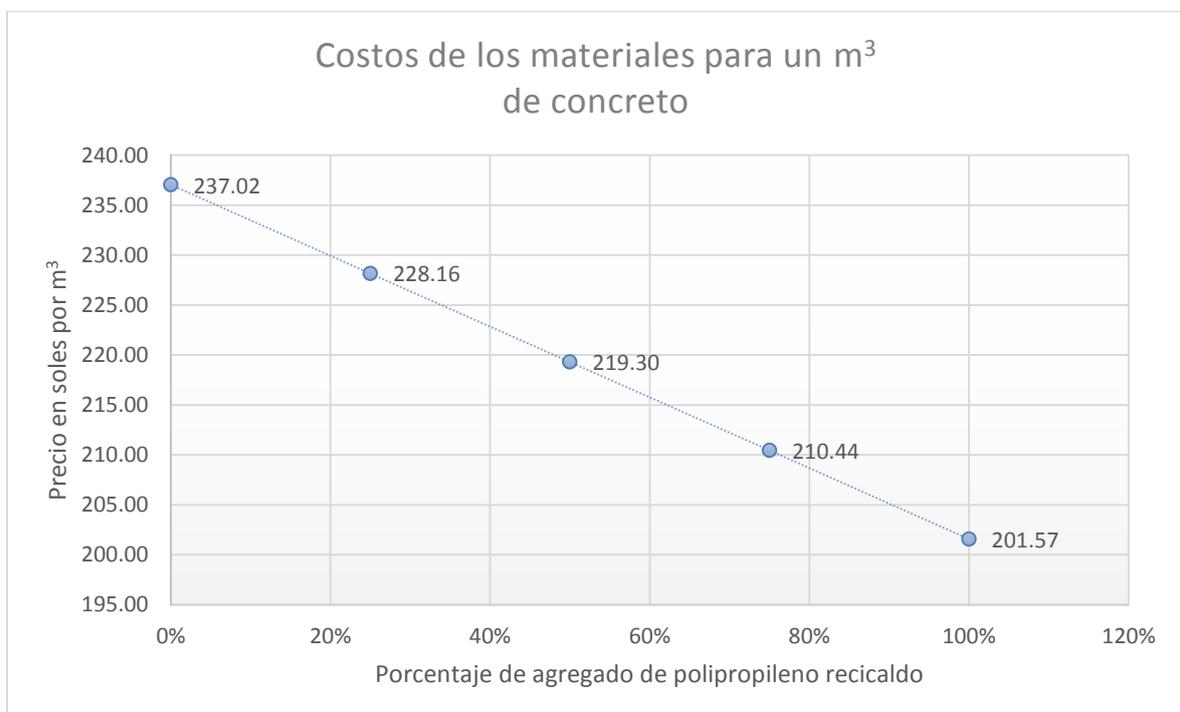
➤ **Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico, se usó el programa SPSS para la comprobación de datos normales y homocedasticidad, la evaluación se aplicó para los datos de las variables dependientes (resistencia a compresión y succión capilar) según las variables independientes (variación de los porcentajes de reemplazo de la cantidad de agregado de polipropileno reciclado), donde se pudo comprobar mediante la prueba de Shapiro – Wilk que los datos estaban dentro de una distribución normal pues eran mayor que el  $\alpha= 0.05$  (significancia), se optó por esta prueba debido a que los grados de libertad son menores a 50 casos. Se utilizó además, el análisis de varianza (ANOVA) como se muestra en el ANEXO N° 2 la relación de causalidad entre la variable independiente (variación del porcentaje de agregado de polipropileno reciclado) y la variable dependiente (resistencia a la compresión y succión capilar) demostrando que los F experimentales de cada variable dependiente fueron mayores al F teórico por lo tanto se acepta la hipótesis alterna que, el

incremento del agregado de polipropileno reciclado influye significativamente en las propiedades mecánicas de compresión y succión capilar de un concreto convencional, Trujillo 2020, y se rechaza la hipótesis nula de que el incremento del agregado de polipropileno reciclado no influye significativamente en las propiedades mecánicas de compresión y succión capilar de un concreto convencional, Trujillo 2020.

➤ Análisis confrontacional de costos productivos

La **Figura N° 21** muestra el costo estimando de materiales por m<sup>3</sup> del concreto patrón (0%) frente a los concretos con el 25%, 50%, 75% y 100% de agregado de polipropileno reciclado en donde se observa que los precios tienden a la baja en un 3.74%, 7.48%, 11.22% y 14.96% respectivamente.



**Figura N° 21:** Costo de concreto por m<sup>3</sup>. Elaboración propia, 2020.

## 4.2. Conclusiones

- ✓ Se evaluó la influencia de los porcentajes de polipropileno reciclado por agregado grueso natural sobre las propiedades de resistencia a la compresión axial y absorción capilar de un concreto convencional en la ciudad de Trujillo, 2020. Logrando determinar que el concreto con el 25% de agregado de polipropileno reciclado es el más óptimo, con una resistencia a la compresión de  $214 \text{ kg/cm}^2$  y una velocidad de absorción capilar de un 22.33% respecto a la muestra patrón.
  
- ✓ Se analizaron los ensayos de asentamiento y peso unitario del concreto en estado fresco, alcanzando que todas las mezclas de concreto estén dentro del rango de asentamiento de (50 mm a 100 mm) y en los ensayos del peso unitario del concreto, estos decrecen al incrementar el porcentaje de agregado de polipropileno reciclado, en función a la probeta patrón (0% de agregado de polipropileno reciclado) que obtuvo un peso unitario de  $2329 \text{ kg/m}^3$  el 100% de agregado de polipropileno reciclado tuvo la mayor pérdida con un peso unitario de  $1756 \text{ kg/m}^3$  estando dentro del rango de concretos ligeros, por otro lado el 25 % de agregado de polipropileno reciclado obtuvo la menor pérdida de peso unitario con  $2177 \text{ kg/m}^3$  la cual está dentro del rango de concretos normales al igual que, el 50% y 75% que obtuvieron  $2036 \text{ kg/m}^3$  y  $1858 \text{ kg/cm}^3$  respectivamente.
  
- ✓ Se determinó que la resistencia a la compresión promedio ejecutado en testigos cilíndricos de 4" x 8" decaen a medida que se incrementa el porcentaje de agregado de polipropileno reciclado, sin embargo el diseño del concreto con el 25% de agregado de polipropileno reciclado se encuentra

dentro del rango con una resistencia promedio de  $214 \text{ kg/cm}^2$  frente a lo obteniendo en la mezcla del concreto patrón (0% de agregado de polipropileno reciclado) que tiene una resistencia promedio de  $271 \text{ kg/cm}^2$ . Y en los concretos con el 50%, 75% y 100% de agregado de polipropileno reciclado decrecen por debajo de la resistencia propuesta con  $103 \text{ kg/cm}^2$ ,  $85 \text{ kg/cm}^2$  y  $68 \text{ kg/cm}^2$ . Por otra parte el ensayo de absorción capilar para los distintos porcentajes (25%, 50%, 75% y 100% de agregado de polipropileno reciclado) tiende a aumentar, siendo el concreto con el 25% el de menor velocidad de absorción capilar con un  $10.614 \text{ g/(m}^2\text{*s}^{1/2})$  en comparación a los demás porcentajes que obtuvieron 12.984, 21.445, 27.196 y 25.539  $\text{g/(m}^2\text{*s}^{1/2})$  respectivamente.

- ✓ Se analizaron los costos estimados de los materiales para la producción de concretos, en función al testigo patrón que es un concreto con 0% de agregado de polipropileno reciclado, donde se obtuvo un costo de S/.237.02 por  $\text{m}^3$ , en tanto para el 25%, 50%, 75% y 100% se obtuvieron costos S/.228.16, S/.219.30, S/.210.44 y S/.201.57 respectivamente. Concluyendo que al incrementar los porcentajes de agregado de polipropileno reciclado en reemplazo del agregado grueso natural disminuye el precio.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar estudios menores al 25% de agregado de polipropileno reciclado en el concreto para determinar su comportamiento frente a los ensayos de concreto endurecido.
- ✓ Estudiar el comportamiento de agregado grueso plástico de 1/4" a 3/8" en un concreto convencional en el ensayo de resistencia a la compresión.
- ✓ Utilizar concreto con agregado de polipropileno reciclado como concreto no estructural en losas deportivas, calzaduras y veredas.
- ✓ Analizar la aplicación de concreto con agregado de polipropileno reciclado en vigas mediante estudios de flexión.
- ✓ Determinar la influencia del polipropileno reciclado como reemplazo del agregado fino sobre el esfuerzo a la compresión y succión capilar de un concreto convencional.
- ✓ Realizar un estudio petrográfico para evaluar a detalle la succión capilar del concreto endurecido con agregado de polipropileno reciclado
- ✓ El agregado de polipropileno reciclado debe elaborarse a una temperatura constante para conseguir una consistencia moldeable.
- ✓ Estudiar el comportamiento de agregado de polipropileno reciclado en forma angulas frente a la resistencia a la compresión.
- ✓ Analizar el comportamiento de concretos con agregado de polipropileno reciclado adicionando diferentes marcas de aditivos plastificantes.
- ✓ Realizar el estudio de un proyecto sobre una planta de reciclaje y transformación de plástico para elaboración en masa de agregado grueso plástico.
- ✓ Realizar ensayos de contenido de aire atrapado en el concreto en estado fresco con adición de agregado de polipropileno reciclado.

## REFERENCIAS

- Abanto, F. (1996). *Tecnología del Concreto*. Editorial San Marcos. Lima – Perú.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) COMMITTEE 116R (2005) *Terminología del cemento y hormigón* ( (Abanto, 1996)ACI-116R). Farmington Hills: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) INTERNATIONAL COMMITTEE C143 (2012). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete* (ASTM C143M-12). West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL
- Arangurí (2016). *LA IMPORTANCIA DEL USO DE AGREGADOS PROVENIENTES DE CANTERAS DE CALIDAD*. Recuperado de <http://revistas.uladech.edu.pe/index.php/increscendo-ingenieria/article/view/1131>
- Ávila Baray, H.L. (2006) *Introducción a la metodología de la investigación Edición electrónica. Texto completo en [www.eumed.net/libros/2006c/203/](http://www.eumed.net/libros/2006c/203/)*
- Beas, Pajuelo, Pomez y Calderon (2015, Julio). *CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO UTILIZANDO NANOSÍLICE*. Recuperado de [https://www.concrete.org/portals/0/files/PDF/CI\\_2015-05\\_SkysTheLimit\\_Spanish.pdf](https://www.concrete.org/portals/0/files/PDF/CI_2015-05_SkysTheLimit_Spanish.pdf)
- Cipriano (2020). *¿Qué sabes de la contracción (retracción) del concreto?* Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/que-sabes-de-la-contraccion-retraccion-del-concreto>
- Enrique Rivva López. (1996). *Diseño de Mezclas*. Editorial Williams. Lima - Perú.
- Gestión (2017, Septiembre). *Perú solo recicla el 15% de la basura que genera diariamente*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/empresas/peru-recicla-15-basura-genera-diariamente-143243-noticia/>
- HARMSSEN, Teodoro (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado 4ta edición*, Lima: PUCP FONDO EDITORIAL
- INDECOPI (2009) *Reglamento Nacional de Construcción: Concreto Armado (E.060)*. Lima: INDECOPI.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2019). PRODUCCIÓN NACIONAL AUMENTÓ 2,22% EN SETIEMBRE DE 2019 Y ACUMULÓ 122 MESES DE EVOLUCIÓN POSITIVA. Recuperado de <http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/notadeprensa204.pdf>*
- Kosmatka, Kerckhoff, Panarese & Tanesi (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. 1ra Edición. Recuperado de [https://issuu.com/gustavochoyongalcivar/docs/dise\\_o\\_y\\_control\\_de\\_me\\_zclas\\_de\\_con/386](https://issuu.com/gustavochoyongalcivar/docs/dise_o_y_control_de_me_zclas_de_con/386)*
- Lebreton, L. (2018, Marzo). EVIDENCE THAT THE GREAT PACIFIC GARBAGE PATCH IS RAPIDLY ACCUMULATING PLASTIC. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/s41598-018-22939-w>*
- Ministerio de Educación Superior (2014). Definición de Términos Recuperado de <https://es.slideshare.net/LUISENRIQUECOLMENAREZ/definicion-de-terminos-del-concreto>*
- Morán, S. (2020, Junio). ECUADOR, AHOGADO EN BASURA, ESTÁ LEJOS DE CUMPLIR LAS METAS DE LOS ODS AL 2030. Recuperado de <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/ecuador>*
- Moreno, A. (2020). Qué es la retracción o contracción del concreto, cómo solucionarla y evitarla. Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-la-retraccion-o-contraccion-del-concreto-como-solucionarla-y-evitarla>*
- Municipalidad Provincial de Trujillo (2016). PLAN DE DESARROLLO LOCAL CONCERTADO DE LA PROVINCIA DE TRUJILLO 2017-2030. Recuperado de [https://www.munitrujillo.gob.pe/Archivosvirtual/Transparencia/Adjuntos/9000\\_portalTransparencia.pdf](https://www.munitrujillo.gob.pe/Archivosvirtual/Transparencia/Adjuntos/9000_portalTransparencia.pdf)*
- Organización de Naciones Unidas. (2017, Febrero). Naciones Unidas inicia batalla para librar a los océanos del plástico. Recuperado de <https://news.un.org/es/audio/2017/02/1419411>*
- Orihuela, P., Orihuela, J., Lazo, C. & Ulloa, K. (2010). Manual del Maestro Constructor. Recuperado de [https://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/PDF/MANUAL\\_MAESTRO\\_CONSTRUCOR.pdf](https://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/PDF/MANUAL_MAESTRO_CONSTRUCOR.pdf)*

- Osorio, J. (2018). *¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto?* Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú. 2da Edición. Colegio de Ingeniero Consejo Nacional. Lima Perú.*
- Pérez, J. & Gardey, A, (2014). *Definición de tapa.* Recuperado de <https://definicion.de/tapa>
- Polanco, C. (2018, Noviembre). *COLOMBIA SE ENFRENTA A LA POSIBILIDAD DE VIVIR UN "TSUNAMI" DE PLÁSTICO.* Recuperado de <https://www.efe.com/efe/america/sociedad/colombia-se-enfrenta-a-la-posibilidad-de-vivir-un-tsunami-plastico/20000013-3809727>
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2014, Marzo). *ARENA, MÁS RARO DE LO QUE UNO PIENSA: SERVICIO DE ALERTA AMBIENTAL GLOBAL (GEAS) DEL PNUMA.* Recuperado de <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8665>.
- Rivera, G. (2013) *Concreto simple. Colombia: UNIVERSIDAD DE CAUCA.*
- Romero, E. (2019, Diciembre). *PLASTICO. PROJECT ES UNA INICIATIVA ECUATORIANA QUE ESTÁ TRABAJANDO EN PRO DE ACABAR CON EL USO DEL PLÁSTICO DESECHABLE, PROMUEVE LIMPIEZAS COLECTIVAS Y COMERCIALIZA PRODUCTOS BIODEGRADABLES.* Recuperado de <https://www.periodicoelnuevomundo.com/2019/12/plastico-project-es-una-iniciativa.html>
- SENCICO (2009) *Albañilería (RNE E070). Lima: INDECOPI.*
- Sierra, J. (2018). *LOS DESECHOS PLÁSTICOS, UNA GRAVE AMENAZA PARA LA VIDA EN EL MAR Y EN LA TIERRA.* Recuperado de <https://www.sierraclub.org/redwood/bienvenidos>
- VALDEZ, Luis, SUAREZ, Gabriel y PROAÑO, Gastón (2015) *HORMIGONES LIVIANOS (Consulta: 10 de junio) (https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10056/1/Hormigones%20Livianos.pdf).*
- Yepes, V. (2017). *Preguntas sobre la elaboración y puesta en obra del hormigón.* Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/31/preguntas-sobre-la-elaboracion-y-puesta-en-obra-del-hormigon/>

## ANEXOS

### ANEXO n° 1. Matriz de consistencia

Tabla N° 49: Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿De qué manera influye el porcentaje de reemplazo del polipropileno reciclado por agregado grueso sobre la resistencia a la compresión axial y absorción capilar de un concreto convencional, Trujillo 2020?	<p><b>Objetivo general</b> Evaluar la influencia del porcentaje del polipropileno reciclado por agregado grueso sobre la resistencia a la compresión axial y absorción capilar de un concreto convencional.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> - Analizar las propiedades físicas de asentamiento y peso unitario del concreto con adición de material reciclado de polipropileno frente a la mezcla patrón. - Determinar la resistencia a la compresión y absorción capilar del concreto con polipropileno reciclado respecto al concreto patrón. - Analizar el costo de un concreto convencional con el agregado grueso artificial.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> Las propiedades de compresión axial y absorción capilar de un concreto convencional se mantienen, cuando se incrementa el porcentaje de reemplazo de polipropileno reciclado por agregado grueso.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> - La propiedad de compresión axial de un concreto convencional se mantiene, cuando se incrementa el porcentaje de polipropileno reciclado por agregado grueso. - La propiedad de absorción capilar de un concreto convencional se mantiene, cuando se incrementa el porcentaje de reemplazo de polipropileno reciclado por agregado grueso</p>	<p><b>Variable independiente</b> Porcentajes de agregado de polipropileno reciclado.  Indicadores de la V.I. - 0% de polipropileno reciclado. - 25% de polipropileno reciclado. - 50% de polipropileno reciclado. - 75% de polipropileno reciclado. - 100% de polipropileno reciclado.</p> <p><b>Variables dependientes</b>  Propiedades en estado endurecido.  Indicadores de la V.D. -Resistencia a compresión. -Succión capilar.</p>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Diseño cuasi experimental de dos grupos equivalente post prueba. GE X O1 GC - O2 Donde: G1: Grupo experimental. G2: Grupo testigo o control. O1; O2: Posprueba. X: Tratamiento o modificación experimental. -: Ausencia de tratamiento experimental.</p> <p><b>Población y Muestra</b> <b>-Población:</b> 60 testigos.  <b>-Muestra:</b> A opinión de experto basándose en lo establecido en el ACI 318-19 la cual indica un mínimo de 3 réplicas de 3 probetas hermanas</p>

Elaboración: Propia

## ANEXO n° 2. Resultados de la caracterización de los agregados, diseño de mezcla y

resultados del concreto en estado fresco y endurecido.

### ANEXO n° 2.1. Caracterización de los agregados.

*Tabla N° 50: Resultados de granulometría del agregado fino.*

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% Que Pasa	NTP 400.037:2014 Límites	
3/8 in.	9.500	0	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 4	4.750	0	0.00	0.00	100.00	95	100
N° 8	2.360	121	10.14	10.14	89.86	80	100
N° 16	1.180	195	16.35	26.49	73.51	50	85
N° 30	0.600	209	17.52	44.01	55.99	25	60
N° 50	0.300	294	24.64	68.65	31.35	5	30
N° 100	0.150	252	21.12	89.77	10.23	0	10
N° 200	0.075	76	6.37	96.14	3.86	0	5
Fondo		46	3.9	0.00	0.00		
		1193	100.0				

*Tabla N° 51: Datos de la muestra del agregado fino.*

Descripción	Datos de la muestra			
	Cantidad de material		Características físicas	
Arena gruesa zarandeada	% Gravas	0.0	Módulo de finura	2.39
	% Arena	96.1		
	% Finos	3.9		

*Tabla N° 52: Resultados de granulometría del agregado grueso.*

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% Que Pasa	NTP 400.037:2014 Límites	
1 1/2 in.	37.5 mm	0	0	0	100.00	100	100
1 in.	25.0 mm	76	0.69	0.69	99.31	95	100
3/4 in.	19.0 mm	1818	16.51	17.20	82.80	--	--
1/2 in.	12.5 mm	3959	35.96	53.16	46.84	25	60
3/8 in.	9.50 mm	2557	23.22	76.39	23.61	--	--
N° 4	4.75 mm	2318	21.05	97.44	2.56	0	10

N° 8	2.36 mm	219	1.99	99.43	0.57	0	5
N° 16	1.18 mm	0	0.00	99.43	0.57	--	--
		63	0.57	100.00	0.00		
		11010	100.00				

**Tabla N° 53:** Datos de la muestra del agregado grueso.

Descripción	Datos de la muestra			
	Cantidad de material		Características físicas	
Piedra zarandeada huso 57	% Gravas	97.4	Módulo de finura	6.9
	% Arena	2.0		
	% Finos	0.6		

**Tabla N° 54:** Resultados de granulometría del agregado de polipropileno reciclado.

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. Parcial	% Ret. Acum.	% Que Pasa	NTP 400.037:2014 Límites	
1 1/2 in.	37.5 mm	0	0	0	100.00	100	100
1 in.	25.0 mm	76	0.69	0.69	99.31	95	100
3/4 in.	19.0 mm	1818	16.51	17.20	82.80	--	--
1/2 in.	12.5 mm	3959	35.96	53.16	46.84	25	60
3/8 in.	9.50 mm	2557	23.22	76.39	23.61	--	--
N° 4	4.75 mm	2318	21.05	97.44	2.56	0	10
N° 8	2.36 mm	219	1.99	99.43	0.57	0	5
N° 16	1.18 mm	0	0.00	99.43	0.57	--	--
		63	0.57	100.00	0.00		
		11010	100.00				

**Tabla N° 55:** Datos de la muestra del agregado grueso plástico.

Descripción	Datos de la muestra			
	Cantidad de material		Características físicas	
Piedra plástica huso 67	% Gravas	100	Módulo de finura	7.2
	% Arena	0		
	% Finos	0		

**Tabla N° 56:** Resultados de contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Contenido de humedad				
	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
A = Peso del Recipiente	(gr.)	117	118	116	
B = Peso del Recipiente + Muestra Húmeda	(gr.)	1117	1118	1116	

C = Peso del Recipiente + Muestra Seca	(gr.)	1113	1112	1111
W = (B – A) = Peso Muestra Húmeda	(gr.)	1000	1000	1000
D = (C – A) = Peso Muestra Seca	(gr.)	996	994	995
Contenido de humedad = (W – D)/D X 100	(%)	0.40	0.60	0.50
Contenido de humedad promedio	(%)	0.50		

**Tabla N° 57:** Resultados de contenido de humedad del agregado grueso.

Descripción	Unidad de medida	Contenido de humedad		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A = Peso del Recipiente	(gr.)	318	317	316
B = Peso del Recipiente + Muestra Húmeda	(gr.)	3318	3317	3316
C = Peso del Recipiente + Muestra Seca	(gr.)	3305	3308	3302
W = (B – A) = Peso Muestra Húmeda	(gr.)	3000	3000	3000
D = (C – A) = Peso Muestra Seca	(gr.)	2987	2991	2986
Contenido de humedad = (W – D)/D X 100	(%)	0.44	0.30	0.47
Contenido de humedad promedio	(%)	0.40		

**Tabla N° 58:** Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

Peso unitario seco suelto del agregado fino				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del recipiente (gr.)	(gr.)	6.86	6.86	6.86
V = volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> )	(gr.)	0.0072	0.0072	0.0072
G = T + Peso de la muestra	(gr.)	18.55	18.63	18.54
Peso Unitario = (G-T) / V	(kg/cm <sup>3</sup> )	1624	1635	1623
Peso Unitario Promedio	(kg/cm <sup>3</sup> )	1627		
Peso unitario compacto seco del agregado fino				
T = Peso del recipiente (gr.)	(gr.)	6.86	6.86	6.86
V = volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> )	(gr.)	0.0072	0.0072	0.0072
G = T + Peso de la muestra	(gr.)	19.59	19.53	19.58
Peso Unitario = (G-T) / V	(kg/cm <sup>3</sup> )	1769	1760	1767
Peso Unitario Promedio	(kg/cm <sup>3</sup> )	1765		

**Tabla N° 59:** Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

Peso unitario seco suelto del agregado grueso				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del recipiente (gr.)	(gr.)	6.86	6.86	6.86
V = volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> )	(gr.)	0.0072	0.0072	0.0072
G = T + Peso de la muestra	(gr.)	17.17	17.13	17.22
Peso Unitario = (G-T) / V	(kg/cm <sup>3</sup> )	1432	1427	1439
Peso Unitario Promedio	(kg/cm <sup>3</sup> )	1432		
Peso unitario compacto seco del agregado grueso				
T = Peso del recipiente (gr.)	(gr.)	6.86	6.86	6.86
V = volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> )	(gr.)	0.0072	0.0072	0.0072
G = T + Peso de la muestra	(gr.)	18.12	18.19	18.06
Peso Unitario = (G-T) / V	(kg/cm <sup>3</sup> )	1565	1573	1556
Peso Unitario Promedio	(kg/cm <sup>3</sup> )	1565		

**Tabla N° 60: Resultados de peso unitario suelto y compactado del agregado de polipropileno reciclado.**

Peso unitario seco suelto del agregado de polipropileno reciclado				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del recipiente (gr.)	(gr.)	6.86	6.86	6.86
V = volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> )	(gr.)	0.0072	0.0072	0.0072
G = T + Peso de la muestra	(gr.)	10.46	10.44	10.40
Peso Unitario = (G-T) / V	(kg/cm <sup>3</sup> )	500	497	491
Peso Unitario Promedio	(kg/cm <sup>3</sup> )	496		
Peso unitario compacto seco del agregado de polipropileno reciclado				
T = Peso del recipiente (gr.)	(gr.)	6.86	6.86	6.86
V = volumen del recipiente (cm <sup>3</sup> )	(gr.)	0.0072	0.0072	0.0072
G = T + Peso de la muestra	(gr.)	10.81	10.85	10.84
Peso Unitario = (G-T) / V	(kg/cm <sup>3</sup> )	549	555	553
Peso Unitario Promedio	(kg/cm <sup>3</sup> )	552		

**Tabla N° 61: Resultados del contenido de finos del agregado fino.**

Contenido de finos				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A = Peso muestra seca sin lavar	(gr.)	0.996	0.994	0.995
B = Peso muestra seca lavada	(gr.)	0.948	0.949	0.948
Contenido de finos = ((A-B)/A)x100	(%)	4.82	4.53	4.72
Promedio de contenido de finos	(%)	4.7		

**Tabla N° 62: Resultados del contenido de finos del agregado grueso.**

Contenido de finos				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A = Peso muestra seca sin lavar	(gr.)	2.987	2.991	2.989
B = Peso muestra seca lavada	(gr.)	2.98	2.982	2.98
Contenido de finos = ((A-B)/A)x100	(%)	0.23	0.30	0.30
Promedio de contenido de finos	(%)	0.3		

**Tabla N° 63: Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso.**

Peso específico y absorción del agregado grueso				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A=Peso de la muestra secada en horno al aire	(gr.)	5209.80	5039.20	5107.10
B=peso de la muestra en estado SSS al aire	(gr.)	5255.00	5082.00	5167.00
C=peso de la muestra saturada en agua	(gr.)	3326.30	3207.60	3279.80
P.E.A. = A/(A-C)	(gr.)	2.77	2.75	2.79
P.E.A. Promedio	(gr.)	2.77		
P.E.M. = A/(B-C)	(gr.)	2.70	2.69	2.71
P.E.M. Promedio	(gr.)	2.70		
P.E.S.S. = B/(B-C)	(gr.)	2.72	2.71	2.74
P.E.S.S. Promedio	(kg/m <sup>3</sup> )	2.72		

Absorción = $(B-A/A) \times 100g$	(%)	0.87	0.85	1.17
Absorción Promedio	(%)		0.96	

**Tabla N° 64:** Resultados de peso específico y absorción del agregado fino.

Peso específico y absorción del agregado fino				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A= Peso de la muestra secada en horno	(gr.)	503.90	504.20	504.30
B = Peso del picnómetro lleno de agua	(gr.)	1422.00	1423.00	1423.60
C = Peso picnómetro + muestra + agua	(gr.)	1742.20	1743.90	1743.00
D = Peso de la muestra en estado SSS	(gr.)	509.80	509.30	509.90
P.E.A. = $A/(B+D-C)$	(kg/m <sup>3</sup> )	2.66	2.68	2.65
P.E.A. Promedio	(kg/m <sup>3</sup> )		2.66	
P.E.M. = $A/(B+A-C)$	(kg/m <sup>3</sup> )	2.74	2.75	2.73
P.E.M. Promedio	(kg/m <sup>3</sup> )		2.74	
P.E.S.S. = $D/(B+D-C)$	(kg/m <sup>3</sup> )	2.69	2.70	2.68
P.E.S.S. Promedio	(kg/m <sup>3</sup> )		2.69	
Absorción = $(S-E/E) \times 100g$	(%)	1.17	1.01	1.11
Absorción Promedio	(%)		1.10	

**Tabla N° 65:** Resultados de peso específico del agregado de polipropileno reciclado.

Peso específico del polipropileno reciclado				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
$W_{A.G.A}$ = Peso de la muestra	(gr.)	1743	1845	1760
$V_1$ = Peso del recipiente + agua	(cm <sup>3</sup> )	7224	7231	7150
$V_2$ = Peso recipiente + muestra + agua	(gr.)	5369	5253	5298
V.D. = $(V_1-V_2)$	(cm <sup>3</sup> )	1855	1978	1852
Peso Específico = $(W_{A.G.A}/V.D.)$	(gr/cm <sup>3</sup> )	0.94	0.93	0.95
Peso Específico Promedio	(gr/cm <sup>3</sup> )		0.94	

**Tabla N° 66:** Resultados de contenido de vacíos de los agregados fino-suelto.

Contenido de vacíos agregado fino - PUSS				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
W = Peso unitario agua	(kg/m <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
A = Peso específico aparente	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.74	2.75	2.73
B = Peso Unitario Suelto del A.F.	(gr/cm <sup>3</sup> )	1624	1635	1623
Cont. de vacíos = $((AxW)-B/(AxW)) \times 100$	(%)	40.72	40.56	40.54
Promedio del contenido de vacíos	(%)		40.61	

**Tabla N° 67:** Resultados de contenido de vacíos del agregado grueso-suelto.

Contenido de vacíos agregado grueso - PUSS				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
W = Peso unitario agua	(kg/m <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
A = Peso específico aparente	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.70	2.69	2.71
B = Peso Unitario Suelto del A.G.	(gr/cm <sup>3</sup> )	1624	1635	1623
Cont. de vacíos= $((AxW)-B)/(AxW) \times 100$	(%)	40.72	40.56	40.54
Promedio del contenido de vacíos	(%)		40.61	

**Tabla N° 68:** Resultados de contenido de vacíos del agregado de polipropileno reciclado -suelto.

Contenido de vacíos agregado de polipropileno reciclado - PUSS				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
W = Peso unitario agua	(kg/m <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
A = Peso específico aparente	(gr/cm <sup>3</sup> )	0.94	0.93	0.95
B = Peso Unitario Suelto del A.P.	(gr/cm <sup>3</sup> )	500	497	491
Cont. de vacíos= $((AxW)-B)/(AxW) \times 100$	(%)	46.84	46.52	48.27
Promedio del contenido de vacíos	(%)		47.21	

**Tabla N° 69:** Resultados de contenido de vacíos del agregado fino-compacto.

Contenido de vacíos agregado fino - PUCS				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
W = Peso unitario agua	(kg/m <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
A = Peso específico aparente	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.74	2.75	2.73
B = Peso Unitario Compactado del A.F.	(gr/cm <sup>3</sup> )	1765	1765	1765
Cont. de vacíos= $((AxW)-B)/(AxW) \times 100$	(%)	35.58	35.82	35.35
Promedio del contenido de vacíos	(%)		35.58	

**Tabla N° 70:** Resultados de contenido de vacíos del agregado grueso-compacto.

Contenido de vacíos agregado grueso - PUCS				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
W = Peso unitario agua	(kg/m <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
A = Peso específico aparente	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.70	2.69	2.71
B = Peso Unitario Compactado del A.G.	(gr/cm <sup>3</sup> )	1565	1573	1556
Cont. de vacíos= $((AxW)-B)/(AxW) \times 100$	(%)	42.07	41.48	42.49
Promedio del contenido de vacíos	(%)		42.01	

**Tabla N° 71:** Resultados de contenido de vacíos del agregado de polipropileno reciclado -compacto.

Contenido de vacíos agregado de polipropileno reciclado - PUCS				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
W = Peso unitario agua	(kg/m <sup>3</sup> )	1000	1000	1000
A = Peso específico aparente	(gr/cm <sup>3</sup> )	0.94	0.93	0.95
B = Peso Unitario Compactado del A.P.	(gr/cm <sup>3</sup> )	549	555	553
Cont. de vacíos= $((AxW)-B)/(AxW) \times 100$	(%)	41.58	40.31	41.78
Promedio del contenido de vacíos	(%)		41.22	

## ANEXO n° 2.2. Diseño de mezcla respecto al método ACI 211.

**Tabla N° 72:** Diseño de mezcla para un m<sup>3</sup> por el método ACI 211.

Diseño de mezcla para un m <sup>3</sup> por el método ACI 211		
Datos:		
F'c= 175 kg/cm <sup>2</sup>		
Pe cemento = 3.15 gr/cm <sup>3</sup>		
Pe agua = 1000 kg/m <sup>3</sup>		
Slump = 3" a 4"		
I.- Determinar la resistencia a la compresión requerida (F'cr).		
F'c	175 kg/cm <sup>2</sup> + 70	F'cr 245 kg/cm <sup>2</sup>
II.- Contenido de aire (tabla)	1.5%	III.- Contenido de agua (tabla)
		193 lt.
IV.- Relación a/c.		
	R a/c = 0.628	
V.- Contenido de cemento		
	Cemento = 307.32 kg	
VI.- Estimación del contenido de agregado grueso y fino.		
Vol. del A.G.	0.71 m <sup>3</sup>	
Peso del A.G.	1111.15 kg	
Vol. del A.G.	0.283 m <sup>3</sup>	
Peso del A.G.	749.69 kg	
VII.- diseño de mezcla para 1m <sup>3</sup> de concreto seco		
Materiales	cantidad	
Agua	193	Lt.
Cemento	307.32	kg

Agregado grueso	1111.15	kg
Agregado fino	749.69	Kg

VIII.- Ajustes por absorción y humedad de los agregados.

Materiales	cantidad	
Agua	203.054	Lt.
Cemento	307.32	kg
Agregado grueso	1115.59	kg
Agregado fino	753.44	Kg

Diseño final para un m <sup>3</sup> de concreto y los distintos porcentajes						
Materiales	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	100%
Agua	(Lt)	203.05	203.05	203.05	203.05	203.05
Cemento	(kgf)	307.32	307.32	307.32	307.32	307.32
Agregado grueso	(kgf)	1115.59	836.69	557.80	278.90	--
Agregado fino	(kgf)	753.44	753.44	753.44	753.44	753.44
Agregado de polipropileno reciclado	(kgf)	--	96.53	193.07	289.60	386.14

*Tabla N° 73: Diseño de mezcla para 60 probetas.*

Materiales	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	100%
Factor de conversión		0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Agua	(Lt)	13.51	13.51	13.51	13.51	13.51
Cemento	(kgf)	21.27	21.27	21.27	21.27	21.27
Agregado grueso	(kgf)	77.22	57.91	38.61	19.30	--
Agregado fino	(kgf)	52.48	52.48	52.48	52.48	52.48
Agregado de polipropileno reciclado	(kgf)	--	6.76	13.51	20.27	27.03
Total		164.48	151.93	139.38	126.83	114.29

## ANEXO n° 2.3. Resultados de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

### ANEXO n° 2.3.1 Resultados de las propiedades del concreto en estado fresco.

*Tabla N° 74: Resultados del ensayo de temperatura del concreto.*

		Temperatura				
Descripción del ensayo	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	% 100
		21.5	21.5	22.0	20.6	21.5
Temperatura	C°	21.8	20.5	21.5	20.2	21.5

		22.6	21.0	21.1	20.7	21.5
Temperatura promedio	C°	22.0	21.0	21.5	20.5	20.5

**Tabla N° 75: Resultados del ensayo de asentamiento del concreto.**

		Asentamiento				
Descripción del ensayo	Unidad de medida	0%	25%	50%	75%	% 100
		3 3/4"	3 1/2"	3 5/8"	2 3/4"	2"
Asentamiento	(kg/m <sup>3</sup> )	4"	3 3/4"	3"	2 3/4"	2 5/8"
		4 1/2"	4"	3 3/4"	2"	2 3/4"
Asentamiento promedio	(kg/m <sup>3</sup> )	4"	3 3/4"	3 1/2"	2 3/4"	2 1/2"

**Tabla N° 76: Resultados del ensayo de peso unitario del concreto patrón.**

Peso unitario del concreto en estado fresco al 0% de Agregado de polipropileno reciclado.				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del molde	(kg)	6.86	6.86	6.86
V = Volumen del molde	(m <sup>3</sup> )	0.0074	0.0074	0.0074
G = Peso del molde + Peso muestra	(kg)	23.99	24.09	24.19
Peso unitario = (G-T)/V	(kg/m <sup>3</sup> )	2315	2329	2342
Peso unitario promedio	(kg/m <sup>3</sup> )		2329	

**Tabla N° 77: Resultados del ensayo de peso unitario del concreto al 25% de Agregado de polipropileno reciclado.**

Peso unitario del concreto en estado fresco al 25% de agregado de polipropileno reciclado.				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del molde	(kg)	6.859	6.859	6.859
V = Volumen del molde	(m <sup>3</sup> )	0.0074	0.0074	0.0074
G = Peso del molde + Peso muestra	(kg)	22.97	23.24	22.70
Peso unitario = (G-T)/V	(kg/m <sup>3</sup> )	2177	2214	2141
Peso unitario promedio	(kg/m <sup>3</sup> )		2177	

**Tabla N° 78: Resultados del ensayo de peso unitario del concreto al 50% de agregado de polipropileno reciclado.**

Peso unitario del concreto en estado fresco al 50% de agregado de polipropileno reciclado.				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del molde	(kg)	6.86	6.86	6.86
V = Volumen del molde	(m <sup>3</sup> )	0.0074	0.0074	0.0074
G = Peso del molde + Peso muestra	(kg)	21.97	21.89	21.93
Peso unitario = (G-T)/V	(kg/m <sup>3</sup> )	2042	2031	2036
Peso unitario promedio	(kg/m <sup>3</sup> )		2036	

**Tabla N° 79:** Resultados del ensayo de peso unitario del concreto al 75% de agregado de polipropileno reciclado.

Peso unitario del concreto en estado fresco al 75% de agregado de polipropileno reciclado.				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del molde	(kg)	6.86	6.86	6.86
V = Volumen del molde	(m <sup>3</sup> )	0.0074	0.0074	0.0074
G = Peso del molde + Peso muestra	(kg)	20.61	19.85	21.36
Peso unitario = (G-T)/V	(kg/m <sup>3</sup> )	1858	1756	1959
Peso unitario promedio	(kg/m <sup>3</sup> )		1858	

**Tabla N° 80:** Resultados del ensayo de peso unitario del concreto al 100% de agregado de polipropileno reciclado.

Peso unitario del concreto en estado fresco al 100% de agregado de polipropileno reciclado.				
Descripción	Unidad de medida	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
T = Peso del molde	(kg)	6.86	6.86	6.86
V = Volumen del molde	(m <sup>3</sup> )	0.0074	0.0074	0.0074
G = Peso del molde + Peso muestra	(kg)	20.73	18.97	19.85
Peso unitario = (G-T)/V	(kg/m <sup>3</sup> )	1874	1637	1756
Peso unitario promedio	(kg/m <sup>3</sup> )		1756	

## ANEXO n° 2.3.2 Resultados de las propiedades del concreto en estado endurecido.

**Tabla N° 81:** Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días.

Resistencia a la compresión a los 7 días.						
Porcentaje (%)	Muestras	Fuerza (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
0	Muestra 1	14904	10.1	80.12	186	184
	Muestra 2	14297	10.1	80.12	178	
	Muestra 3	15003	10.1	80.12	187	
25	Muestra 1	12350	10.1	80.12	154	151
	Muestra 2	11738	10.1	80.12	147	
	Muestra 3	12168	10.1	80.12	152	
50	Muestra 1	7905	10.1	80.12	99	103
	Muestra 2	8636	10.1	80.12	108	
	Muestra 3	8220	10.1	80.12	103	
75	Muestra 1	6734	10.1	80.12	84	86
	Muestra 2	7037	10.1	80.12	88	
	Muestra 3	6995	10.1	80.12	87	
100	Muestra 1	5268	10.1	80.12	66	68
	Muestra 2	5711	10.1	80.12	71	
	Muestra 3	5443	10.1	80.12	68	

**Tabla N° 82: Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.**

Resistencia a la compresión a los 28 días.						
Porcentaje (%)	Muestras	Fuerza (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
0	Muestra 1	21445	10.1	80.12	268	271
	Muestra 2	20377	10.1	80.12	254	
	Muestra 3	22359	10.1	80.12	279	
	Muestra 4	22770	10.1	80.12	284	
	Muestra 5	21437	10.1	80.12	268	
	Muestra 6	22058	10.1	80.12	275	
25	Muestra 1	17198	10.1	80.12	215	214
	Muestra 2	16905	10.1	80.12	211	
	Muestra 3	17628	10.1	80.12	220	
	Muestra 4	17196	10.1	80.12	215	
	Muestra 5	16700	10.1	80.12	208	
	Muestra 6	17224	10.1	80.12	215	
50	Muestra 1	9896	10.1	80.12	124	126
	Muestra 2	10637	10.1	80.12	132	
	Muestra 3	10637	10.1	80.12	133	
	Muestra 4	9387	10.1	80.12	117	
	Muestra 5	10345	10.1	80.12	129	
	Muestra 6	9748	10.1	80.12	122	
75	Muestra 1	8073	10.1	80.12	101	99
	Muestra 2	7730	10.1	80.12	96	
	Muestra 3	7964	10.1	80.12	99	
	Muestra 4	7758	10.1	80.12	97	
	Muestra 5	8005	10.1	80.12	100	
	Muestra 6	7866	10.1	80.12	98	
100	Muestra 1	7246	10.1	80.12	90	93
	Muestra 2	7466	10.1	80.12	93	
	Muestra 3	6828	10.1	80.12	85	
	Muestra 4	8359	10.1	80.12	104	
	Muestra 5	7574	10.1	80.12	95	
	Muestra 6	7312	10.1	80.12	91	

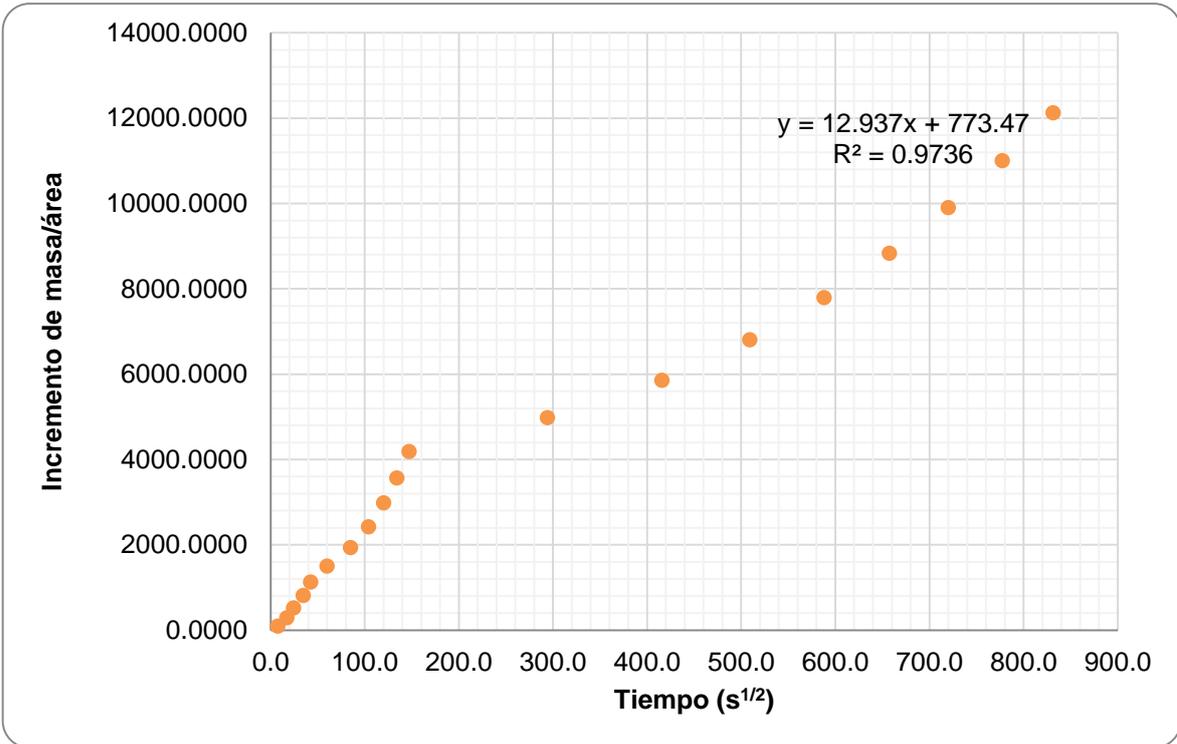
**Tabla N° 83: Resultados del incremento de masa para el ensayo de succión capilar.**

Incremento de masa para el ensayo de succión capilar							
Agregado de polipropileno reciclado (%)	0	25	50	75	100	S	S2
Diámetro	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	300	17
Área (m <sup>2</sup> )	0.80	0.81	0.82	0.82	0.82		
02/09/2020 (00:05)	963.80	909.35	812.55	753.25	695.40	600	24
02/09/2020 (00:10)	964.15	909.90	813.55	754.00	696.25	1200	35
02/09/2020 (00:20)	964.55	910.40	814.45	754.65	696.95	1800	42
02/09/2020 (00:30)	964.80	910.95	815.30	755.20	697.50	3600	60
02/09/2020 (01:00)	965.20	911.50	816.55	756.20	698.75	7200	85
02/09/2020 (02:00)	965.75	912.05	817.75	756.95	699.65		

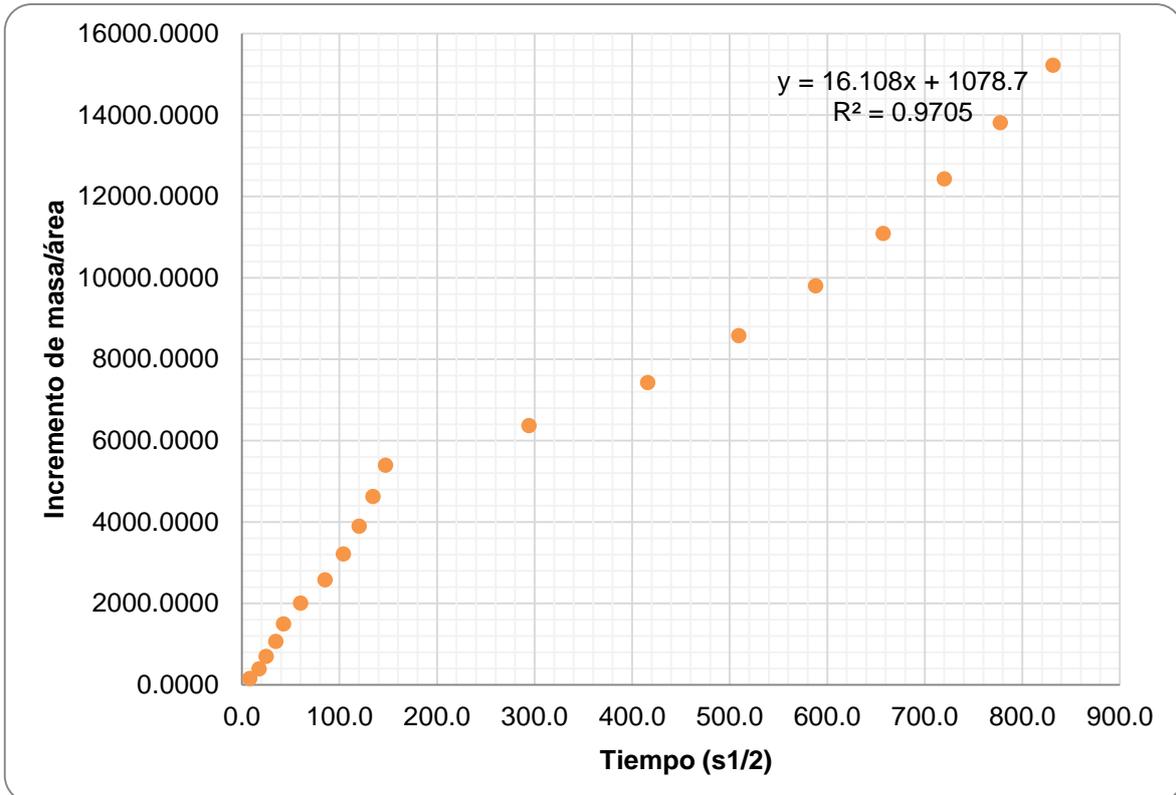
02/09/2020 (03:00)	966.15	912.50	818.65	757.65	700.45	10800	104
02/09/2020 (04:00)	966.70	912.95	819.55	758.35	701.10	14400	120
02/09/2020 (05:00)	966.95	913.30	819.90	759.00	701.65	18000	134
02/09/2020 (06:00)	967.20	913.60	820.20	759.50	702.10	21600	147
03/09/2020 (24:00)	968.60	915.20	823.25	764.15	706.10	86400	294
04/09/2020 (36:00)	969.30	915.95	825.20	766.75	708.40	172800	416
05/09/2020 (48:00)	969.80	916.65	826.25	768.05	709.90	259200	509
06/09/2020 (60:00)	970.20	917.25	826.90	768.85	710.75	345600	588
07/09/2020 (72:00)	970.55	917.75	827.45	769.50	711.25	432000	657
08/09/2020 (84:00)	970.85	918.20	827.90	770.10	711.75	518400	720
09/09/2020 (96:00)	971.05	918.50	828.30	770.65	712.15	604400	777
10/09/2020 (108:00)	971.20	918.75	828.65	771.10	712.50	691200	831

**Tabla N° 84:** Capacidad de succión capilar.

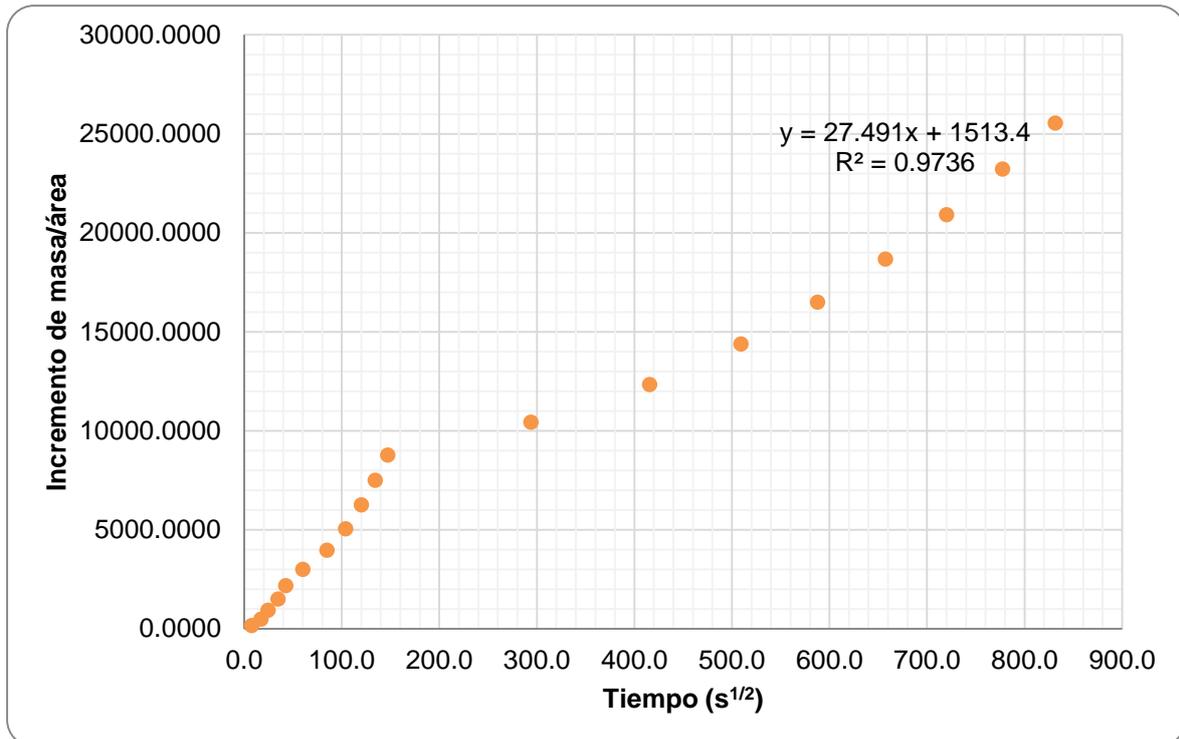
Capacidad de succión capilar							
Agregado de polipropileno reciclado (%)	0	25	50	75	100		
Diámetro	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1		
Área (m <sup>2</sup> )	0.80	0.81	0.82	0.82	0.82	S	S2
02/09/2020 (00:05)	1930	2378	3254	3254	3504	300	17
02/09/2020 (00:10)	2365	3066	4505	4192	4568	600	24
02/09/2020 (00:20)	2863	3692	5632	5006	5444	1200	35
02/09/2020 (00:30)	3174	4380	6695	5694	6132	1800	42
02/09/2020 (01:00)	3672	5068	8260	6946	7697	3600	60
02/09/2020 (02:00)	4357	5757	9761	7884	8823	7200	85
02/09/2020 (03:00)	4855	6320	10888	8760	9824	10800	104
02/09/2020 (04:00)	5540	6883	12014	9636	10637	14400	120
02/09/2020 (05:00)	5851	7321	12452	10450	11326	18000	134
02/09/2020 (06:00)	6162	7697	12828	11075	11889	21600	147
03/09/2020 (24:00)	7905	9699	16644	16895	16895	86400	294
04/09/2020 (36:00)	8776	10637	19085	20149	19773	172800	416
05/09/2020 (48:00)	9399	11513	20399	21775	21650	259200	509
06/09/2020 (60:00)	9897	12264	21212	22777	22714	345600	588
07/09/2020 (72:00)	10332	12890	21901	23590	23340	432000	657
08/09/2020 (84:00)	10706	13453	22464	24341	23966	518400	720
09/09/2020 (96:00)	10955	13829	22964	25029	24466	604400	777
10/09/2020 (108:00)	11142	14142	23402	25592	24904	691200	831



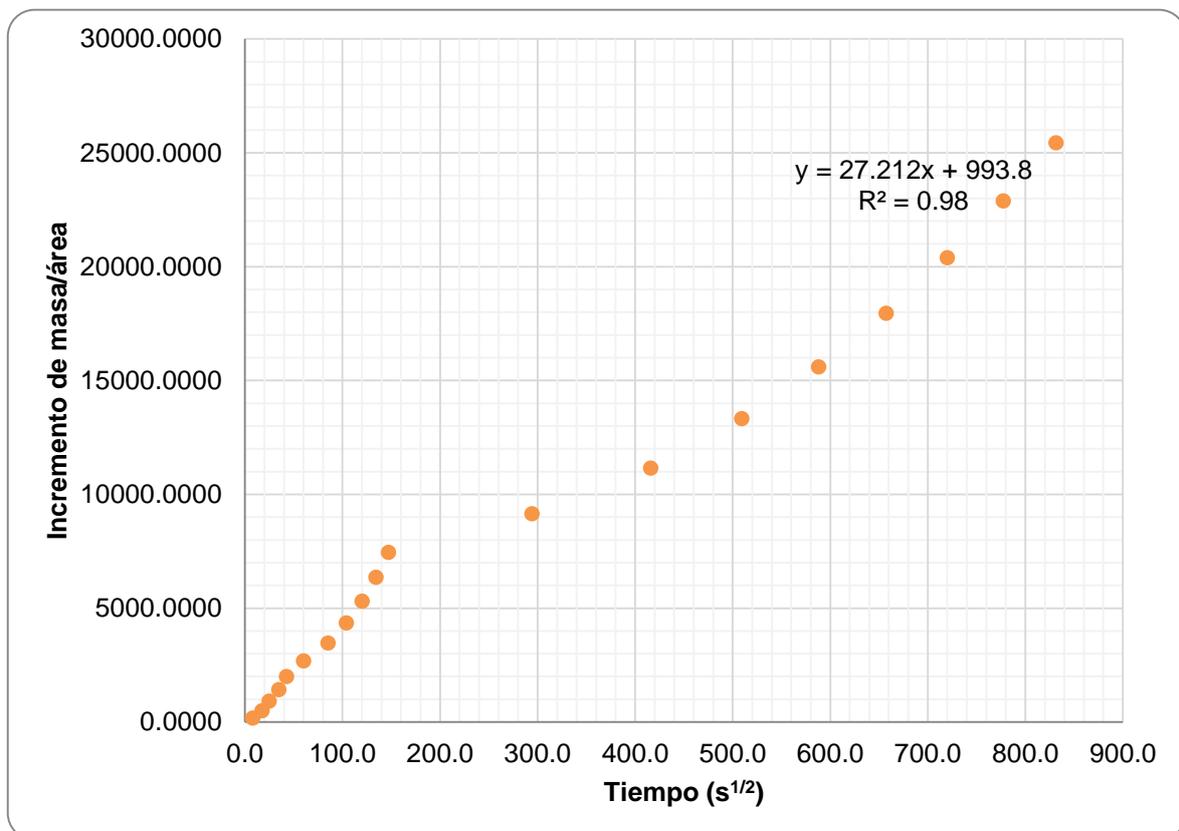
**Figura N° 23:** Velocidad de succión capilar del concreto con 0% de agregado de polipropileno reciclado.



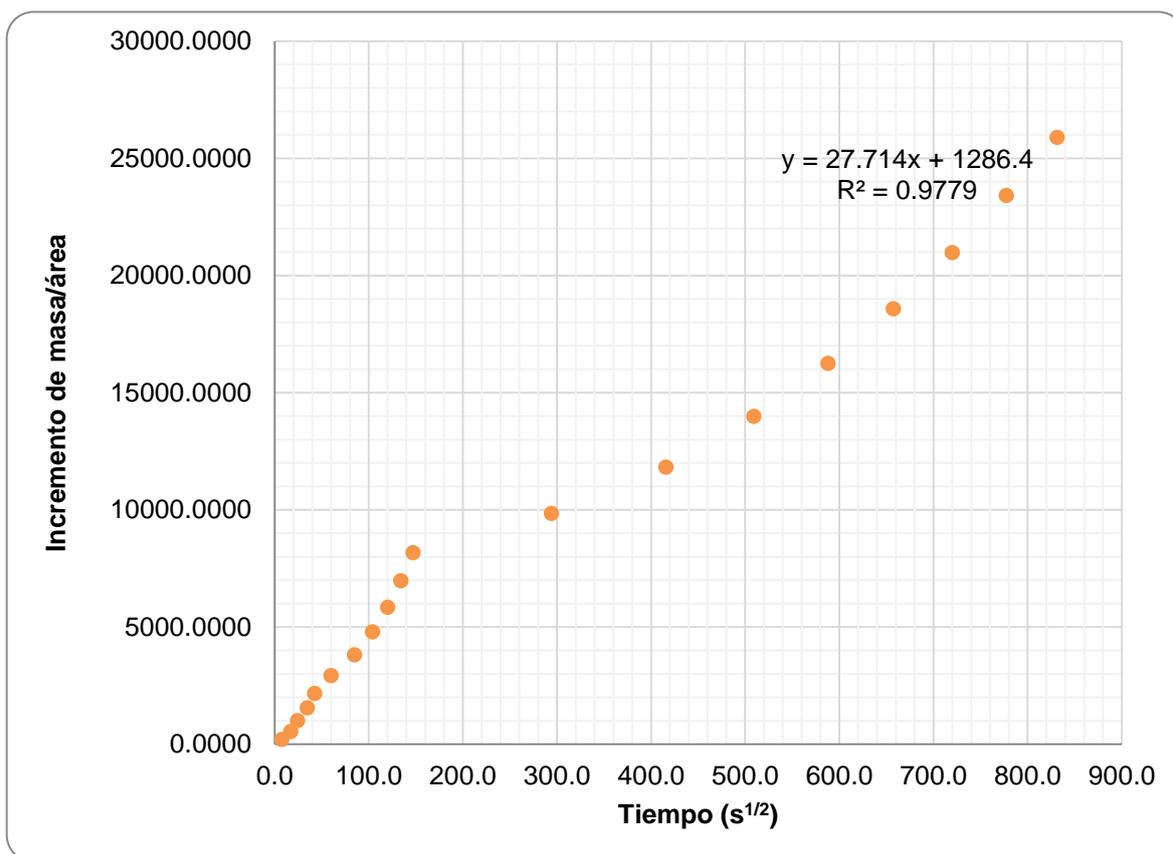
**Figura N° 22:** Velocidad de succión capilar del concreto con 25% de agregado de polipropileno reciclado.



**Figura N° 24:** Velocidad de succión capilar del concreto con 50% de agregado de polipropileno reciclado.



**Figura N° 25:** Velocidad de succión capilar del concreto con 50% de agregado de polipropileno reciclado.



**Figura N° 26:** Velocidad de succión capilar del concreto con 100% de agregado de polipropileno reciclado.

**Tabla N° 85:** Velocidad de absorción de agua.

Velocidad de absorción de agua					
Porcentaje de agregado de polipropileno reciclado	0%	25%	50%	75%	100%
S(g/(m <sup>2</sup> .S <sup>1/2</sup> ))	12.937	16.108	27.491	27.212	27.714
R <sup>2</sup>	0.9736	0.9705	0.9736	0.98	0.9779

**Tabla N° 86:** Costo por m<sup>3</sup> de agregado de polipropileno reciclado.

Costo por m <sup>3</sup> de agregado de polipropileno reciclado					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	Total
Materiales					34
Gas	Balón	0.5	32	16	
Cuchara de palo	Und.	2	1.5	23	
Transporte para la recolección	Glb.	10	1.5	15	
Equipos y Herramientas					4.2
Molde de aluminio	Und.	5	10	50	
Olla	Und.	2	10	20	
Cocina	Und.	1	40	40	
Maquina manual	Und.	1	30	30	
Costo unitario por m <sup>3</sup>					38.20

**Tabla N° 87:** Costo unitario por m<sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> con 0% de agregado de polipropileno reciclado.

Costo unitario con el 0% de agregado de polipropileno reciclado				
Materiales	Unidad de medida	Cantidad	Precio	Parcial
Agua	M <sup>3</sup>	0.203	6.00	1.22
Cemento portland tipo ms	Bls.	7.231	21.50	155.47
Agregado grueso	M <sup>3</sup>	1.116	45.00	50.20
Arena gruesa	M <sup>3</sup>	0.750	40.00	30.14
Agregado de polipropileno reciclado	M <sup>3</sup>	0.000	38.20	0.00
Costo unitario por m <sup>3</sup>				237.02

**Tabla N° 88:** Costo unitario por m<sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> con 25% de agregado de polipropileno reciclado.

Costo unitario con el 25% de agregado de polipropileno reciclado				
Materiales	Unidad de medida	Cantidad	Precio	Parcial
Agua	M <sup>3</sup>	0.203	6.00	1.22
Cemento portland tipo ms	Bls.	7.231	21.50	155.47
Agregado grueso	M <sup>3</sup>	0.837	45.00	37.65
Arena gruesa	M <sup>3</sup>	0.750	40.00	30.14
Agregado de polipropileno reciclado	M <sup>3</sup>	0.097	38.20	3.69
Costo unitario por m <sup>3</sup>				288.16

**Tabla N° 89:** Costo unitario por m<sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> con 50% de agregado de polipropileno reciclado.

Costo unitario con el 50% de agregado de polipropileno reciclado				
Materiales	Unidad de medida	Cantidad	Precio	Parcial
Agua	M <sup>3</sup>	0.203	6.00	1.22
Cemento portland tipo ms	Bls.	7.231	21.50	162.70
Agregado grueso	M <sup>3</sup>	0.558	45.00	25.10
Arena gruesa	M <sup>3</sup>	0.750	40.00	26.24
Agregado de polipropileno reciclado	M <sup>3</sup>	0.193	38.20	7.38
Costo unitario por m <sup>3</sup>				219.30

**Tabla N° 90:** Costo unitario por m<sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> con 75% de agregado de polipropileno reciclado.

Costo unitario con el 75% de agregado de polipropileno reciclado				
Materiales	Unidad de medida	Cantidad	Precio	Parcial
Agua	M <sup>3</sup>	0.203	6.00	1.22
Cemento portland tipo ms	Bls.	7.231	21.50	155.47
Agregado grueso	M <sup>3</sup>	0.279	45.00	12.55
Arena gruesa	M <sup>3</sup>	0.750	40.00	30.14
Agregado de polipropileno reciclado	M <sup>3</sup>	0.209	38.20	11.06
Costo unitario por m <sup>3</sup>				210.44

**Tabla N° 91:** Costo unitario por m<sup>3</sup> para un concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> con 100% de agregado de polipropileno reciclado.

Costo unitario con el 100% de agregado de polipropileno reciclado				
Materiales	Unidad de medida	Cantidad	Precio	Parcial
Agua	M <sup>3</sup>	0.203	6.00	1.22
Cemento portland tipo ms	Bls.	7.231	21.50	155.47
Agregado grueso	M <sup>3</sup>	0.00	45.00	0.00
Arena gruesa	M <sup>3</sup>	0.750	40.00	30.14
Agregado de polipropileno reciclado	M <sup>3</sup>	0.386	38.20	14.75
Costo unitario por m <sup>3</sup>				201.57

## ANEXO n° 2 Procedimientos del análisis estadístico de los ensayos del concreto.

### HIPÓTESIS

#### Hipótesis alterna

**H<sub>1</sub>:** El incremento del agregado de polipropileno reciclado influye significativamente en las propiedades mecánicas de compresión y succión capilar de un concreto convencional, Trujillo 2020.

#### Hipótesis nula

**H<sub>0</sub>:** El incremento del agregado de polipropileno reciclado no influye significativamente en las propiedades mecánicas de compresión y succión capilar de un concreto convencional, Trujillo 2020.

### ANEXO n° 2.1. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días.

#### Nivel de significancia

Para la presente investigación se tomó la significancia con un 95 % como nivel de confianza ( $\alpha=0.05$ ).

#### Criterio de rechazo

Prueba de normalidad: como la muestra en la **Tabla N° 92** observamos que el gl es de 5, al ser este un valor menor que 50 por lo que se utilizará la prueba de Shapiro-Wilk.

**Tabla N° 92:** Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión a los 7 días.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
compresión	,225	5	,200	,937	5	,150

Como muestra la **Tabla N° 92** los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 7 días, existe normalidad porque no hay diferencia significativa entre ambos modelos

debido a que el P-valor (Sig.) es mayor al 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna planteada por el investigador.

**Tabla N° 93:** Prueba de homogeneidad de varianzas de la resistencia a la compresión a los 7 días.

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	g1	g2	Sig.
0,168	4	10	,920

Como muestra la **Tabla N° 93** los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 7 días, existe normalidad porque no hay diferencia significativa entre ambos modelos debido a que el P-valor (Sig.) es mayor al 0.05.

**Tabla N° 94:** Parámetros del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días.

Parámetros promedios del ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días.						
Porcentaje (%)	Muestras	Fuerza (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
0	Muestra 1	14904	10.1	80.12	186	184
	Muestra 2	14297	10.1	80.12	178	
	Muestra 3	15003	10.1	80.12	187	
25	Muestra 1	12350	10.1	80.12	154	151
	Muestra 2	11738	10.1	80.12	147	
	Muestra 3	12168	10.1	80.12	152	
50	Muestra 1	7905	10.1	80.12	99	103
	Muestra 2	8636	10.1	80.12	108	
	Muestra 3	8220	10.1	80.12	103	
75	Muestra 1	6734	10.1	80.12	84	86
	Muestra 2	7037	10.1	80.12	88	
	Muestra 3	6995	10.1	80.12	87	
100	Muestra 1	5268	10.1	80.12	66	68
	Muestra 2	5711	10.1	80.12	71	
	Muestra 3	5443	10.1	80.12	68	

### Análisis de varianzas y F de Fisher

**Tabla N° 95 :** Contrastación de hipótesis de los parámetros de la resistencia a la compresión a los 7 días.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F (Exp.)	F (Teórico)
Cantidad de agregado de polipropileno reciclado.	4	27253.07	6813.27	498.53	3.58
Error	10	136.67	13.67		
Total	14	27389.74	6826.94		

De acuerdo con los resultados de la **Tabla N° 95** se determinó que el F. Exp. (498.53) es mayor al F. Teórico (3.58). Del cual podemos concluir que la cantidad de concreto plástico influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto, aceptando la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y rechazando la hipótesis nula ( $H_0$ ).

## ANEXO n° 2.2. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.

### Nivel de significancia

Para la presente investigación se tomó la significancia con un 95 % como nivel de confianza ( $\alpha=0.05$ ).

### Criterio de rechazo

Prueba de normalidad: como la muestra en la **Tabla N° 96** observamos que el gl es de 5 > 50 por lo que se utilizará la prueba de Shapiro-Wilk.

**Tabla N° 96:** Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión a los 28 días.

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
compresión	,269	5	,200*	,867	5	,254

Como muestra la **Tabla N° 96** los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 28 días, existe normalidad porque no hay diferencia significativa entre ambos modelos debido a que el P-valor (Sig.) es mayor al 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna planteada por el investigador.

**Tabla N° 97:** Prueba de homogeneidad de varianzas de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de	gl1	gl2	Sig.
Levene			
0,074	4	10	,988

Como muestra la **Tabla N° 97** los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 28 días, existe normalidad porque no hay diferencia significativa entre ambos modelos debido a que el P-valor (Sig.) es mayor al 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna planteada por el investigador.

**Tabla N° 98:** *Parámetros del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.*

Parámetros promedios del ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días.						
Porcentaje (%)	Muestras	Fuerza (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
0	Muestra 1	21445	10.1	80.12	268	271
	Muestra 2	20377	10.1	80.12	254	
	Muestra 3	22359	10.1	80.12	279	
	Muestra 4	22770	10.1	80.12	284	
	Muestra 5	21437	10.1	80.12	268	
	Muestra 6	22058	10.1	80.12	275	
25	Muestra 1	17198	10.1	80.12	215	214
	Muestra 2	16905	10.1	80.12	211	
	Muestra 3	17628	10.1	80.12	220	
	Muestra 4	17196	10.1	80.12	215	
	Muestra 5	16700	10.1	80.12	208	
	Muestra 6	17224	10.1	80.12	215	
50	Muestra 1	9896	10.1	80.12	124	126
	Muestra 2	10637	10.1	80.12	132	
	Muestra 3	10637	10.1	80.12	133	
	Muestra 4	9387	10.1	80.12	117	
	Muestra 5	10345	10.1	80.12	129	
	Muestra 6	9748	10.1	80.12	122	
75	Muestra 1	8073	10.1	80.12	101	99
	Muestra 2	7730	10.1	80.12	96	
	Muestra 3	7964	10.1	80.12	99	
	Muestra 4	7758	10.1	80.12	97	
	Muestra 5	8005	10.1	80.12	100	
	Muestra 6	7866	10.1	80.12	98	
100	Muestra 1	7246	10.1	80.12	90	93
	Muestra 2	7466	10.1	80.12	93	
	Muestra 3	6828	10.1	80.12	85	
	Muestra 4	8359	10.1	80.12	104	
	Muestra 5	7574	10.1	80.12	95	
	Muestra 6	7312	10.1	80.12	91	

### Análisis de varianza y F de Fisher

**Tabla N° 99:** Contrastación de hipótesis de los parámetros de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F (Exp.)	F (Teórico)
Cantidad de agregado de polipropileno reciclado.	4	148351.53	37087.88	879.97	2.76
Error	25	1053.67	42.15		
Total	29	149405.23			

De acuerdo con los resultados de la **Tabla N° 99** se determinó que el F. Exp. (879.97) es mayor al F. Teórico (2.76). Del cual podemos concluir que la cantidad de concreto plástico influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto, aceptando la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y rechazando la hipótesis nula ( $H_0$ ).

### ANEXO n° 2.3. Ensayo de succión capilar

#### Nivel de significancia

Para la presente investigación se tomó la significancia con un 95 % como nivel de confianza ( $\alpha=0.05$ ).

#### Criterio de rechazo

Prueba de normalidad: como la muestra en la **Tabla N° 100** observamos que el gl es de 5 > 50 por lo que se utilizará la prueba de Shapiro-Wilk.

**Tabla N° 100:** Prueba de normalidad de succión capilar.

#### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Succión capilar	,302	5	,153	,830	5	,138

Como muestra la **Tabla N° 100** los resultados obtenidos de la succión capilar, existe normalidad porque no hay diferencia significativa entre ambos modelos debido a que el P-

valor (Sig.) es mayor al 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna planteada por el investigador.

**Tabla N° 101: Prueba de homogeneidad de varianzas de la succión capilar.**

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

Estadístico de Levene	g1	g2	Sig.
2,075	2	12	,168

Como muestra la **Tabla N° 101** los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión a los 28 días, existe normalidad porque no hay diferencia significativa entre ambos modelos debido a que el P-valor (Sig.) es mayor al 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna planteada por el investigador.

**Tabla N° 102: Parámetros del ensayo de absorción capilar.**

Parámetros del ensayo de Absorción capilar.					
Porcentaje (%)	Muestras	Masa (g)	$\Delta$ masa (g)	Absorción (g/s)	Absorción promedio (g/s)
0	Muestra 1	979.80	8.60	1.0691	1.1180
	Muestra 2	962.60	9.30	1.1678	
	Muestra 3	971.20	8.95	1.1171	
25	Muestra 1	931.70	10.90	1.3550	1.4115
	Muestra 2	905.80	11.70	1.4691	
	Muestra 3	918.75	11.30	1.4104	
50	Muestra 1	807.40	19.20	2.3869	2.3354
	Muestra 2	849.90	18.20	2.2853	
	Muestra 3	828.65	18.70	2.3340	
75	Muestra 1	785.60	19.90	2.4739	2.5544
	Muestra 2	756.60	21.00	2.6369	
	Muestra 3	771.10	20.45	2.5524	
100	Muestra 1	714.10	20.60	2.5609	2.4852
	Muestra 2	710.90	19.20	2.4108	
	Muestra 3	712.50	19.90	2.4838	

## Análisis de varianza y F de Fisher

**Tabla N° 103:** Contrastación de hipótesis de los parámetros de la resistencia a la absorción capilar.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F (Exp.)	F (Teórico)
Cantidad de agregado de polipropileno reciclado.	4	5.333	1.333	325.18	3.48
Error	10	0.041	0.004		
Total	14	5.374			

De acuerdo con los resultados de la **Tabla N° 103** se determinó que el F (Experimental) es mayor al F (Teórico). Del cual podemos concluir que la cantidad de concreto plástico influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto, aceptando la hipótesis alterna ( $H_1$ ) y rechazando la hipótesis nula ( $H_0$ ).

### ANEXO n° 3. Certificado de elaboracion de ensayos en el laboratorio.



## CONSTANCIA DE ENSAYOS EN LABORATORIO

El que suscribe, Alfonso Vega Farfán, Gerente General de QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C., con R.U.C. N° 20601220017

#### HACE CONSTAR:

Que, el Sr. Antony Augusto Carranza Castillo, identificado con D.N.I. N°47524465, ha realizado ensayos de caracterización de agregados, elaboración de mezclas de prueba de concreto, ensayos de concreto en estado fresco, elaboración de testigos cilíndricos de concreto y ensayo de permeabilidad de concreto, en nuestras instalaciones con la supervisión y apoyo de nuestro personal técnico entre el 26 de junio de 2020 hasta el 11 de setiembre de 2020, requeridos para su proyecto de tesis.

Se expide el presente documento para los fines que el solicitante estime conveniente.

Trujillo, 14 de setiembre de 2020

  
Alfonso Vega Farfan  
GERENTE GENERAL  
QUALITY CONTROL EXPRESS SAC

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés, Trujillo // (044) 705879, 951441959 // [alfonso.vega@qce.com.pe](mailto:alfonso.vega@qce.com.pe)

ANEXO n° 4. Certificado de calibración.



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
CMC-031-2020**

Peticionario : QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.  
 Atención : QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.  
 Lugar de calibración : Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andres - Trujillo.  
 Tipo de equipo : Máquina de compresión axial eléctrico-hidráulica digital  
 Capacidad del equipo : 2,000 kN  
 División de escala : 1 kgf.  
 Marca : ALFA  
 Modelo : B-001/LCD/2  
 N° de serie del equipo : 050220/21  
 Panel digital : DIGITAL ALFA  
 Número serie panel digital : 050220/21  
 Código : No Indica  
 Procedencia : Turquía.  
 Método de calibración : ASTM E-4 "Standard Practices for Force Verification of Testing machines"  
 Temp.(°C) y H.R.(%) inicial : 31.1°C / 45%  
 Temp.(°C) y H.R.(%) final : 31.1°C / 54%  
 Patrón de referencia : Trazabilidad NIST (United States National Institute of Standards & Technology), patrón utilizado Morehouse, N° de serie C-8294, clase A, calibrado de acuerdo a la norma ASTM E74-18, certificado de calibración reporte N° C-8294(ASRET)K0518  
 Número de páginas : 2

Fecha de calibración : 2020-03-13  
 Este certificado de calibración sólo puede ser difundido sin modificaciones y en su totalidad.  
 Las modificaciones y extractos del certificado necesitan autorización de CELDA EIRL.  
 El presente certificado sin firmas y sellos carece de validez.

Sello	Fecha	Hecho por	Revisado por
	2020-03-20	 Vladimir Tello Torres TECNICO DE LABORATORIO	 JORGE FRANCISCO RAMIREZ JAPAJA INGENIERO CIVIL Reg. del O.P. N° 24288

CMC-031-2020

Página 1 de 2

Av. Circunvalación s/n Mz. B Lt. 1 Urb. Praderas de Huachipa Larigancho - Chosica Telf.: (01) 540 7661 e-mail: servicios@celda.com.pe



**Resultados de medición**

Dirección de carga : Compresión

Indicación de fuerza de la máquina de ensayo		Indicación de fuerza en la celda patrón			Promedio	Error	Incertidumbre K=2
(%)	(kgf)	1º ascenso (kgf)	2º ascenso (kgf)	3º ascenso (kgf)			
0	0	0	0	0	0	0	0.1
5	10000	9990.1	9939.3	9896.8	9938.7	0.6	0.1
10	20000	19895.0	19844.1	19895.9	19911.7	0.4	0.1
15	30000	29893.6	29888.3	30148.7	29976.9	0.1	0.1
20	40000	39819.4	39701.6	40146.1	39892.4	0.3	0.1
25	50000	49921.6	50008.8	50206.4	50045.6	-0.1	0.1
29	60000	59947.6	60006.1	60095.2	60016.3	0.0	0.1
34	70000	70027.9	69970.4	69925.8	69974.7	0.0	0.1
39	80000	80029.5	80010.0	80352.7	80130.7	-0.2	0.1
44	90000	90388.4	90105.9	90354.1	90282.8	-0.3	0.1
49	100000	100189.9	100146.2	100232.8	100190.3	-0.2	0.1

**Incertidumbre**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la Incertidumbre Expandida de medición, que resulta de multiplicar la Incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$  y ha sido determinada de acuerdo a la "Guía para la expresión de la Incertidumbre en la medición".

**Notas**

El usuario está obligado a tener el equipo calibrado en intervalos apropiados de tiempo de acuerdo al uso, mantenimiento y conservación que este expuesto.

El equipo se encuentra calibrado y cumple con los requisitos de la norma ASTM C39



**ANEXO n° 5. Constancia de la empresa CONSORCIO RODRÍGUEZ CABALLERO.**



**CONSORCIO RODRIGUEZ CABALLERO S.A.C.**

Abastecimiento de agua en cisternas, venta de agregados para la construcción, alquiler maquinaria pesada y otras actividades de transporte.



RUC: 20482304665

Trujillo, 23 de Junio del 2020

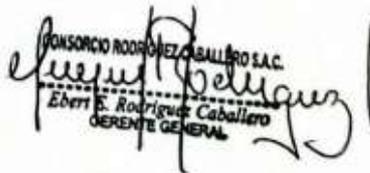
Carta N° 01-2020/CRC

Estimado Señor,

De nuestra especial consideración, por medio de la presente hacemos llegar nuestro más cordial saludo y a la vez de su conocimiento que los agregados que nuestra empresa vende en su establecimiento es proveniente de la cantera HUANCHACO.

Sin otro particular, nos despedimos

Atentamente,

  
CONSORCIO RODRIGUEZ CABALLERO S.A.C.  
Eberth B. Rodríguez Caballero  
GERENTE GENERAL

## ANEXO n° 6. Ficha técnica de Cemento Mochica Antisalitre



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**

Calle La Coloma N° 100 016, 01° Avenida Maritima Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 389 Pucallpa - La Libertad  
Teléfono 311 - 8000



SGC-REG-06-G0002 -  
Versión 01

### CEMENTO MOCHICA ANTISALITRE

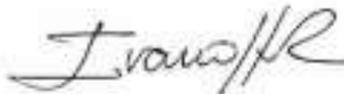
Cemento Portland Tipo MS

Conforme a la NTP 334.002 / ASTM C1157

Pacasmayo, 15 de Junio del 2016

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA (*)	Requisito NTP 334.002 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	8	NO ESPECIFICA
Expansión en Autoclave	%	0.06	Máximo 0.06
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	4838	NO ESPECIFICA
Retenido M200	%	3.7	NO ESPECIFICA
Densidad	g/ml	3.04	NO ESPECIFICA
<b>Resistencia Compresión :</b>			
Resistencia Compresión a 28 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	21.3 (227)	Mínimo 11.0 (Mínimo 112)
Resistencia Compresión a 28 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	31.6 (322)	Mínimo 18.0 (Mínimo 184)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	41.6 (430)	Mínimo 26.0 (Mínimo 266)
<b>Tiempo de Fraguado Vicat :</b>			
Fraguado Inicial	min	190	Mínimo 45
Fraguado Final	min	374	Máximo 420
<b>Expansión Barra de Mortero a 14 días</b>			
Expansión Barra de Mortero a 14 días	%	0.097	Máximo 0.020
<b>Expansión por Sulfato a 6 meses</b>			
Expansión por Sulfato a 6 meses	%	0.041	Máximo 0.10

Los resultados de las pruebas, corresponden al promedio del cemento depositado durante el periodo del 01-04-2016 al 31-05-2016.  
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Abril 2016.  
La expansión por sulfato a 6 meses corresponde al mes de Noviembre 2016.  
La expansión de la barra del mortero corresponde al mes de Abril 2016.  
(\*) Requisito opcional



Ing. Ivanoff Rojas  
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Esta información permite la reproducción total o parcial de este documento en la publicación de Cementos Pacasmayo S.A.A.

## ANEXO n° 7. Panel fotográfico.

### ANEXO n° 7.1. Materiales usados en la investigación.



*Figura N° 27:* reciclaje de tapas para obtener el agregado de polipropileno reciclado.



*Figura N° 28:* Proceso de fundición.



*Figura N° 29:* Resultado del polipropileno reciclado en forma de agregado grueso.



*Figura N° 30:* Materiales para la elaboración de testigos.

## ANEXO n° 7.2. Caracterización de agregados.



*Figura N° 31:* Agregado de polipropileno reciclado para granulometría.



*Figura N° 32:* Tamizado manual de los agregados.



*Figura N° 33:* Peso unitario compactado del agregado fino.



*Figura N° 34:* Peso unitario del agregado grueso.



*Figura N° 35:* Peso específico del agregado fino.



*Figura N° 36:* Peso específico del agregado fino.

**ANEXO n° 7.3.** Ensayos del concreto en estado fresco.



*Figura N° 37:* Peso unitario del concreto en estado fresco.



*Figura N° 38:* Ensayo de asentamiento del concreto.



*Figura N° 39:* Ensayo de temperatura del concreto.



*Figura N° 40:* Preparación de la mezcla en el trompo mezclador.



*Figura N° 41:* Elaboración de testigos.



*Figura N° 42:* Proceso de curado de los testigos.

**ANEXO N° 7.4.** Ensayos del concreto en estado endurecido.



*Figura N° 43:* Ensayo de resistencia a la compresión.



*Figura N° 44:* Extracción del testigo de la máquina de compresión axial.



*Figura N° 46:* Testigos ensayados de la resistencia a la compresión.



*Figura N° 45:* Interior del testigo con el 100% de polipropileno reciclado.



*Figura N° 47:* Corte de testigos para realizar el ensayo de succión capilar.



*Figura N° 48:* Muestras del ensayo de succión capilar.



*Figura N° 49:* Ensayo de succión capilar.



*Figura N° 50:* Ensayo de succión capilar.