

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DEL
CONCRETO USANDO TERAFTALATO DE POLIETILENO
RECICLADO COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO
FINO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ELABORADO POR
DANIEL GUSTAVO HUERTA COLLADO**

**ASESOR
DR. ING. JOHN NELINHO TACZA ZEVALLOS**

**LIMA – PERÚ
2021**

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Huerta Collado, Daniel Gustavo

Dhuerta.collado@gmail.com

985758161

ÍNDICE

ÍNDICE	1
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
PRÓLOGO	8
LISTA DE CUADROS	9
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....	16
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	18
1.1. GENERALIDADES	18
1.2. REALIDAD Y PROBLEMÁTICA	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.3.1. Objetivo General	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	22
2.1. CONCEPTOS SOBRE EL PET	22
2.1.1. Tereftalato de Polietileno.....	22
2.1.2. Propiedades del PET.....	23
2.1.3. Ventajas y desventajas del PET	25
2.1.4. Historia del PET	25
2.1.5. Reciclaje de PET (RPET)	26
2.1.5.1. <i>Reciclado mecánico</i>	27
2.1.5.2. <i>Reciclado químico</i>	27
2.1.5.3. <i>Reciclado térmico</i>	28
2.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	28
2.3. ELABORACIÓN DE CONCRETO	30
2.3.1. Cemento.....	30
2.3.2. Concreto.....	30
2.3.3. Agregados.....	31
2.3.3.1. <i>Agregado Fino</i>	31
2.3.3.2. <i>Agregado Grueso</i>	31

2.3.3.3. <i>Tamaño máximo de agregados</i>	31
2.3.3.4. <i>Tamaño máximo nominal</i>	32
2.3.4. <i>Propiedades del concreto</i>	32
2.3.4.1. <i>Trabajabilidad y Consistencia</i>	32
2.3.4.2. <i>Segregación</i>	32
2.3.4.3. <i>Resistencia</i>	32
2.3.5. <i>El Agua en el concreto</i>	33
2.3.5.1. <i>El agua para la mezcla</i>	33
2.3.5.2. <i>El agua para el curado</i>	34
CAPÍTULO III. FORMULACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA	35
3.1. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS DEL CONCRETO	35
3.1.1. <i>Propiedades Físicas del Agregado Grueso</i>	35
3.1.1.1. <i>Ensayo de Granulometría (NTP 400.012; ASTM C 136)</i>	35
3.1.1.2. <i>Módulo de Finura (NTP 400.012)</i>	37
3.1.1.3. <i>Tamaño Máximo (NTP 339.047)</i>	37
3.1.1.4. <i>Tamaño Máximo Nominal (NTP 339.047)</i>	37
3.1.1.5. <i>Peso Específico (NTP 400.021)</i>	38
3.1.1.6. <i>Porcentaje de Absorción (NTP 400.021)</i>	39
3.1.1.7. <i>Peso Unitario Suelto (NTP 400.017)</i>	40
3.1.1.8. <i>Peso Unitario Compactado (NTP 400.017)</i>	40
3.1.1.9. <i>Contenido de Humedad (NTP 339.185)</i>	41
3.1.2. <i>Propiedades Físicas del Agregado Fino</i>	41
3.1.2.1. <i>Ensayo de Granulometría (NTP 400.012; ASTM C 136)</i>	41
3.1.2.2. <i>Módulo de Finura (NTP 400.012)</i>	43
3.1.2.3. <i>Tamaño Máximo (NTP 339.047)</i>	43
3.1.2.4. <i>Tamaño Máximo Nominal (NTP 339.047)</i>	44
3.1.2.5. <i>Peso Específico (NTP 400.022)</i>	44
3.1.2.6. <i>Porcentaje de Absorción (NTP 400.021)</i>	45
3.1.2.7. <i>Peso Unitario Suelto (NTP 400.017)</i>	46
3.1.2.8. <i>Peso Unitario Compactado (NTP 400.017)</i>	46
3.1.2.9. <i>Contenido de Humedad (NTP 339.185)</i>	46
3.1.3. <i>Propiedades Físicas del RPET</i>	47
3.1.3.1. <i>Ensayo de Granulometría (NTP 400.012; ASTM C 136)</i>	48
3.1.3.2. <i>Módulo de Finura</i>	49
3.1.3.3. <i>Tamaño Máximo (NTP 339.047)</i>	49

3.1.3.4. <i>Tamaño Máximo Nominal (NTP 339.047)</i>	49
3.1.4. Agregado Global	49
3.1.4.1. <i>Peso Unitario Compactado</i>	49
3.1.4.2. <i>Análisis granulométrico (NTP 400.012)</i>	51
3.1.5. Consolidado de propiedades físicas de los agregados	52
3.2. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN	53
3.2.1. Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.50$	53
3.2.2. Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.60$	56
3.2.3. Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.65$	57
3.2.4. Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.70$	57
3.3. DISEÑO DE MEZCLA INCORPORANDO RPET	58
3.3.1. Diseño para concreto con relación agua/cemento $a/c = 0.50$	59
3.3.1.1. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.50$ y 5% RPET</i>	59
3.3.1.2. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.50$ y 10% RPET</i>	59
3.3.1.3. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.50$ y 15% RPET</i>	60
3.3.1.4. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.50$ y 30% RPET</i>	60
3.3.2. Diseño para concreto con relación agua/cemento $a/c = 0.60$	61
3.3.2.1. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.60$ y 5% RPET</i>	61
3.3.2.2. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.60$ y 10% RPET</i>	61
3.3.2.3. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.60$ y 15% RPET</i>	62
3.3.2.4. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.60$ y 30% RPET</i>	62
3.3.3. Diseño para concreto con relación agua/cemento $a/c = 0.65$	63
3.3.3.1. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.65$ y 5% RPET</i>	63
3.3.3.2. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.65$ y 10% RPET</i>	63
3.3.3.3. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.65$ y 15% RPET</i>	64
3.3.3.4. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.65$ y 30% RPET</i>	64
3.3.4. Diseño para concreto con relación agua/cemento $a/c = 0.70$	64
3.3.4.1. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.70$ y 5% RPET</i>	64
3.3.4.2. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.70$ y 10% RPET</i>	65
3.3.4.3. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.70$ y 15% RPET</i>	65
3.3.4.4. <i>Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.70$ y 30% RPET</i>	66
CAPÍTULO IV. ENSAYOS A REALIZAR	68
4.1. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	68
4.1.1. Consistencia.....	68
4.1.1.1. <i>Para el diseño de mezcla patrón</i>	68

4.1.1.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET	68
4.1.2. Peso Unitario.....	70
4.1.2.1. Para el diseño de mezcla patrón	70
4.1.2.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET	71
4.1.3. Contenido de aire	72
4.1.3.1. Para el diseño de mezcla patrón	72
4.1.3.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET	73
4.1.4. Tiempo de fragua	74
4.1.4.1. Para el diseño de mezcla patrón	75
4.1.4.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET	75
4.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	75
4.2.1. Resistencia a la compresión axial.....	75
4.2.1.1. Para el diseño de mezcla patrón	76
4.2.1.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET	76
4.2.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral.....	78
4.2.2.1. Para el diseño de mezcla patrón	78
4.2.2.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET	78
4.2.3. Resistencia a la flexión en vigas.....	79
4.2.3.1. Para el diseño de mezcla patrón	80
4.2.3.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET	80
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	82
5.1. AGREGADOS DEL CONCRETO	82
5.1.1. Agregado Grueso	82
5.1.2. Agregado Fino.....	82
5.2. ANÁLISIS DE RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	82
5.2.1. Consistencia.....	82
5.2.2. Peso Unitario.....	84
5.2.3. Contenido de Aire.....	86
5.2.4. Tiempo de Fragua	88
5.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	89
5.3.1. Resistencia a la Compresión Axial	89
5.3.1.1. Para relación $a/c = 0.50$	90
5.3.1.2. Para relación $a/c = 0.60$	90
5.3.1.3. Para relación $a/c = 0.65$	91

5.3.1.4. Para relación $a/c = 0.70$	92
5.3.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral.....	94
5.3.3. Resistencia a la flexión en vigas.....	96
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES.....	100
BIBILOGRAFÍA.....	101
ANEXOS	105

RESUMEN

La presente investigación tiene como objeto estudiar y comparar la influencia de las partículas de botellas Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado como sustituto parcial del agregado fino, en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido. Tiene como hipótesis principal que el comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto con adición de partículas de RPET (RPET), con variaciones de porcentaje de 5%, 10% y 15% y 30% como reemplazo del agregado fino, no es inferior al de un concreto patrón con 0% de adición de RPET.

Para tal fin se calcularon las dosificaciones de los agregados (según el comité ACI – 211.1 – 91 y el método del agregado global), para relaciones agua – cemento equivalente a 0.50, 0.60, 0.65 y 0.70, en proporciones distintas de reemplazo de agregado fino por RPET al 5%, 10% 15% y 30%. Y en el proceso se hicieron los ensayos de los agregados (arena, piedra, RPET).

Al concreto en estado fresco se le realizó los ensayos de consistencia, peso unitario, contenido de aire y tiempo de fragua. Al mismo tiempo se realizó el vaciado de vigas y probetas de concreto para el análisis de las propiedades del concreto en estado endurecido.

Como resultados principal se menciona que se cumple la hipótesis de la investigación pues, para una relación $a/c = 0.50$ y un reemplazo de agregado fino por RPET de 5% en peso, se obtuvo una relación de no inferioridad en relación al concreto patrón, para la resistencia a la compresión axial y la resistencia a la tensión por compresión diametral.

ABSTRACT

The present research aims to study and compare the influence of recycled Polyethylene Terephthalate (PET) bottle particles as a partial substitute for fine aggregate, on the behavior of concrete in a fresh and hardened state. Its main hypothesis is that the behavior of the mechanical properties of concrete with the addition of recycled PET particles (RPET), with percentage variations of 5%, 10%, 15% and 30% as a replacement for fine aggregate, is not less than of a standard concrete with 0% addition of RPET.

For this purpose, the dosages of the aggregates were calculated (according to the ACI - 211.1 - 91 committee and the global aggregate method), for water - cement ratios equivalent to 0.50, 0.60, 0.65 and 0.70, in different proportions of replacement of fine aggregate by RPET at 5%, 10% 15% and 30%. And in the process the tests of the aggregates (sand, stone, RPET) were made.

The fresh concrete was tested for consistency, unit weight, air content and setting time. At the same time, the casting of concrete beams and specimens was carried out for the analysis of the properties of the concrete in the hardened state.

As the main results, it is mentioned that the research hypothesis is fulfilled because, for a / c = 0.50 and a replacement of fine aggregate by RPET of 5% by weight, a non-inferiority relationship was obtained in relation to the concrete standard, for the axial compressive strength and the diametral compressive tensile strength.

PRÓLOGO

La presente investigación, titulada *Estudio comparativo del comportamiento del concreto usando teraftalato de polietileno reciclado como sustituto parcial del agregado fino*; tiene relevancia en el medio, porque continúa la línea de investigación para el empleo de agregados sustitutos en la elaboración del concreto; es así que el Tereftalato de polietileno (PET) adopta una postura como un candidato a reemplazar el agregado fino.

La principal motivación de esta investigación es la enorme relevancia que tiene la presencia de los residuos plásticos en el medio ambiente, y cómo actúan directamente en el deterioro de este. Al mismo tiempo pretende mitigar el deterioro y sobre explotación de canteras innovando el uso de sustitutos al agregado.

A través del desarrollo de la investigación se detalla la realidad problemática del uso del PET en el Perú, lo que orienta al desarrollo de aspectos teóricos relevantes; concretar los diseños de mezcla, ensayos de laboratorios y un análisis minucioso de resultados, que conllevan a la creación de un concreto que bajo circunstancias no presenta inferioridad ante un concreto convencional.

Esta tesis de grado, acentúa un precedente en futuras investigaciones pues marca la pauta, y da pie a un abanico de posibilidades en las que el PET es el protagonista de los estudios; y aportando de esta manera a dirigir la construcción a un comportamiento más responsable y saludable con el medio ambiente.

Asesor.
Dr. Ing. Jhon N. Tacza Zevallos

LISTA DE CUADROS

Tabla N° 1	Propiedades del PET virgen	23
Tabla N° 2	Ventajas y desventajas del PET	25
Tabla N° 3	Comparación de propiedades físicas del PET y RPET	27
Tabla N° 4	Clasificación de los Agregados	31
Tabla N° 5	Valores máximos para sustancias disueltas en el agua de concreto	33
Tabla N° 6	Requisitos granulométricos del agregado grueso	35
Tabla N° 7	Granulometría del agregado grueso	36
Tabla N° 8	Módulo de Finura del agregado grueso	37
Tabla N° 9	Tamaño Máximo del agregado grueso.....	37
Tabla N° 10	Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso.....	37
Tabla N° 11	Peso específico del agregado grueso	38
Tabla N° 12	Porcentaje de absorción del agregado grueso.....	40
Tabla N° 13	Peso Unitario suelto del agregado grueso	40
Tabla N° 14	Peso unitario compactado del agregado grueso	41
Tabla N° 15	Contenido de humedad del agregado grueso	41
Tabla N° 16	Requisitos granulométricos del agregado fino (NTP 400.037)	42
Tabla N° 17	Granulometría del Agregado Fino.....	42
Tabla N° 18	Módulo de Finura del agregado fino	43
Tabla N° 19	Tamaño Máximo del agregado fino.....	44
Tabla N° 20	Tamaño Máximo Nominal del agregado fino.....	44
Tabla N° 21	Peso específico del agregado fino	45
Tabla N° 22	Porcentaje de absorción del agregado fino	46
Tabla N° 23	Peso Unitario suelto del agregado fino	46
Tabla N° 24	Peso unitario compactado del agregado fino	46
Tabla N° 25	Contenido de humedad del agregado fino	47

Tabla N° 26	Procesos y eficiencia para obtención de escamas de RPET	47
Tabla N° 27	Granulometría del RPET.....	48
Tabla N° 28	Módulo de Finura del RPET.....	49
Tabla N° 29	Tamaño Máximo del RPET	49
Tabla N° 30	Tamaño Máximo Nominal del RPET	49
Tabla N° 31	Peso Unitario Compactado del agregado global	50
Tabla N° 32	Proporción de combinación de agregados.....	51
Tabla N° 33	Granulometría del agregado global AG/AF = 46/54	51
Tabla N° 34	Resumen de propiedades físicas del AF y AG.....	52
Tabla N° 35	Agua de diseño aproximado, contenido de aire requerido según slump de concreto y TMN de agregados.....	54
Tabla N° 36	Ensayo de slump para diseño de mezcla.....	56
Tabla N° 37	Dosificación de concreto patrón - relación a/c = 0.50.....	56
Tabla N° 38	Dosificación de concreto patrón - relación a/c = 0.60.....	57
Tabla N° 39	Dosificación de concreto patrón - relación a/c = 0.65.....	57
Tabla N° 40	Dosificación de concreto patrón - relación a/c = 0.70.....	58
Tabla N° 41	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.50 y 5% RPET.....	59
Tabla N° 42	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.50 y 10% RPET.....	59
Tabla N° 43	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.50 y 15% RPET.....	60
Tabla N° 44	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.50 y 30% RPET.....	60
Tabla N° 45	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.60 y 5% RPET.....	61
Tabla N° 46	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.60 y 10% RPET.....	61
Tabla N° 47	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.60 y 15% RPET.....	62
Tabla N° 48	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.60 y 30% RPET.....	62
Tabla N° 49	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.65 y 5% RPET.....	63
Tabla N° 50	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.65 y 10% RPET.....	63
Tabla N° 51	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.65 y 15% RPET.....	64

Tabla N° 52	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.65 y 30% RPET.....	64
Tabla N° 53	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.70 y 5% RPET.....	65
Tabla N° 54	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.70 y 10% RPET.....	65
Tabla N° 55	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.70 y 15% RPET.....	66
Tabla N° 56	Dosificación de concreto - relación a/c = 0.70 y 30% RPET.....	66
Tabla N° 57	Resumen de diseño - concreto patrón y concreto con RPET.....	67
Tabla N° 58	Asentamiento del concreto para diseños patrón	68
Tabla N° 59	Asentamiento del concreto para diseños con RPET incorporado..	69
Tabla N° 60	Peso Unitario del concreto para diseños patrón.....	70
Tabla N° 61	Peso Unitario para diseños con RPET incorporado	71
Tabla N° 62	Contenido de aire del concreto fresco para diseños patrón	72
Tabla N° 63	Contenido de Aire para diseños con RPET incorporado	73
Tabla N° 64	Tiempo de fragua para concreto patrón a/c = 0.50	75
Tabla N° 65	Tiempo de fragua del concreto con RPET - relación a/c=0.50	75
Tabla N° 66	Resistencia a la compresión del concreto para diseños patrón.....	76
Tabla N° 67	Resistencia a la compresión para diseños con RPET	77
Tabla N° 68	Resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto para diseños patrón	78
Tabla N° 69	Resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto con RPET incorporado	78
Tabla N° 70	Resistencia a la flexión en vigas para diseños patrón.....	80
Tabla N° 71	Resistencia a la flexión en vigas para diseños con RPET incorporado.....	80
Tabla N° 72	Porcentaje de asentamiento respecto a mezclas de concreto patrón	83
Tabla N° 73	Porcentaje de peso unitario respecto a mezclas de concreto patrón	85

Tabla N° 74 Porcentaje de contenido de aire respecto a mezclas de concreto patrón	87
Tabla N° 75 Porcentaje de resistencia a la compresión respecto a mezclas de concreto patrón	89
Tabla N° 76 Porcentaje de resistencia a la tracción por compresión diametral respecto a mezclas de concreto patrón.....	94
Tabla N° 77 Porcentaje de resistencia a la tracción por compresión diametral respecto a mezclas de concreto patrón.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 Estructura química del PET.....	22
Figura N° 3 Curva granulométrica del agregado grueso.....	36
Figura N° 4 Ensayo de peso específico de agregado grueso.....	39
Figura N° 5 Curva granulométrica del agregado fino.....	43
Figura N° 6 Ensayo de peso específico de agregado fino.....	45
Figura N° 7 Curva granulométrica del RPET	48
Figura N° 8 Curva de compacidad del agregado global en relación al porcentaje de arena.....	50
Figura N° 9 Granulometría del Agregado Global AG/AF = 46/54	52
Figura N° 10 Asentamiento del concreto para los diseños de mezcla	69
Figura N° 11 Peso Unitario del concreto fresco para los diseños de mezcla	72
Figura N° 12 Contenido de Aire del concreto fresco para los diseños de mezcla	74
Figura N° 13 Resistencia a la compresión del concreto a 28 días en relación al RPET incorporado	77
Figura N° 14 Resistencia a la compresión diametral del concreto a 28 días en relación al RPET incorporado	79
Figura N° 15 Resistencia a la flexión de vigas a 28 días en relación al RPET incorporado.....	81
Figura N° 16 Porcentaje de Asentamiento respecto al concreto patrón.....	84
Figura N° 17 Porcentaje de Peso Unitario respecto al concreto patrón	86
Figura N° 18 Porcentaje de Contenido de aire respecto al concreto patrón	87
Figura N° 19 Tiempo de fragua inicial y final respecto al RPET incorporado.....	88
Figura N° 20 Porcentaje de la resistencia a la compresión axial respecto al concreto patrón para una relación a/c = 0.50	90

Figura N° 21 Porcentaje de la resistencia a la compresión axial respecto al concreto patrón – para una relación a/c = 0.60	91
Figura N° 22 Porcentaje de la resistencia a la compresión axial respecto al concreto patrón – para una relación a/c = 0.65	92
Figura N° 23 Porcentaje de la resistencia a la compresión axial respecto al concreto patrón – para una relación a/c = 0.70	93
Figura N° 24 Porcentaje de la resistencia la tracción por compresión diametral respecto al concreto patrón.....	95
Figura N° 25 Porcentaje de la resistencia flexión de vigas de concreto respecto al concreto patrón	97
Figura N° 26 Muestra Agregado Grueso (3.1.1).....	159
Figura N° 27 Cuarteo de Agregado Grueso (3.1.1.1)	159
Figura N° 28 Peso Específico del Agregado Grueso (3.1.1.5).....	160
Figura N° 29 PUC Agregado Grueso (3.1.1.8)	160
Figura N° 30 Muestra Agregado Fino (3.1.2).....	161
Figura N° 31 Cuarteo de Agregado Fino (3.1.2.1)	161
Figura N° 32 Cono, pisón y muestra de arena (3.1.2.4)	162
Figura N° 33 Peso Específico del Agregado Fino (3.1.2.5)	162
Figura N° 34 PUC Agregado Fino 3.1.2.8	163
Figura N° 35 Escamas de RPET (3.1.3.1).....	163
Figura N° 36 PUC Agregado Global (3.1.4.1).....	164
Figura N° 37 PUC Agregado Global (3.1.4.1).....	164
Figura N° 38 Elaboración de concreto fresco (3.3).....	165
Figura N° 39 Ensayo de Slump del concreto fresco (4.1.1)	165
Figura N° 40 P.U. del concreto en estado fresco (4.1.2)	166
Figura N° 41 Tiempo de fragua del concreto (4.1.4).....	166
Figura N° 42 Testigos de concreto (4.2.1).....	167
Figura N° 43 Curado de testigos de concreto (4.2.1)	167

Figura N° 44	Rotura de Probetas de Concreto por compresión axial (4.2.1) .	168
Figura N° 45	Rotura de Probetas de Concreto por compresión diametral (4.2.2)	168
Figura N° 46	Muestras de Viga de Concreto (4.2.3).....	169
Figura N° 47	Rotura de Vigas de Concreto (4.2.3).....	169

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

%	:	Porcentaje
% Abs	:	Porcentaje de absorción.
°C	:	Grados Centígrados
A.F.	:	Agregado Fino
A.G.	:	Agregado Grueso
a/c	:	Relación Agua – Cemento
ACI	:	American Concrete Institute
ASTC	:	Association of Science-Technology Centers
ASTM	:	American Society of Testing Materials
C	:	Carbono
CH _p %	:	Porcentaje de humedad
cm ²	:	Centímetro Cuadrado
cm ³	:	Centímetro Cúbico
CO ₂	:	Dióxido de Carbono
dL	:	Decilitro
dl	:	Decilitro
f'c	:	Resistencia a la compresión axial del concreto
f'cp	:	Resistencia a la compresión axial del concreto patrón
g	:	gramo
H	:	Hidrógeno
h	:	hora
ITINTEC:	:	Instituto de Investigación Tecnológica Industrias y de Normas Técnicas
J	:	Joule
Kgf	:	Kilogramo Fuerza
Kw	:	Kilo vatios
m ³	:	Metro Cúbico
MF	:	Módulo de Finura
Min	:	Minuto

mm	:	milímetro
MPa	:	Mega pascales
Mr	:	Resistencia a la flexión de vigas de concreto
Mrp	:	Resistencia a la flexión de vigas de concreto patrón
n	:	Peso Molecular
N/A	:	No aplicable
N.T.P.	:	Norma Técnica Peruana
O ₂	:	Oxígeno
ONG	:	Organización no gubernamental
P.U.O.	:	Peso Unitario en Obra
Pea	:	Peso específico aparente
Pem	:	Peso específico de masa
PeSSS	:	Peso específico superficialmente seco
PET	:	Tereftalato de Polietileno
pH	:	Coeficiente de grado de acidez o basicidad.
ppm	:	Partes por millón
PU _C	:	Peso unitario suelto
PU _s	:	Peso unitario suelto
RPET	:	RPET
T	:	Resistencia a la compresión diametral del concreto
T _c	:	Resistencia a la compresión diametral del concreto patrón
ton	:	Tonelada
V _R	:	Volumen del recipiente
W _C	:	Peso del agregado compactado
W _h	:	Peso del agregado en estado húmedo.
W _S	:	Peso del agregado suelto

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Bien es sabido que la construcción es una de las disciplinas más contaminantes, teniendo presente que el sector de la construcción es el que demanda mayor cantidad de productos plásticos, 13.8% de la demanda nacional (ANDINA/Difusión, 2016). Además considerando que el sector construcción precisa de algunos materiales para el emplazamiento de sus proyectos, que merman de alguna manera la naturaleza, específicamente las canteras de agregados para la elaboración de concreto, que son convertidas en zonas irrecuperables.

Estos son motivos, que hacen que la ingeniería civil no pueda quedarse atrás en materia de investigación, y la búsqueda de métodos viables de reciclaje de materiales para su reutilización en la elaboración de concreto.

Esta propuesta de investigación se centra en el tema, de encontrar un modo, en la elaboración de concreto con el reciclaje de materiales; específicamente del PET (Tereftalato de Polietileno, compuesto de origen plástico, su definición y propiedades se ven en el Capítulo II), encontrado en su mayoría en botellas de bebidas carbonatadas. Así, colaborar en el desarrollo de la filosofía de construcción amigable con el medio ambiente.

Para ello se direcciona el estudio de las propiedades mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido buscando que el concreto elaborado con adición de partículas RPET (Tereftalato de Polietileno Reciclado) como sustituto parcial del agregado fino (5, 10, 15 y 25% de sustitución), tenga propiedades mecánicas similares (con un criterio de no inferioridad) a las del concreto convencional o concreto patrón con diseños de mezcla de relación a/c 0.50, 0.60, 0.65 y 0.70.

La cuestión sobre la que se centrará esta investigación es: ¿Usando partículas de RPET como sustituto parcial del agregado fino en la elaboración de concreto, se obtiene un concreto cuyas propiedades mecánicas, son mejores o por lo menos no inferiores, a un concreto convencional?

Todos los ensayos se realizaron en el Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzales de la Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil – UNI.

1.2. REALIDAD Y PROBLEMÁTICA

En la actualidad, el uso indiscriminado de los plásticos, hace que estos sean ubicuos, conformando objetos como bolígrafos, juguetes, muebles, recipientes de comida, etc. Desde 1964 se dio inicio del uso de los envases desechables destinados a bebidas carbonatadas; al Perú llegan a mediados de la década de los 80 (Morales Carhuayano, 2016), y desde entonces el crecimiento de su industria no ha pasado desapercibida.

En la charla “Reciclaje en Perú: De botellas de plástico usadas a nuevas”, Jacobo Escrivá, Jefe de la unidad de Negocios de Reciclado de San Miguel Industrias PET (Empresa dedicada a la fabricación y reciclaje de envases de plástico PET), se refirió sobre la demanda mundial de envases de plástico PET en los últimos veinte años. Indicaba que, el aumento de la demanda ha sido de manera exponencial y que lo probable es que ésta siga en aumento. De este modo, el reciclaje toma mayor relevancia ante la alta demanda. (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016).

En el 2015, 3 744 621 toneladas de residuos sólidos municipales (49.3% del total generado a nivel nacional), fueron dispuestos en rellenos sanitarios. El servicio de residuos sólidos municipales fue brindado a 10 879 637 habitantes del ámbito urbano; excluyendo a Lima Metropolitana y el Callao (con cuatro rellenos sanitarios) en los que se dispusieron 3 459 586 ton de residuos sólidos. Por tanto solo 285 035 ton fueron dispuestas adecuadamente en el interior del país que representa el 7.6% del total de los residuos generados (Ministerio del Ambiente, 2017).

Solo en Lima en el 2016 se generó un total de 3 164 584 toneladas de residuos sólidos domiciliarios (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017), lo cual implicó un aumento del 8.2% respecto al año 2015 que fue de 2 924 779 ton.

De las 7 595 580 toneladas totales de residuos municipales en todo el Perú en el 2015, el PET representó el 2.52%; es decir, 191 408 toneladas (Ministerio del Ambiente, 2017).

A esto se suma que en el Perú solo existen 12 rellenos sanitarios autorizados, motivo por el que casi el 90% de la basura generada, termina en botaderos informales, que son aproximadamente 1850 (Gestión, 2017).

"En el Perú no se puede hacer un envase de otro envase. Es el único país de la región que tiene esta prohibición. Por eso, cada año se quedan en el medio ambiente 49 mil toneladas de PET sin poderse reciclar", comenta Albina Ruiz, Presidenta de la ONG Ciudades Saludables (El Comercio, 2014).

De acuerdo a San Miguel Industrias PET, 2 729 622 624 envases de plástico PET son fabricados en un año en Perú. Esto equivale a 1 784 753 barriles de petróleo, cantidad que pudo abastecer de combustible a 10 500 carros durante ese mismo año (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016).

Jacobo Escrivá, señaló: "El reciclaje en Perú aún no tiene el apoyo adecuado por parte del Estado como en otros países como Suiza y Japón, donde cerca del 80% de los ciudadanos recicla adecuadamente sus desechos, y además se multa a quienes no lo hacen. Es evidente que la solución en nuestro país es empezar a practicarlo nosotros mismos" (Gestión, 2017). Además, actualmente en el Perú no existen normas técnicas para el uso de RPET en construcción, debido a que la investigación en bioconstrucción empleando materiales reciclados, es incipiente y con una brecha mayor en el empleo de RPET.

Sin embargo, el crecimiento exponencial de los desechos plásticos del embalaje ha incitado a la búsqueda de medios alternativos de reciclaje. Los materiales de construcción pueden representar una salida interesante (Marzouk, Dheilly, & Queneudec, 2007)

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Estudiar y comparar la influencia de las partículas de botellas PET recicladas como sustituto parcial del agregado fino, en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar los valores de las propiedades mecánicas en base a la variación de porcentajes de partículas RPET, considerando variaciones de 0%, 5%, 10%, 15% y 30% como reemplazo del agregado fino.
- b. Determinar si la incorporación del RPET como agregado fino, resulta en una mejora o no inferioridad de las propiedades mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido en comparación del concreto sin adición de RPET.

1.4. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

El comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto con adición de partículas de RPET, con variaciones de porcentaje de 5%, 10% y 15% y 30% como reemplazo del agregado fino, no es inferior al de un concreto patrón con 0% de adición de RPET.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

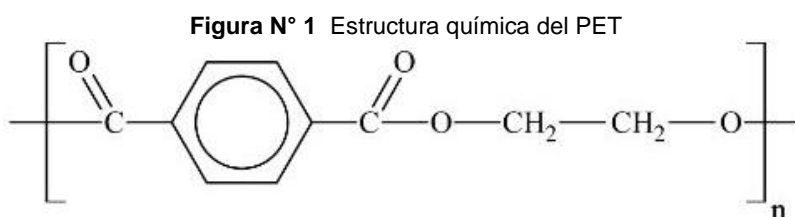
2.1. CONCEPTOS SOBRE EL PET

2.1.1. Tereftalato de Polietileno

El Tereftalato de Polietileno o PET es un material ligero pero fuerte de poliéster transparente. Generalmente es empleado para la elaboración de recipientes de bebidas carbonatadas, jugos agua, bebidas alcohólicas, aceites comestibles, limpiadores caseros y otras aplicaciones (Neumann, 1986).

El PET es producido a partir del petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo, se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico (Alesmar, Rendón, & Kodory, 2008)

Como polímero, las moléculas de PET se constituyen de cadenas largas de unidades repetitivas que solo contienen los elementos orgánicos de Carbono (C), Oxígeno (O) e hidrógeno (H), como se observa en la estructura química del PET en la Figura N° 1, como unidad de repetición, cuanto mayor sea el peso molecular (n), mejores serán las propiedades. Por lo general los valores de n varían entre 100 a 200 (García Olivares, 2006).



Fuente: Adaptado de García, A. Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística Inversa: Estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos. Pág. 148.

Las botellas ahora representan el uso más significativo de las resinas de moldeo de PET. Hacer una botella de PET comienza con la materia prima: etileno y paraxileno. Estos dos derivados de sustancias (etilenglicol y ácido tereftálico) se hacen reaccionar para obtener la resina de PET.

La resina, en forma de pequeños cilindros llamados pellets, se funde y se inyecta en un molde para hacer una preforma. La preforma, una especie de tubo de ensayo, más corta que la botella final pero con paredes más gruesas, se moldea

por soplado. Durante la fase de moldeo por soplado, se inyecta aire a alta presión en la preforma, lo que le permite tomar la forma exacta del molde en el que está insertada. El producto final es, gracias a la estructura molecular del material, una botella transparente, irrompible, resellable y ligera. (Petcore Europe)

Es la fuerza del material lo que contribuye al éxito del PET. De hecho, las bebidas carbonatadas pueden generar presión dentro de la botella (hasta 6 bar). Otra ventaja del material radica en sus propiedades físicas que permiten una gran libertad en el diseño (García Olivares, 2006).

2.1.2. Propiedades del PET

Dentro de las propiedades físicas del PET, se resaltan el módulo de resistencia y módulo de elasticidad, ambas con valores altos; estos aportarán directamente a la variación de propiedades físicas del concreto con RPET, y que se verán en los capítulos posteriores. En la Tabla N° 1 se enlistan un resumen de las propiedades físicas del PET virgen y sus valores:

Tabla N° 1 Propiedades del PET virgen

<i>Propiedades</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor Típico</i>
Viscosidad Intrínseca	dl/g	0.783
Densidad	g/cm ³	1.33 – 1.34
Color	-	Cristal
Forma física	N/A	Hojuelas
Tamaño	°C	1.25
Origen	kgf/cm ²	Botellas
Temperatura de transición vítrea	kgf/cm ²	69 – 115
Resistencia a la tracción		55.89
Módulo de elasticidad		599.96
Resistencia al impacto		No rompe
Valor límite de la viscosidad medido en ácido dicloroacético a 25°C		1.07
Punto de fusión °C		aprox. 252/260
Acetaldehído		ppm < 1
Contenido de grupos carboxílicos		mval/kg 20
Densidad aparente [g/cm ³] aprox.		0.85

Fuente: Juárez, M. et al. Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de RPET. Pág. 2.

- Cuando se trata de la resistencia al envejecimiento, la masa plástica del PET se deteriora con el paso del tiempo en forma irreversible, por la influencia de condiciones externas como: temperatura ambiental, radiaciones solares, humedad, contaminantes atmosféricos; estas condiciones, pueden llevar a una modificación en las propiedades como el color, desecación, variaciones en sus dimensiones, debilitamiento de las propiedades mecánicas, resquebrajamiento o aparición de fisuras, pero debido a su cristalinidad y transparencia en general se le atribuye una buena resistencia al envejecimiento (Elías Castell & Jurado de Gracia, 2009).
- Sobre la resistencia al ataque químico, obedece a la naturaleza de los grupos funcionales que conforman los monómeros y a su estructura. El PET presenta una resistencia química a los hidrocarburos, alcoholes, grasas y aceites, éter, bases diluidas y ácidos. El anillo bencénico no solo proporciona aumento en la rigidez, sino que proporciona una mayor resistencia química a la saponificación (Suasnavas Flores, 2017).
- Para la elaboración de concreto, las partículas de RPET estarán en un medio acuoso propio de la mezcla de concreto, por ello la absorción de agua, como una propiedad del PET, es la cantidad de agua que puede retener en su estructura después de estar en contacto por un largo periodo en un ambiente húmedo. El PET presenta una absorción de agua menor al 0.7% durante 24 horas (Muñoz Perez, 2012)
- Otra característica sorprendente del PET en el aspecto medioambiental es que es totalmente reciclable. En 1977, la primera botella de PET se recicló y se convirtió en una taza base para botellas. Pronto, sin embargo, la industria de la fibra descubrió la "nueva" fuente de material y comenzó a usarla para fabricar textiles, alfombras y telas no tejidas. Hoy, a pesar de que el proceso de reciclaje de "botella a botella" está creciendo, el mercado de fibra sigue siendo la principal salida para el PET recuperado. A lo largo de los años, la industria del PET ha asumido cada vez más preocupaciones medioambientales, disminuyendo significativamente la cantidad de materia prima necesaria para la fabricación de botellas. Hoy en día, se fabrica un contenedor de PET de 1,5 litros con solo 35 gramos de materia prima (Petcare Europe)

2.1.3. Ventajas y desventajas del PET

El PET ha llamado la atención por su gran número de aplicaciones, en distintas áreas de diseño o fabricación, debido a las ventajas que ofrece como menores costos de producción y logísticos por mencionar algunas, estas se encuentran indicadas en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2 Ventajas y desventajas del PET

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
1. Bueno como barrera para los gases como CO ₂ , humedad y el O ₂ .	1. Número finito de reciclado (5 veces como máximo)
2. Bueno como barrera para los gases como CO ₂ , humedad y el O ₂ .	2. No se destruye de forma natural
3. Irrompible	3. Tiene desprendimiento de sustancias tóxicas cuando es sometido a temperaturas mayores a los 230 °C
4. Liviana	
5. Impermeable	
6. No tóxica	
7. Inerte (al contenido)	
8. Resistencia esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza.	
9. Alta resistencia química y buenas propiedades térmicas	
10. Totalmente reciclable	
11. Superficie barnizable	

Fuente: Juárez, M. et al. Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de RPET. Pág. 3.

2.1.4. Historia del PET

El PET se desarrolló por primera vez para su uso en fibras sintéticas por Calico Printers en 1941. Los derechos de patente fueron vendidos luego a DuPont e ICI (Imperial Chemical Industries), que a su vez vendieron los derechos regionales a muchas otras compañías. (Neumann, 1986).

Según DuPont, “Para la década de 1920, DuPont estaba en competencia directa con la ICI. DuPont e ICI a fines de 1929 decidieron intercambiar información acerca de las patentes e investigaciones desarrolladas hasta esa fecha. En 1952, esta alianza se disolvió. El polímero que después llegó a ser poliestireno tiene inicios en las escrituras de Wallace Carothers. Sin embargo, DuPont se dedicó a concentrarse en una investigación más prometedora, el nylon. Cuando DuPont reasumió su investigación del poliéster, la ICI había patentado el poliéster de Terileno (conocido como fibra sintética). En 1950, una planta piloto en las instalaciones de Seaford, Delaware, produjo fibra de poliéster Dacron con tecnología de nylon modificada”.

La investigación de poliéster de Dupont conduce a toda una gama de productos de marca registrada, un ejemplo es Mylar (1952), una película de poliéster (PET) extraordinariamente fuerte que surgió del desarrollo de Dacron a principios de los años cincuenta. (Bellis, 2017)

Como explica Petcore Europe, aunque originalmente se produjo para fibras, el PET comenzó a usarse para empaquetar películas a mediados de la década de 1960 y luego, a principios de la década de 1970, se desarrolló comercialmente la técnica para soplar botellas con orientación biaxial. (Petcore Europe)

2.1.5. Reciclaje de PET (RPET)

Desde el punto de vista ambiental y en comparación con otros plásticos, el PET presenta las mayores aptitudes para el reciclado, ya que a pesar de que en la fabricación se consume gran cantidad de energía, su incineración produce mucho calor o electricidad (gracias a su elevado poder calorífico), además de la sencillez de procedimientos y las relativamente bajas temperaturas a las cuales debe someterse para ser transformado en nuevos productos, también reciclables. El proceso de reciclado del PET consiste en transformar las botellas usadas en monómeros o fibras, a través de métodos físicos, químicos o térmicos. Durante el reciclaje, se puede presentar turbidez o degradación térmica del PET, la cual se evita empleando aditivos, sobre todo estabilizadores al calor de tipo fosfato y fosfato/fenólico. Se alcanzan masas moleculares que varían entre 19'000 g/mol y 25'000 g/mol después de 5 ciclos de reproceso (Ávila Córdoba L. et. al, 2015). El RPET se obtiene por tres métodos:

2.1.5.1. Reciclado mecánico

También llamado reciclado físico, es el tipo de reciclaje en el que se interesa esta investigación, por su proceso y el cómo será usado el PET como sustituto parcial del agregado fino. Es un proceso de relativa sencillez, que permite obtener escamas o partículas de PET, después de ser lavado. El siguiente paso en el reciclaje, es el secado. El PET limpio pasa por una secadora y se almacena en un silo donde se homogeneiza. Posteriormente puede aglomerarse y extruirse para finalmente obtener pellets, los cuales pueden mezclarse con polímero virgen en distintas proporciones (Goodship, 2007).

En comparación con el PET virgen, cuando el PET es reciclado en forma mecánica se modifican sus propiedades, se puede observar en la Tabla N° 3 cómo la disminución de la masa molecular, el incremento del ácido carboxílico y del acetaldehído cambian, el RPET presenta elevada resistencia al impacto, mayor elongación a la rotura pero menor módulo de Young y es más dúctil como resultado de las diferencias en la cristalinidad (Dumitro & Firas, 2005).

Tabla N° 3 Comparación de propiedades físicas del PET y RPET

<i>Propiedad (Unidad)</i>	<i>PET (Virgen)</i>	<i>RPET</i>
Módulo de Young (MPa)	1890	1630
Resistencia a la rotura (MPa)	47	24
Resistencia al impacto (J m ⁻¹)	12	20
Viscosidad intrínseca (dL g ⁻¹)	0.72 – 0.84	0.46 – 0.76
Temperatura de fusión (°C)	244 – 254	247 – 253
Masa molecular (g mol ⁻¹)	81'600	58'400

Fuente: Ávila, L. et al. PET de desecho y su Uso en Concreto. Pág. 104.

2.1.5.2. Reciclado químico

También llamado reciclaje terciario, este tipo de reciclado persigue el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del plástico, por transformación del mismo en hidrocarburos (Arandés, Bilbao, & López, 2004). Consiste en la despolimerización del plástico mediante reacciones químicas que producen la separación de los componentes básicos de la resina (monómeros) los cuales se emplean para la síntesis de nueva materia prima virgen. También incluye la degradación en etapas para obtener productos de menor masa molecular a través de ruptura de cadenas y las mezclas reactivas de distintos

polímeros con la formación in situ de copolímeros de bloque o injertos poliméricos. Actualmente a escala industrial, se aplican tecnologías específicas para distintos tipos de plásticos, sin embargo resulta especialmente adecuado para poliésteres, poliamidas y poliuretanos (Pilati & Toselli, 2002)

Actualmente a nivel industrial, existen varios procesos para el reciclaje químico del PET entre los que se pueden mencionar la hidrólisis, glicólisis, alcoholisis, aminólisis, metanólisis y la oxidación; cada uno de ellos depende de los reactivos que se empleen para la reacción. (Ávila Córdoba et al., 2015)

2.1.5.3. *Reciclado térmico*

También llamado reciclaje energético y reciclaje cuaternario. Se fundamenta en la eliminación de la mayor parte del volumen de los residuos mediante combustión, transformando los desechos en gases, cenizas y escorias. Actualmente es muy cuestionado socialmente por los problemas medioambientales (Arandés, Bilbao, & López, 2004) & (Ávila Córdoba et al., 2015).

2.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Las botellas y latas de Tereftalato de Polietileno (PET) se descartan principalmente después de un ciclo de uso único; estos envases desechables pueden llegar a tener un tiempo de degradación de hasta 500 años (Morales Carhuayano, 2016). Dicha permanencia en el medio ambiente, representa un problema a nivel mundial. Ante ello, se han planteado soluciones para el reciclaje de estos productos, algunas de éstas, aplicables en la praxis de la ingeniería civil.

En los últimos años a nivel internacional se han realizado investigaciones sobre el empleo de RPET como material de refuerzo en la elaboración del concreto, se muestran algunas de ellos a continuación:

- Marzouk, Dheilily & Queneudec (2007). En Francia, reemplazaron RPET por agregado fino en una escala del 2% al 100%, los resultados mostraron que para una sustitución de arena por debajo del 50% en volumen con RPET granulado, cuyo límite granular superior es igual a 5mm; no afecta la resistencia a la compresión ni a la flexión.

- Yun, Dae, Yong & Mohamed (2009). En Corea del Sur, evaluaron RPET de botellas, como sustituto de agregado fino, en concreto. Cuyo resultado mostró que a los 28 días de fraguado; la resistencia decrece en 5%, 15% y 30% con un incremento en el contenido del RPET del 25%, 50% y 75% respectivamente; y para una relación a/c de 0.49 y una sustitución del 25% se obtuvo una eficiencia estructural (resistencia a la compresión / relación de densidad) más alta que el concreto patrón.
- Ávila et al. (2013). En un estudio mexicano, evaluaron el uso de RPET agregado al concreto, para medir el módulo de Young; el RPET adicionado al 1, 2.5 y 5% en volumen de concreto (con diferentes tamaños de partícula: 1.5, 3 y 5mm), mostró como resultado que el módulo de Young se comporta de manera inversamente proporcional al tamaño de las partículas de RPET, obteniéndose mejores resultados con 2.5% de RPET de 0.5 mm. Además, que las deformaciones disminuyen y los esfuerzos aumentan mientras se tenga un menor tamaño de partículas RPET.
- Morales Carhuayano (2016). En un estudio peruano, en la FIC - UNI, realizó una investigación de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto. Para lo cual reemplazó el agregado grueso por RPET al 5%, 10%, 15%, observándose que el peso unitario del concreto en estado fresco, varía de manera inversamente proporcional al RPET incorporado; así mismo se obtuvo las características de un concreto ligero cuando se adicionó 15% de RPET; al evaluar el concreto en estado endurecido, se determinó que los valores de resistencias mecánicas (compresión axial y diametral, flexión en vigas) tienen una relación inversamente proporcional al RPET que se agrega a la muestra.
- Rajat et al. (2018). En la India, realizaron una investigación donde las partículas de RPET, fueron usadas como áridos (finos y gruesos) en diferentes porcentajes de sustitución; al 5%, 10%, 15% y 20% en peso. Los resultados indicaron una menor resistencia a la compresión en el concreto que contiene el agregado plástico de RPET. Así mismo, los resultados mostraron una mejor resistencia a la carga de impacto en el caso del concreto con RPET, en comparación con el concreto patrón.

En el medio peruano existe una incipiente investigación sobre el uso del RPET como sustituto o agregado del concreto, es por ello que se hace necesario profundizar los estudios en esta línea de investigación.

2.3. ELABORACIÓN DE CONCRETO

A continuación se definirán brevemente algunos conceptos vinculados al tema de elaboración de concreto, algunas de ellas se profundizarán en el capítulo 4.

2.3.1. Cemento

Según Rivva López (2007), el cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de las siguientes normas:

- Los cementos Portland normal Tipo I, II o V respectivamente con las Normas ITINTEC 334.009; 334.038; o 334.040; o con la Norma ASTC C 150.
- Los cementos Portland puzolánicos Tipo IP y IPM deberán cumplir con los requisitos de la norma ITINTEC 334.044; o con la Norma ASTM C 595.

2.3.2. Concreto

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. (Pasquel Carbajal, 1998)

$$\text{CONCRETO} = \text{CEMENTO PORTLAND} + \text{AGREGADOS} + \text{AIRE} + \text{AGUA}$$

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 mejoran o modifican algunas propiedades del concreto (Abanto Castillo, 2009)

El concreto es el material de construcción de mayor uso, sin embargo si bien en su calidad final depende en forma importante del conocimiento profundo del material así como del profesional, las posibilidades de uso del concreto son cada día mayores pudiendo en la actualidad ser utilizados para una amplia variedad de propósitos (Torre C., 2004).

2.3.3. Agregados

También llamados áridos, son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc) y el agua formando los concretos y morteros. La importancia de los agregados radica en que constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto. Por tanto, es primordial que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que puedan debilitar el enlace con la pasta de cemento. (Abanto Castillo, 2009).

Como se observa en la Tabla N° 4 los agregados naturales se dividen en finos y gruesos.

<i>Agregados Finos</i>	<i>Agregados Gruesos</i>
Arena Fina	Grava
Arena Gruesa	Piedra

Fuente: Elaboración Propia, adaptado de Abanto C. Tecnología del Concreto. Pág. 23

2.3.3.1. Agregado Fino

Se considera como agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas, que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8"), es retenido por la malla N° 200 y que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037.

Las arenas proviene de la desintegración natural de las rocas; y que arrastrados por las corrientes aéreas o fluviales se acumulan en lugares determinados (Abanto Castillo, 2009) & (Torre C., 2004).

2.3.3.2. Agregado Grueso

Es aquel que queda retenido como mínimo, en un 95% en el tamiz N°4 (4.75mm) y que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava. (Morales Carhuayano, 2016) & (Torre C., 2004).

2.3.3.3. Tamaño máximo de agregados

Según la N.T.P 400.037, el tamaño máximo de agregados, está dado por la abertura de la menor malla por el que pasa toda la muestra del agregado.

2.3.3.4. *Tamaño máximo nominal*

2.3.4. Propiedades del concreto

Las características de cada concreto elaborado, son en función al fin para el que son destinados, a continuación se definen brevemente algunas de las propiedades más resaltantes del concreto, resaltando que se indicará un mayor detalle, de aquellas propiedades que se verán en el capítulo IV.

2.3.4.1. *Trabajabilidad y Consistencia*

Según Rivva López (2009) La trabajabilidad es la facilidad que presenta el concreto no endurecido para ser manipulado, mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación; con un máximo de homogeneidad y un mínimo de trabajo.

2.3.4.2. *Segregación*

Propiedad que posee el concreto en estado fresco, que significa la descomposición del mismo, mostrando sus partes constituyentes, es decir, la separación del Agregado Grueso del concreto. Este concepto, trae perjuicio al concreto, porque produce en algún elemento vaciado la presencia de cangrejeras, capas de arena, etc. (Abanto Castillo, 2009).

2.3.4.3. *Resistencia*

Pasquel Carbajal (1998) define como resistencia del concreto¹ a la capacidad de éste, para soportar cargas y esfuerzos, teniendo un mejor desempeño en compresión que en tracción, esto gracias a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Mientras que Rivva López (2009) complementa el concepto, definiéndola como el máximo esfuerzo que puede soportar el material sin romperse. Además esta propiedad del concreto es la determinante (en la mayoría de casos) para rechazar o aceptar el mismo.

Como se verá más adelante, esta propiedad será evaluada en las muestras realizadas en el laboratorio, tanto para el análisis de la resistencia a la

¹ Usa como abreviatura f_c

compresión axial y a la tracción por compresión diametral, en probetas de concreto.

2.3.5. El Agua en el concreto

Para la elaboración del concreto y curado del concreto se deberá cumplir con los requisitos establecidos en la norma NTP 334.088 y ser, en lo posible, potable. No se usarán aguas ácidas, calcáreas, minerales, carbonatadas, aguas con residuos minerales o industriales, aguas con un contenido de sulfatos mayor a 1%, aguas que contengan algas, materia orgánica, humus o descargas de desagües, aguas que contengan azúcares o sus derivados (Rivva López, 2007). Dentro de los requisitos a cumplir se muestra la siguiente Tabla N° 5 de valores máximos admisibles, para sustancias disueltas en el agua de preparación de concreto.

Tabla N° 5 Valores máximos para sustancias disueltas en el agua de concreto

<i>Sustancias Disueltas</i>	<i>Valor Máximo Admisible</i>
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de Magnesio	150 ppm
Sales Solubles	1500 ppm
pH	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia Orgánica	10 ppm

Fuente: Abanto C. Tecnología del Concreto. Pág. 21

2.3.5.1. El agua para la mezcla

Como explica Pasquel Carbajal (1998), el agua en el concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

2.3.5.2. *El agua para el curado*

Abanto Castillo (2009) indica que el curado es un proceso que consiste en mantener húmedo el concreto por varios días después de su colocación, con el objetivo de permitir la reacción química entre el cemento y el agua.

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, y por otro lado en las obras es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto (Pasquel Carbajal, 1998).

Para poder curar el concreto existen diversos métodos como Anegamiento o inmersión, Rociado de niebla o aspersión, Costales, Curado con tierra, Arena y Aserrín, etc.

CAPÍTULO III. FORMULACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA

3.1. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS DEL CONCRETO

Previo a la formulación del diseño de mezcla del concreto, se hace un análisis de los agregados del concreto (piedra, arena, RPET).

3.1.1. Propiedades Físicas del Agregado Grueso

3.1.1.1. Ensayo de Granulometría (NTP 400.012; ASTM C 136)

La granulometría se refiere a la distribución de las partículas del agregado (NTP 400.012). El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones, de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados.

A fin de que el agregado grueso sea aceptable para la elaboración del concreto, la norma ASTM C33:2011 hace referencia de los límites granulométricos donde debería de estar comprendido. En la tabla N° 6 se observan los requisitos granulométricos del agregado grueso.

Tabla N° 6 Requisitos granulométricos del agregado grueso

HUSO ASTM C33	Tamaño Nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados (NTP 400.037)												
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25 mm (1")	19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N° 4")	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)
1	90mm a 35.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
3	50mm a 25mm (2" a 1")	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
357	50mm a 4.75 mm (2" a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 0	-	0 a 5	-	-
4	37.5mm a 19mm (1 1/2" a 3/4")	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
467	37.5mm a 4.75mm (1 1/2" a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
5	25mm a 12.5mm (1" a 1/2")	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
56	25mm a 9.5mm (1" a 3/8")	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
57	25mm a 4.75mm (1" a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 65	-	0 a 10	0 a 5	-
6	19mm a 9.5mm (3/4" a 3/8")	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
67	19mm a 4.75mm (3/4" a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
7	12.5mm a 4.75mm (1/2" a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
8	9.5mm a 2.38mm (3/8" a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: Torre A. Ensayos en materiales de construcción – procedimientos. Pág. 27

Los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso empleado en esta investigación se observan en la Tabla N° 7

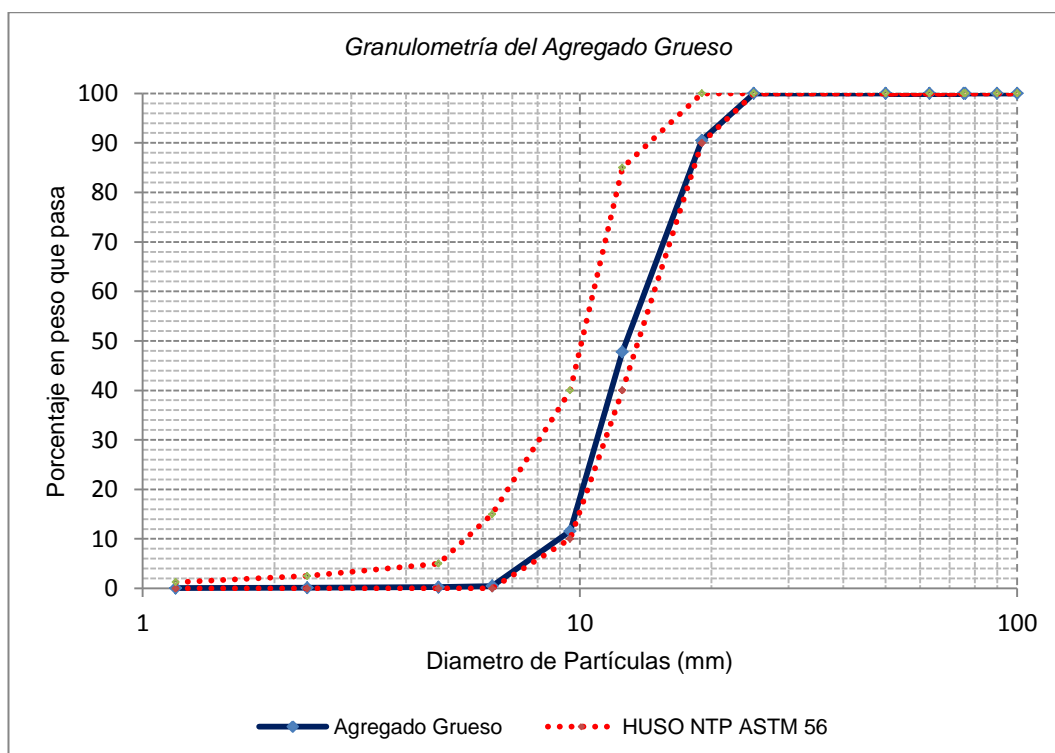
Tabla N° 7 Granulometría del agregado grueso

Tamiz	Peso Retenido (gr)			% Ret. Promedio	% Ret. Acumulado	% Pasa
	M-1	M-2	Promedio			
1 1/2"	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	100.00
1"	1342.5	1129.0	1235.75	9.5	9.5	90.51
3/4"	5236.5	5891.0	5563.75	42.7	52.2	47.79
1/2"	5012.0	4424.5	4718.25	36.2	88.4	11.57
3/8"	981.5	981.0	981.25	7.5	96.0	4.03
N° 4	345.5	584.0	464.75	3.6	99.5	0.46
Fondo	54.0	67.0	60.50	0.5	100.0	0.00
Total	12972	13076.5	13024.25			

Fuente: Elaboración propia

Según la NTP 400.011 – 2008. La curva granulométrica es una representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados. Para la presente investigación, la curva granulométrica del Agregado Grueso se observa en la Figura N° 3

Figura N° 2 Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

3.1.1.2. Módulo de Finura (NTP 400.012)

Es la relación entre la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en cada uno de los tamices; para el agregado grueso el cálculo se realiza en base a la suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas estándar para el agregado grueso 1 ½", ¾", 3/8", N° 4, N°8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100 todo entre 100.

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. (1 ½", ¾", 3/8", N° 4, N°8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100)}}{100}$$

La tabla N° 8 muestra el valor del Módulo de finura para el agregado grueso:

Tabla N° 8 Módulo de Finura del agregado grueso	
<i>Material</i>	<i>Módulo de Finura</i>
Agregado Grueso	6.97

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.3. Tamaño Máximo (NTP 339.047)

La NTP 400.011 indica que el tamaño máximo es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

La tabla N° 8 muestra el valor del Tamaño Máximo para el agregado grueso:

Tabla N° 9 Tamaño Máximo del agregado grueso	
<i>Material</i>	<i>Tamaño Máximo</i>
Agregado Grueso	1 ½"

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.4. Tamaño Máximo Nominal (NTP 339.047)

Según la NTP 400.011, el tamaño máximo nominal (TMN) es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer valor retenido.

La tabla N° 10 muestra el valor del Tamaño Máximo Nominal para el agregado grueso:

Tabla N° 10 Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	
<i>Material</i>	<i>Tamaño Máximo Nominal</i>
Agregado Grueso	1"

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.5. Peso Específico (NTP 400.021)

Como se indica en la NTP 400.021, el peso específico es la relación, a una temperatura estable, de la masa (o peso en el aire) de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua a las temperaturas indicadas.

El cálculo del Peso específico de Masa (Pem), el Peso específico superficialmente seco, y el Peso específico aparente (Pea), se calculan con las siguientes expresiones:

$$Pem = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

$$PeSSS = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

$$Pea = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Dónde:

Pem = Peso específico de masa

$PeSSS$ = Peso específico superficialmente seco

Pea = Peso específico aparente

A = Peso de la muestra seca en el horno, gramos.

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca, gramos.

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

La tabla N° 11 muestran los valores de peso específicos para el agregado grueso:

<i>Propiedad</i>	<i>Agregado grueso</i>
Peso específico de masa	2.53
Peso específico superficialmente seco	2.54
Peso específico aparente	2.55

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 4 se puede ver la medición del peso en canastilla con el agregado grueso (en estado superficialmente seco) cuando están sumergidos totalmente en agua.

Figura N° 3 Ensayo de peso específico de agregado grueso.

Fuente: elaboración propia

3.1.1.6. Porcentaje de Absorción (NTP 400.021)

La NTP 400.021 define absorción como la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en ésta, se expresa como porcentaje seco. El agregado se considera “seco” cuando se ha mantenido a una temperatura constante de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ por tiempo suficiente para remover toda el agua sin combinar.

El porcentaje de absorción (% Abs) del agregado grueso se calcula con la siguiente expresión:

$$\% \text{ Abs} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Dónde:

% Abs = Porcentaje de absorción.

A = Peso de la muestra seca en el horno, gramos.

B= Peso de la muestra saturada superficialmente seca, gramos.

La tabla N° 12 muestra el valor del porcentaje de absorción para el agregado grueso:

Tabla N° 12 Porcentaje de absorción del agregado grueso

<i>Material</i>	<i>% Abs</i>
Agregado Grueso	0.35

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.7. Peso Unitario Suelto (NTP 400.017)

Es aquel en el que se establece la relación peso/volumen dejando caer libremente desde cierta altura el agregado (15 cm aproximadamente), en un recipiente de volumen conocido y estable. Para su cálculo se usa la siguiente expresión

$$PU_s = \frac{W_s}{V_R}$$

Dónde:

W_s = Peso del agregado suelto, en kg.

V_R = Volumen del recipiente, en m^3 .

PU_s = Peso unitario suelto, en kg/m^3 .

La tabla N° 13 muestra el valor del peso unitario suelto para el agregado grueso:

Tabla N° 13 Peso Unitario suelto del agregado grueso

<i>Material</i>	<i>PU_s (Kg/m^3)</i>
Agregado Grueso	1374.1

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.8. Peso Unitario Compactado (NTP 400.017)

Este proceso es parecido al del peso unitario suelto, pero compactando el material dentro del molde, este se usa en algunos métodos de diseño de mezcla como lo es el de American Concrete Institute. Para su cálculo se usa la siguiente expresión

$$PU_C = \frac{W_C}{V_R}$$

Dónde:

W_C = Peso del agregado compactado, en kg.

V_R = Volumen del recipiente, en m^3 .

PU_C = Peso unitario suelto, en kg/m^3 .

La tabla N° 14 muestra el valor del peso unitario compactado para el agregado grueso:

Tabla N° 14 Peso unitario compactado del agregado grueso

<i>Material</i>	<i>PU_C (Kg/m³)</i>
Agregado Grueso	1508.6

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.9. Contenido de Humedad (NTP 339.185)

Es la cantidad de agua que posee el material en estado natural, es importante debido a que pueda hacer variar la relación a/c del diseño de mezcla y por tanto influye en la resistencia y otras propiedades del concreto. El cálculo de su valor se realiza mediante la expresión:

$$CH_p \% = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Dónde:

CH_p% = Porcentaje de humedad

W_h = peso del agregado en estado húmedo.

W_s = peso del agregado en estado seco.

La tabla N° 15 muestra el valor contenido de humedad para el agregado grueso:

Tabla N° 15 Contenido de humedad del agregado grueso

<i>Material</i>	<i>CH_p%</i>
Agregado Grueso	0.27 %

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2. Propiedades Físicas del Agregado Fino

3.1.2.1. Ensayo de Granulometría (NTP 400.012; ASTM C 136)

A fin de que el agregado fino sea aceptable para la elaboración del concreto, la norma NTP 400.037 hace referencia de los límites granulométricos donde debería de estar comprendido. En la tabla N° 16 se observan los requisitos granulométricos del agregado fino.

Tabla N° 16 Requisitos granulométricos del agregado fino (NTP 400.037)

<i>Tamiz</i>	<i>Porcentaje de peso que pasa (%)</i>
3/8"	100.0
N° 4	95.0 – 100.0
N° 8	80.0 – 100.0
N° 16	50.0 – 85.0
N° 30	25.0 – 60.0
N° 50	5.0 – 30.0
N° 100	0.0 – 10.0

Fuente: Torre A. Ensayos en materiales de construcción – procedimientos. Pág. 26

Los resultados del análisis granulométrico del agregado fino empleado en esta investigación se observan en la Tabla N° 17

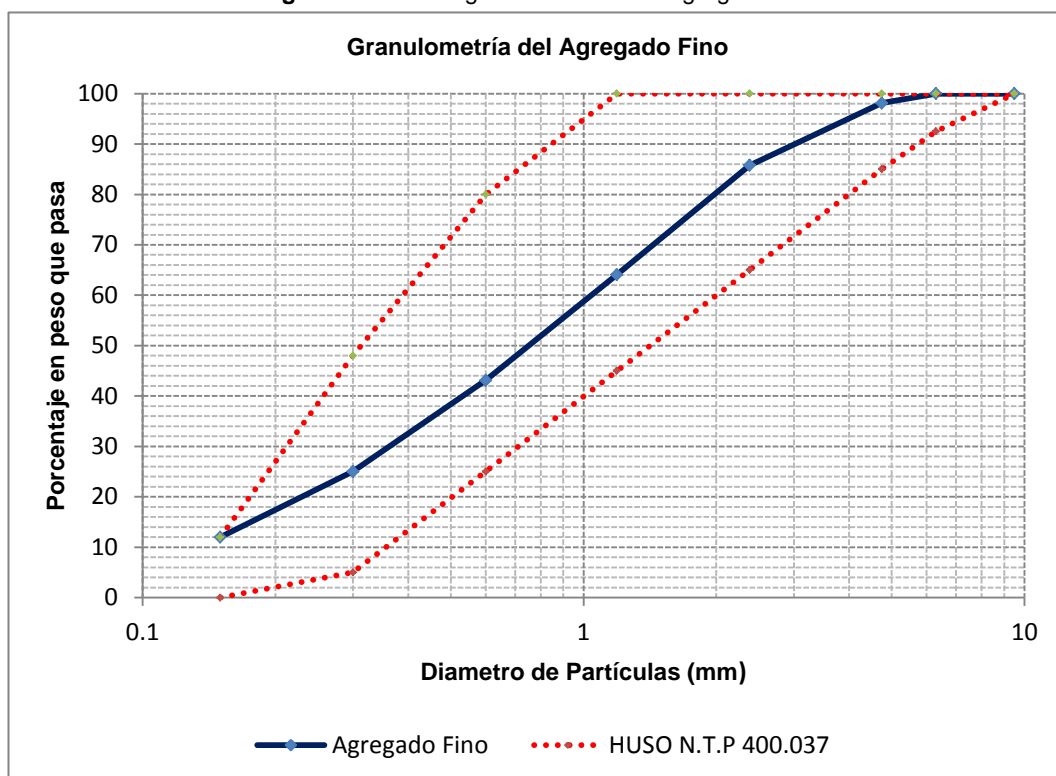
Tabla N° 17 Granulometría del Agregado Fino

<i>Tamiz</i>	<i>Peso Ret. (gr)</i>			<i>% Retenido</i>	<i>% Ret. Acumulado</i>	<i>% Pasa</i>
	<i>(g)</i>					
	<i>M-1</i>	<i>M-2</i>	<i>Promedio</i>			
3/8"	0	0.0	0.00	0.0	0.0	100.00
N° 4	10.5	14.5	12.50	1.9	1.9	98.12
N° 8	73	91.5	82.25	12.3	14.2	85.78
N° 16	135.5	153.5	144.50	21.7	35.9	64.09
N° 30	137	142.5	139.75	21.0	56.9	43.12
N° 50	118.5	123.0	120.75	18.1	75.0	25.00
N° 100	79.5	94.0	86.75	13.0	88.0	11.98
Fondo	81	78.6	79.80	12.0	100.0	0.00
Total	635	697.6	666.3			

Fuente: Elaboración Propia

La curva granulométrica del Agregado fino se observa en la Figura N° 5

Figura N° 4 Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.2. Módulo de Finura (NTP 400.012)

Es la relación entre la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en cada uno de los tamices; para el agregado fino el cálculo se realiza en base a la suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas estándar para el agregado fino (N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200) todo entre 100.

$$MF = \frac{\% \text{ ret. Acum malla (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

La tabla N° 18 muestra el valor del Módulo de finura para el agregado fino:

Tabla N° 18 Módulo de Finura del agregado fino	
Material	Módulo de Finura
Agregado fino	2.72

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.3. Tamaño Máximo (NTP 339.047)

La NTP 400.011 indica que el tamaño máximo es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado fino.

La tabla N° 8 muestra el valor del Tamaño Máximo para el agregado fino:

<i>Material</i>	<i>Tamaño Máximo</i>
Agregado fino	1/4"

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.4. *Tamaño Máximo Nominal (NTP 339.047)*

Como se indicó en el punto 3.1.1.4, el tamaño máximo nominal (TMN) es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer valor retenido.

La tabla N° 20 muestra el valor del Tamaño Máximo Nominal para el agregado fino:

<i>Material</i>	<i>Tamaño Máximo Nominal</i>
Agregado fino	N° 4

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.5. *Peso Específico (NTP 400.022)*

El cálculo del Peso específico de Masa (Pem), el Peso específico superficialmente seco, y el Peso específico aparente (Pea), se calculan con las siguientes expresiones:

$$Pem = \frac{A}{(V - W)}$$

$$PeSSS = \frac{500}{(V - W)} \times 100$$

$$Pea = \frac{A}{V - W - (500 - A)}$$

Dónde:

Pem = Peso específico de masa

$PeSSS$ = Peso específico superficialmente seco

Pea = Peso específico aparente

A = Peso de la muestra seca al horno, gramos.

V = Peso del balón

W = Peso del agua

La tabla N° 21 muestran los valores de peso específicos para el agregado grueso:

<i>Propiedad</i>	<i>Agregado fino</i>
Peso específico de masa	2.46 g/cm ³
Peso específico superficialmente seco	2.51 g/cm ³
Peso específico aparente	2.58 g/cm ³

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 5 se puede ver la medición del peso en picnómetro (método gravimétrico) con el agregado fino cuando está sumergido totalmente en agua.

Figura N° 5 Ensayo de peso específico de agregado fino.



Fuente: elaboración propia

3.1.2.6. Porcentaje de Absorción (NTP 400.021)

El porcentaje de absorción (% Abs) del agregado fino se calcula con la siguiente expresión:

$$\% Abs = \frac{500 - A}{A} \times 100$$

Dónde:

% Abs = Porcentaje de absorción.

A = Peso de la muestra seca al horno, gramos.

La tabla N° 22 muestra el valor del porcentaje de absorción para el agregado fino:

<i>Material</i>	<i>% Abs</i>
Agregado Fino	1.83

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.7. *Peso Unitario Suelto (NTP 400.017)*

Teniendo en cuenta las expresiones para su cálculo expuestas en el punto 3.1.1.7, en la tabla N° 23 muestra el valor del peso unitario suelto para el agregado fino:

<i>Material</i>	<i>PU_s (Kg/m³)</i>
Agregado Fino	1572.9

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.8. *Peso Unitario Compactado (NTP 400.017)*

Teniendo en cuenta las expresiones para su cálculo expuestas en el punto 3.1.1.8, en la tabla N° 24 muestra el valor del peso unitario compactado para el agregado fino:

<i>Material</i>	<i>PU_c (Kg/m³)</i>
Agregado Fino	1730.8

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.9. *Contenido de Humedad (NTP 339.185)*

Teniendo en cuenta las expresiones para su cálculo expuestas en el punto 3.1.1.9, en la tabla N° 25 muestra el valor del peso unitario compactado para el agregado fino:

La tabla N° 15 muestra el valor contenido de humedad para el agregado fino:

Tabla N° 25 Contenido de humedad del agregado fino

<i>Material</i>	<i>CH_p%</i>
Agregado Fino	0.89

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3. Propiedades Físicas del RPET

Se obtuvo el Tereftalato de polietileno reciclado RPET de botellas plásticas (botellas de agua, gaseosas, aceite post consumo) en forma de escamas de la empresa GRUPO PRADERA S.A.C.

El proceso empleado por la empresa mencionada para la obtención del RPET empleado en la presente investigación consiste en clasificar, desetiquetar y destapar las botellas, para que luego pasen a la etapa de picado, lavado, enjuague y secado, obteniendo como producto final las escamas de RPET.

En la tabla N° 26 se puede observar los procesos para la obtención de las escamas de RPET y las eficiencias, que indica la empresa GRUPO PRADERA en su brochure.

Tabla N° 26 Procesos y eficiencia para obtención de escamas de RPET

<i>Proceso</i>	<i>Maquina</i>	<i>Características</i>	<i>Capacidad</i>
Picado	Picadora de molino	“Molino” de alta eficiencia, con zaranda intercambiable y dos juegos de cuchilla	50 a 80 Kg/h
Lavado	Tanque con agitador	Tanque de acero inoxidable con agitador y termómetro incorporado	05 m ³ a más
Enjuague	Tina de enjuague	Tina con tornillo sin fin, incorporado con sistema para recirculación de agua	2 m ³ a más
Reducción de humedad	Centrífuga	Centrífuga continua de acero inoxidable	200 a 800 Kg/h
	Secadora	Secadora de aire caliente, para diferentes plásticos	50 a 200 Kg/Lote

Fuente: Productos y Servicios Grupo Pradera. Obtenido de www.grupopradera.com.pe

A continuación se detallan las propiedades físicas del RPET.

3.1.3.1. Ensayo de Granulometría (NTP 400.012; ASTM C 136)

La investigación se basa en reemplazar parte del agregado fino de la mezcla por RPET, entonces se realiza la granulometría como un agregado fino.

Los resultados del análisis granulométrico del RPET empleado en esta investigación se observan en la Tabla N° 27

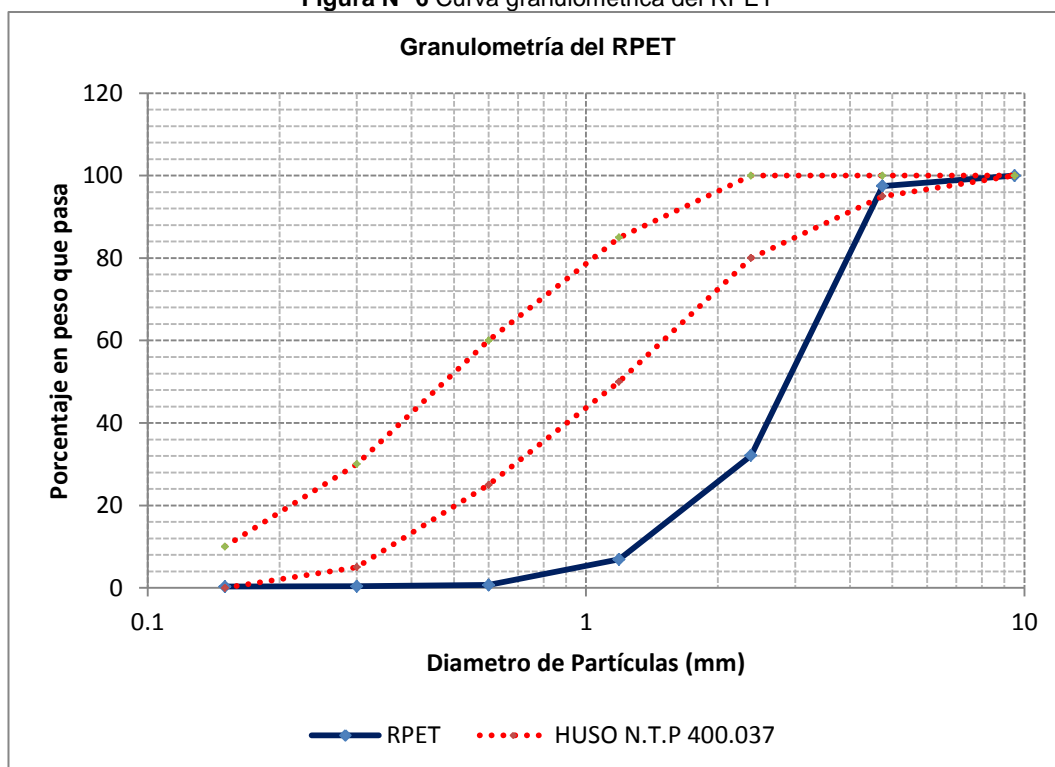
Tabla N° 27 Granulometría del RPET

Tamiz ASTM	Peso Retenido	(%) Retenido	(%) Ret. Acumulado	(%) Que Pasa
3/8"	0.00	0.0	0.0	100.0
1/4"	0.00	0.0	0.0	100.0
N°4	12.50	2.5	2.5	97.5
N°8	327.00	65.4	67.9	32.1
N°16	126.10	25.2	93.1	6.9
N°30	30.90	6.2	99.3	0.7
N°50	1.30	0.3	99.6	0.4
N°100	0.70	0.1	99.7	0.3
FONDO	1.50	0.3	100.0	0.0
SUMA	500.00	100.0		

Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica del RPET se observa en la Figura N° 7

Figura N° 6 Curva granulométrica del RPET



Fuente: Elaboración propia

3.1.3.2. Módulo de Finura

La tabla N° 28 muestra el valor del Módulo de finura para el RPET:

<i>Material</i>	<i>Módulo de Finura</i>
RPET	4.98

(Fuente: Elaboración Propia)

3.1.3.3. Tamaño Máximo (NTP 339.047)

La tabla N° 29 muestra el valor del Tamaño Máximo para el RPET:

<i>Material</i>	<i>Tamaño Máximo</i>
RPET	1/4"

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3.4. Tamaño Máximo Nominal (NTP 339.047)

La tabla N° 30 muestra el valor del Tamaño Máximo Nominal para el RPET:

<i>Material</i>	<i>Tamaño Máximo Nominal</i>
RPET	N° 4

Fuente: Elaboración Propia

3.1.4. Agregado Global

El agregado global se obtiene de la mezcla del agregado fino y agregado grueso, normalizado por una granulometría. Que establece la combinación de los agregados finos y gruesos, cuando están comprendidos dentro de los límites que establece la norma ASTM C-33, produce un concepto trabajable en condiciones ordinarias teniendo una buena distribución de las partículas (Morales Carhuayano, 2016)

3.1.4.1. Peso Unitario Compactado

Para realizar este ensayo en el agregado global, se toma en cuenta la NTP 400.017, usándola para determinar la densidad máxima del agregado global, a fin de obtener el menor volumen de vacíos; que en consecuencia

traería el uso de menor cantidad de cemento, y se obtendría a la vez mayor resistencia a la compresión. Se procede mezclando el agregado fino y grueso en distintas proporciones, realizando mediciones del peso unitario compactado de cada combinación.

En la tabla N° 31 se muestran los resultados del ensayo de compacidad del agregado global.

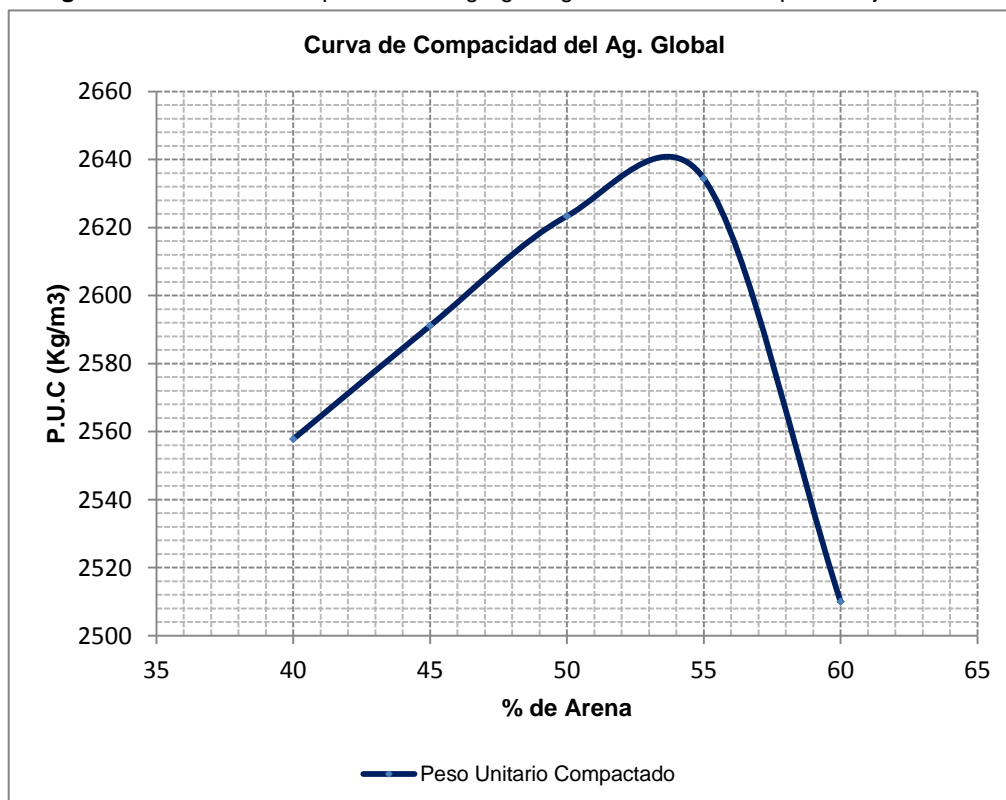
Tabla N° 31 Peso Unitario Compactado del agregado global

% AF	% AG	Peso Muestra (Kg)	PUC (Kg/m ³)
40	60	23.02	2557.8
45	55	23.32	2591.1
50	50	23.61	2623.3
55	45	23.71	2634.4
60	40	22.59	2510.0

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 8 se realiza la curva de compacidad del agregado global, teniendo como base a los puntos de dispersión de la tabla N° 31.

Figura N° 7 Curva de compacidad del agregado global en relación al porcentaje de arena



Fuente: Elaboración propia

De la Figura N° 8, se aproxima un máximo peso unitario compactado equivalente a 2642 Kg/m³. De la que se obtiene la Tabla N° 32 de la proporción de combinación de agregado fino y agregado grueso.

Tabla N° 32 Proporción de combinación de agregados

<i>Porcentaje (%)</i>	
Agregado Fino	54
Agregado Grueso	46

Fuente: Elaboración propia

3.1.4.2. Análisis granulométrico (NTP 400.012)

En base a los análisis granulométricos del agregado grueso y del agregado fino, revisados en los puntos 3.1.1.1 y 3.1.2.1 y teniendo la combinación óptima del ensayo de compacidad del agregado global, se obtiene la granulometría del agregado global, que puede observarse en la Tabla N° 33.

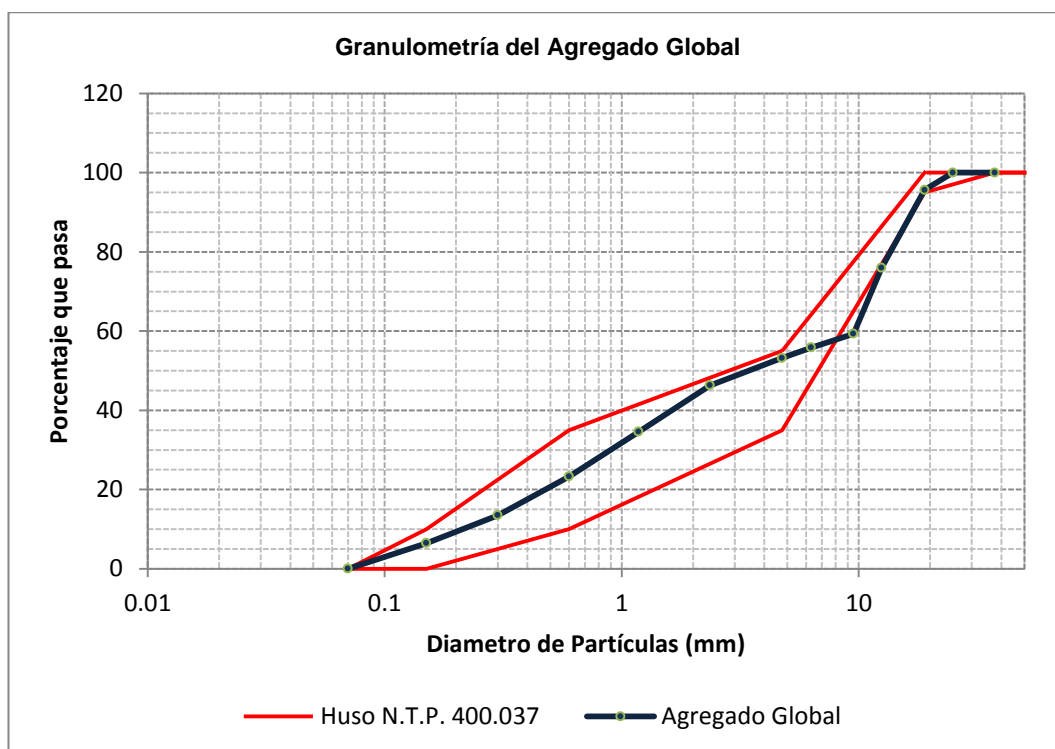
Tabla N° 33 Granulometría del agregado global AG/AF = 46/54

Tamiz Malla N°	% Retenido Piedra	46% de Piedra	% Retenido Arena	54% de Arena	Agregado Global		
					% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/4"	9.5	4.4	0.00	0.00	4.36	4.36	95.64
1/2"	42.7	19.7	0.00	0.00	19.65	24.01	75.99
3/8"	36.2	16.7	0.00	0.00	16.66	40.68	59.32
1/4"	7.5	3.5	0.00	0.00	3.47	44.14	55.86
N°4	3.6	1.6	1.88	1.01	2.65	46.80	53.20
N°8	0.5	0.2	12.34	6.67	6.88	53.68	46.32
N°16	0.0	0.0	21.69	11.71	11.71	65.39	34.61
N°30	0.0	0.0	20.97	11.33	11.33	76.72	23.28
N°50	0.0	0.0	18.12	9.79	9.79	86.50	13.50
N°100	0.0	0.0	13.02	7.03	7.03	93.53	6.47
FONDO	0.0	0.0	11.98	6.47	6.47	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 33 surge la Figura N° 9, que muestra la curva granulométrica del agregado global. Los husos están especificados en la tabla N°6 en el punto 3.1.1.1 de esta investigación.

Figura N° 8 Granulometría del Agregado Global AG/AF = 46/54



Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Consolidado de propiedades físicas de los agregados

A continuación se muestra la Tabla N° 34, consolidado de las propiedades físicas del agregado fino y agregado grueso.

Tabla N° 34 Resumen de propiedades físicas del AF y AG

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1 1/2"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	1"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.9	1379.1
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.8	1508.6
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

Fuente: Elaboración propia

3.2. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN

Se siguen las recomendaciones de la norma ACI 211.1-91 y las recomendaciones de metodología del agregado global (que indica obtener la proporción óptima de combinación entre el agregado grueso y agregado fino, que se puede observar en el punto 3.1.4.1 de la presente investigación.

Esta investigación contará con 5 diseños de mezcla por cada relación agua/cemento de 0.50, 0.60, 0.65, 0.70 con reemplazo del agregado fino por escamas de RPET al 0%, 5%, 10%, 15% y 30%.

El diseño de mezcla patrón estará definido para cada relación agua/cemento con un 0% de reemplazo de agregado fino por escamas de RPET; como se observa en el resumen de propiedades físicas del agregado fino y agregado grueso en la Tabla N° 34, la proporción de mezcla es 54% para el agregado fino y 46% para el agregado grueso. Teniendo la información precedente se procede a realizar los diseños de mezcla patrón

3.2.1. Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.50$

Se realiza la siguiente secuencia de pasos:

- a. Elección de relación agua/cemento a/c

$$\text{Relación } a/c = 0.50$$

- b. Elección de Slump o asentamiento

Para la presente investigación se plantea un asentamiento o slump de 3" a 4"

$$\text{Slump} = 3'' - 4''$$

- c. Estimación del agua de diseño y el contenido de aire atrapado para 1 m³ de concreto

Para la estimación del agua de diseño y el contenido de aire atrapado, se observa a continuación la Tabla N° 35, donde se obtienen sus valores de acuerdo al slump y al Tamaño Máximo Nominal.

Tabla N° 35 Agua de diseño aproximado, contenido de aire requerido según slump de concreto y TMN de agregados

<i>Agua, lt/m³ para TMN del agregado</i>							
Slump	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
Concreto sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160
% aprox. Aire incorporado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
Concreto con aire incorporado							
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154

Fuente: Norma ACI 211.1-91. Tabla 6.3.3. Pág. 14

Según la tabla N° 34 se toma el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso (1") y según el slump requerido (3" – 4"), contrastando en la Tabla N° 35, se obtiene.

$$\text{Cantidad de agua} = 193 \text{ litros/m}^3$$

$$\% \text{ de aire} = 1.5 \%$$

d. Cálculo de la cantidad de cemento para 1 m³ de concreto

De acuerdo a la relación para el diseño a/c = 0.50

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{agua}}{(a/c)} = 386 \text{ Kg/m}^3$$

e. Cálculo de los volúmenes absolutos del agua, aire y cemento para 1 m³ de concreto

$$\text{Volumen absoluto de agua} = 0.193 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de aire} = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de cemento} = \frac{\text{Peso cemento}}{P.E_{\text{cemento}}} = 0.123 \text{ m}^3$$

f. Cálculo del volumen total de agregados para 1 m³ de concreto

$$\text{Vol. total de agregados} = 1 - (\text{Vol. Agua} + \text{Vol. Cemento} + \text{Vol. Aire})$$

$$\text{Vol. total de agregados} = 0.67 \text{ m}^3$$

g. Cálculo de volúmenes absolutos de agregados para 1 m³ de concreto

De acuerdo a la proporción de agregado fino y agregado grueso que se observa en la Tabla N° 34.

$$AF/AG = 54/46$$

Volumen absoluto del Agregado Fino

$$Vol. Abs. AF = (Vol. Total Agregados) \times (\%AF)$$

$$Vol. Abs. AF = 0.362 m^3$$

Volumen absoluto del Agregado Grueso

$$Vol. Abs. AG = (Vol. Total Agregados) \times (\%AG)$$

$$Vol. Abs. AG = 0.308 m^3$$

h. Cálculo de los pesos secos de los agregados para 1 m³ de concreto

$$Peso seco del A. F. = (Vol. Abs. AF) \times (PE) = 889.73 kg$$

$$Peso seco del A. G. = (Vol. Abs. AG) \times (PE) = 778.42 kg$$

i. Cálculo del aporte de agua de los agregados

$$Agua del A. F. = (Peso seco del A. F.) \times (C. H. del A. F.) = 8.36 kg$$

$$Agua del A. G. = (Peso seco del A. G.) \times (C. H. del A. G.) = 0.61 kg$$

j. Corrección de la cantidad de agua

$$Agua corregida = Agua Inicial - (Agua del A. F. + Agua del A. G.)$$

$$Agua corregida = 201.97 kg$$

k. Cálculo de pesos húmedos de los agregados para 1 m³ de concreto

$$Peso Húmedo del A. F. = (Peso Seco del A. F.) \times (1 + C. H. del A. F.)$$

$$Peso Húmedo del A. F. = 780.50r kg$$

$$Peso Húmedo del A. G. = (Peso Seco del A. G.) \times (1 + C. H. del A. G.)$$

$$Peso Húmedo del A. G. = 897.67 kg$$

El diseño calculado en los ítems anteriores, da como resultado un concreto con mayor agregado fino y muy poco trabajable; razón por la que se da un rediseño y se toma la decisión de bajar el % de agregado fino, y establecer una nueva relación de agregado fino y agregado grueso

$$AF/AG = 50/50$$

Además se aumenta la cantidad de agua. Siguiendo así las mismas operaciones de los ítems descritos hasta este punto para todas las relaciones a/c (0.50; 0.60; 0.65 y 0.70), se forma la Tabla N° 36 los ensayos de slump para la elaboración del diseño de los diseños de mezcla del concreto patrón obtenidos para una relación de agregado fino/ agregado grueso = 50/50.

Tabla N° 36 Ensayo de slump para diseño de mezcla

<i>Descripción</i>	<i>Diseño 1</i>	<i>Diseño 2</i>	<i>Diseño 3</i>	<i>Diseño 4</i>	<i>Diseño 5</i>
Relación a/c	0.5	0.5	0.6	0.65	0.7
Agua (l)	193	270	260	255	250
Arena %	54	50	50	50	50
Piedra %	46	50	50	50	50
Slump [3" - 4"]	1/4"	3 1/2"	3"	3 3/4"	3 1/2"

Fuente: Elaboración propia

Con los ensayos realizados y teniendo la nueva proporción de arena, piedra, y agua para el diseño de mezcla, se obtiene la tabla N° 37, donde se muestra el diseño de mezcla y la dosificación de agregados para elaborar 1 m³ de concreto para una relación a/c = 0.50.

Tabla N° 37 Dosificación de concreto patrón - relación a/c = 0.50

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg)</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540	3150	0.171	540	1	42.5	32.19
Agua	270.00	1000	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.272	674.88	1.25	53.12	40.24
Piedra	687.00	2527.72	0.272	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.5	-	0.015	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Diseño de mezcla patrón a/c = 0.60

Con los ensayos realizados que se muestran en la Tabla N° 36 y teniendo la nueva proporción de arena, piedra, y agua para el diseño de mezcla, se obtiene la tabla N° 38, donde se muestra el diseño de mezcla y la dosificación de agregados para elaborar 1 m³ de concreto para una relación a/c = 0.60.

Tabla N° 38 Dosificación de concreto patrón - relación a/c = 0.60

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg)</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	729.34	1.68	71.53	43.60
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.5	-	0.015	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Diseño de mezcla patrón a/c = 0.65

Con los ensayos realizados que se muestran en la Tabla N° 36 y teniendo la nueva proporción de arena, piedra, y agua para el diseño de mezcla, se obtiene la tabla N° 39, donde se muestra el diseño de mezcla y la dosificación de agregados para elaborar 1 m³ de concreto para una relación a/c = 0.65.

Tabla N° 39 Dosificación de concreto patrón - relación a/c = 0.65

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg)</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	751.71	1.92	81.44	44.95
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.5	-	0.015	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Diseño de mezcla patrón a/c = 0.70

Con los ensayos realizados que se muestran en la Tabla N° 36 y teniendo la nueva proporción de arena, piedra, y agua para el diseño de mezcla, se obtiene la tabla N° 40, donde se muestra el diseño de mezcla y la dosificación de agregados para elaborar 1 m³ de concreto para una relación a/c = 0.70.

Tabla N° 40 Dosificación de concreto patrón - relación a/c = 0.70

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg)	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	780.81	2.23	94.81	46.55
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.5	-	0.015	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.3. DISEÑO DE MEZCLA INCORPORANDO RPET

Para el diseño de mezcla de concreto, incorporando RPET, se tomarán en cuenta las consideraciones siguientes:

a. La proporción del agregado fino y agregado grueso, será la misma relación, mostrada en la tabla N° 36, correspondiente al diseño de mezcla patrón.

$$A.F/A.G = 0.50$$

b. La cantidad de agua, que corresponde a cada relación a/c, para los diseños de mezcla con RPET en reemplazo del agregado fino, se mantiene y será la misma que aparece en la Tabla N° 36.

c. El reemplazo del agregado fino por escamas de RPET, se dará al peso, en relación a los valores que se muestran en las tablas 37, 38, 39 y 40. Los reemplazos se harán al 5%, 10%, 15% y 30%.

Es así que a continuación se muestran los diseños para la dosificación del concreto para cada relación a/c, y cada porcentaje de reemplazo de escamas de RPET:

3.3.1. Diseño para concreto con relación agua/cemento $a/c = 0.50$ 3.3.1.1. *Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.50$ y 5% RPET*

En base al diseño patrón de la tabla N° 39, se realiza un reemplazo de agregado fino por escamas de RPET al 5% en peso del A.F. En la tabla N° 41, se observa la dosificación para el concreto con las características mencionadas.

Tabla N° 41 Dosificación de concreto - relación $a/c = 0.50$ y 5% RPET

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 5% RPET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540.00	3150.00	0.17	540.00	1.00	42.50	32.19
Agua	270.00	1000.00	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.27	641.13	1.19	50.46	38.22
Piedra	687.00	2527.72	0.27	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	33.74	0.06	2.66	2.01

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2. *Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.50$ y 10% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 10% en peso del A.F. En la tabla N° 42, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 42 Dosificación de concreto - relación $a/c = 0.50$ y 10% RPET

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 10% RPET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540.00	3150.00	0.17	540.00	1.00	42.50	32.19
Agua	270.00	1000.00	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.27	607.39	1.12	47.80	36.21
Piedra	687.00	2527.72	0.27	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	67.49	0.12	5.31	4.02

(Fuente: Elaboración propia

3.3.1.3. *Diseño de mezcla patrón a/c = 0.50 y 15% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 15% en peso del A.F. En la tabla N° 43, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 43 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.50 y 15% RPET

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 15% RPET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540.00	3150.00	0.17	540.00	1.00	42.50	32.19
Agua	270.00	1000.00	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.27	573.65	1.06	45.15	34.20
Piedra	687.00	2527.72	0.27	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	101.23	0.19	7.97	6.04

Fuente: Elaboración propia3.3.1.4. *Diseño de mezcla patrón a/c = 0.50 y 30% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 30% en peso del A.F. En la tabla N° 44, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 44 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.50 y 30% RPET

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 30% RPET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540.00	3150.00	0.17	540.00	1.00	42.50	32.19
Agua	270.00	1000.00	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.27	472.41	0.87	37.18	28.16
Piedra	687.00	2527.72	0.27	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RRPET	-	-	-	202.46	0.37	15.93	12.07

(Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Diseño para concreto con relación agua/cemento $a/c = 0.60$ 3.3.2.1. *Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.60$ y 5% RPET*

En base al diseño patrón de la tabla N° 37, se realiza un reemplazo de agregado fino por escamas de RPET al 5% en peso del A.F. En la tabla N° 45, se observa la dosificación para el concreto con las características mencionadas.

Tabla N° 45 Dosificación de concreto - relación $a/c = 0.60$ y 5% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m^3)	Volumen Absoluto (m^3)	Peso en obra (kg) 5% RPET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	692.87	1.60	67.95	41.42
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	36.47	0.08	3.58	2.18

Fuente: Elaboración propia3.3.2.2. *Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.60$ y 10% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 10% en peso del A.F. En la tabla N° 46, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 46 Dosificación de concreto - relación $a/c = 0.60$ y 10% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m^3)	Volumen Absoluto (m^3)	Peso en obra (kg) 10% RPET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	656.40	1.51	64.38	39.24
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	72.93	0.17	7.15	4.36

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3. *Diseño de mezcla patrón a/c = 0.60 y 15% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 15% en peso del A.F. En la tabla N° 47, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 47 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.60 y 15% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 15% RPET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	619.94	1.43	60.80	37.06
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	109.40	0.25	10.73	6.54

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.4. *Diseño de mezcla patrón a/c = 0.60 y 30% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 30% en peso del A.F. En la tabla N° 48, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 48 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.60 y 30% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 30% RPET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	510.54	1.18	50.07	30.52
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	218.80	0.50	21.46	13.08

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Diseño para concreto con relación agua/cemento $a/c = 0.65$ 3.3.3.1. *Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.65$ y 5% RPET*

En base al diseño patrón de la tabla N° 37, se realiza un reemplazo de agregado fino por escamas de RPET al 5% en peso del A.F. En la tabla N° 49, se observa la dosificación para el concreto con las características mencionadas.

Tabla N° 49 Dosificación de concreto - relación $a/c = 0.65$ y 5% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m^3)	Volumen Absoluto (m^3)	Peso en obra (kg) 5% RPET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	714.13	1.82	77.36	42.71
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	37.59	0.10	4.07	2.25

Fuente: Elaboración propia3.3.3.2. *Diseño de mezcla patrón $a/c = 0.65$ y 10% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 10% en peso del A.F. En la tabla N° 50, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 50 Dosificación de concreto - relación $a/c = 0.65$ y 10% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m^3)	Volumen Absoluto (m^3)	Peso en obra (kg) 10% RPET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	676.54	1.72	73.29	40.46
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	75.17	0.19	8.14	4.50

(Fuente: Elaboración propia

3.3.3.3. *Diseño de mezcla patrón a/c = 0.65 y 15% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 15% en peso del A.F. En la tabla N° 51, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 51 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.65 y 15% RPET

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 15% RPET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	638.96	1.63	69.22	38.21
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	112.76	0.29	12.22	6.74

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.4. *Diseño de mezcla patrón a/c = 0.65 y 30% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 30% en peso del A.F. En la tabla N° 52, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 52 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.65 y 30% RPET

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 30% RPET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	526.20	1.34	57.01	31.47
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	225.51	0.57	24.43	13.49

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. *Diseño para concreto con relación agua/cemento a/c = 0.70*3.3.4.1. *Diseño de mezcla patrón a/c = 0.70 y 5% RPET*

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 5% en peso del A.F. En la tabla N° 53, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 53 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.70 y 5% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% RPET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	741.77	2.12	90.07	44.22
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	39.04	0.11	4.74	2.33

Fuente: Elaboración propia**3.3.4.2. Diseño de mezcla patrón a/c = 0.70 y 10% RPET**

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 10% en peso del A.F. En la tabla N° 54, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 54 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.70 y 10% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 10% RPET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	702.73	2.01	85.33	41.89
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	78.08	0.22	9.48	4.65

Fuente: Elaboración propia**3.3.4.3. Diseño de mezcla patrón a/c = 0.70 y 15% RPET**

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 15% en peso del A.F. En la tabla N° 55, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 55 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.70 y 15% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 15% RRET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	663.68	1.90	80.59	39.57
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	117.12	0.33	14.22	6.98

Fuente: Elaboración propia

3.3.4.4. Diseño de mezcla patrón a/c = 0.70 y 30% RPET

Se realiza un reemplazo de A.F. por RPET al 30% en peso del A.F. En la tabla N° 56, se observa la dosificación para el concreto:

Tabla N° 56 Dosificación de concreto - relación a/c = 0.70 y 30% RPET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 30% RPET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	546.56	1.56	66.37	32.58
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
RPET	-	-	-	234.24	0.67	28.44	13.96

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra en la tabla N° 57, el resumen de los diseños y dosificaciones del concreto patrón, así como cada uno de los casos de reemplazo de agregado fino por RPET, para cada relación a/c.

Tabla N° 57 Resumen de diseño - concreto patrón y concreto con RPET

<i>a/c</i>	<i>Material</i>	<i>Und</i>	<i>Patrón</i>	<i>5% RPET</i>	<i>10% RPET</i>	<i>15%RPET</i>	<i>30% RPET</i>
0.5	Cemento	kg	540	540	540	540	540
	Agua	kg	276.83	276.83	276.83	276.83	276.83
	Arena	kg	674.88	641.13	607.39	573.65	472.41
	Piedra	kg	688.83	688.83	688.83	688.83	688.83
	RPET	kg	-	33.74	67.49	101.23	202.46
0.6	Cemento	kg	433.33	433.33	433.33	433.33	433.33
	Agua	kg	267.38	267.38	267.38	267.38	267.38
	Arena	kg	729.34	692.87	656.40	619.94	510.54
	Piedra	kg	744.42	744.42	744.42	744.42	744.42
	RPET	kg	-	36.47	72.93	109.40	218.80
0.65	Cemento	kg	392.31	392.31	392.31	392.31	392.31
	Agua	kg	262.60	262.60	262.60	262.60	262.60
	Arena	kg	751.71	714.13	676.54	638.96	526.20
	Piedra	kg	767.26	767.26	767.26	767.26	767.26
	RPET	kg	-	37.59	75.17	112.76	225.51
0.7	Cemento	kg	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00
	Agua	kg	252.90	252.90	252.90	252.90	252.90
	Arena	kg	780.81	741.77	702.73	663.68	546.56
	Piedra	kg	796.95	796.95	796.95	796.95	796.95
	RPET	kg	-	39.04	78.08	117.12	234.24

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. ENSAYOS A REALIZAR

4.1. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

4.1.1. Consistencia

Se puede precisar como el grado de humedad de una mezcla, o como la capacidad de desplazamiento teniendo en consideración al tipo de uso en el que será empleada la mezcla; esta propiedad va de la mano con la trabajabilidad. (Gamarra Villacorta, 2008)

Y según la NTP 339.035 tiene como objeto determinar el asentamiento o slump mediante el uso del Cono de Abrahams, y tiene como unidad de medida las pulgadas.

4.1.1.1. Para el diseño de mezcla patrón

Se determinó y se ajustaron los diseños de mezcla para obtener un asentamiento que oscile entre 3" – 4" para cada relación agua/cemento 0.50, 0.60, 0.65, 0.70. En la tabla N° 58 se observa los valores del asentamiento del concreto en estado fresco para las mezclas de los diseños patrón.

Tabla N° 58 Asentamiento del concreto para diseños patrón

Relación a/c	Mezcla	Slump (Pulg)
A (0.50)	A – Patrón	3 ½"
B (0.60)	B – Patrón	3"
C (0.65)	C – Patrón	3 ¾"
D (0.70)	D – Patrón	3 ½"

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET

Con el diseño de mezcla determinado para las mezclas patrón, se realizó el ensayo de consistencia para cada concreto con RPET incorporado al 5%, 10%, 15% y 30%; para cada relación a/c.

En la tabla N° 59 se observa los valores del asentamiento del concreto para diseños con RPET incorporado.

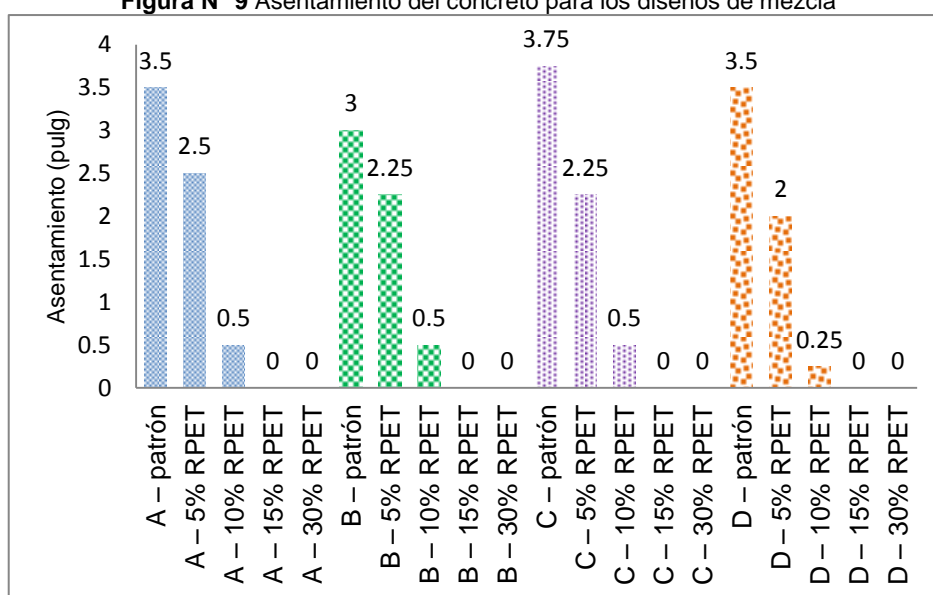
Tabla N° 59 Asentamiento del concreto para diseños con RPET incorporado

Relación a/c	Mezcla	Slump (Pulg)
A (0.50)	A – patrón	3 ½"
	A – 5% RPET	2 ½"
	A – 10% RPET	½"
	A – 15% RPET	0
	A – 30% RPET	0
B (0.60)	B – patrón	3"
	B – 5% RPET	2" ¼"
	B – 10% RPET	½"
	B – 15% RPET	0
	B – 30% RPET	0
C (0.65)	C – patrón	3 ¾"
	C – 5% RPET	2 ¼"
	C – 10% RPET	½"
	C – 15% RPET	0
	C – 30% RPET	0
D (0.70)	D – patrón	3 ½"
	D – 5% RPET	2"
	D – 10% RPET	¼"
	D – 15% RPET	0
	D – 30% RPET	0

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 59 se deriva la Figura N° 10.

Figura N° 9 Asentamiento del concreto para los diseños de mezcla



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Peso Unitario

El Peso Unitario para el concreto en estado fresco se define como el peso varillado de una muestra de concreto (con unidades en Kg/m^3), donde el valor resultante del Peso Unitario, tiene como determinantes a los pesos específicos de los agregados del concreto. (Gamarra Villacorta, 2008)

Según la NTP 339.046, el peso unitario del concreto es la relación que existe entre el peso del concreto fresco compactado y el volumen del recipiente que lo contiene. Además de acuerdo a su peso unitario, el concreto puede clasificarse en concretos livianos (Valor entre $400 - 2000 \text{ Kg/m}^3$), concretos normales (valor entre $2000 - 2500 \text{ kg/m}^3$) y concretos pesados (valor entre $2500 - 5600 \text{ kg/m}^3$).

Para calcular su valor, se llena el recipiente contenedor en tres capas de concreto fresco, compactándose entre cada capa con un barra lisa con 25 golpes distribuidos uniformemente y aplicados en toda la sección de manera espiral hacia dentro. Se enrasa y se procede a medir el peso en una balanza calibrada. (Morales Carhuayano, 2016)

4.1.2.1. Para el diseño de mezcla patrón

Se calculó el Peso Unitario del concreto en estado fresco para los diseño de mezcla patrón. Los valores obtenidos varían entre 2258.73 kg/m^3 y 2268.26 kg/m^3 , clasificándolos así en una categoría de concreto normal. La tabla N° 60 muestra los Pesos Unitarios como resultados del ensayo para los distintos patrones de mezcla.

Tabla N° 60 Peso Unitario del concreto para diseños patrón

<i>Relación a/c</i>	<i>Mezcla</i>	<i>Peso Unitario (Kg/m^3)</i>
A (0.50)	A – Patrón	2263.0
B (0.60)	B – Patrón	2258.7
C (0.65)	C – Patrón	2268.3
D (0.70)	D – Patrón	2258.7

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET

Se realizó el ensayo de Peso Unitario para cada concreto con RPET incorporado al 5%, 10%, 15% y 30%; para cada relación a/c. Los valores obtenidos varían entre 1450.37 kg/m³ y 2181.39 kg/m³, clasificándolos así en una categoría de concretos livianos y normales.

En la tabla N° 61 se observa los valores del Peso Unitario del concreto para diseños con RPET incorporado.

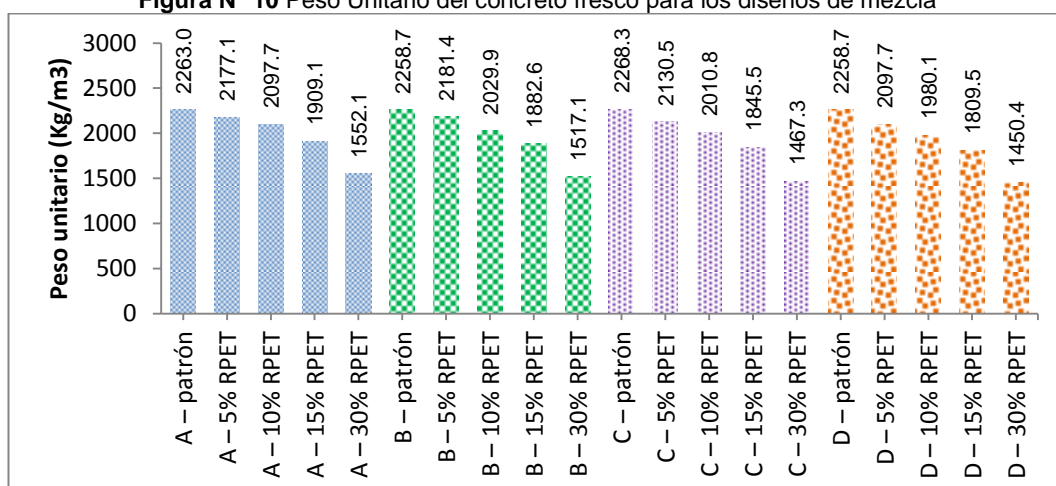
Tabla N° 61 Peso Unitario para diseños con RPET incorporado

Relación a/c	Mezcla	Peso Unitario (Kg/m ³)
A (0.50)	A – patrón	2263.0
	A – 5% RPET	2177.1
	A – 10% RPET	2097.7
	A – 15% RPET	1909.1
	A – 30% RPET	1552.1
B (0.60)	B – patrón	2258.7
	B – 5% RPET	2181.4
	B – 10% RPET	2029.9
	B – 15% RPET	1882.6
	B – 30% RPET	1517.1
C (0.65)	C – patrón	2268.3
	C – 5% RPET	2130.5
	C – 10% RPET	2010.8
	C – 15% RPET	1845.5
	C – 30% RPET	1467.3
D (0.70)	D – patrón	2258.7
	D – 5% RPET	2097.7
	D – 10% RPET	1980.1
	D – 15% RPET	1809.5
	D – 30% RPET	1450.4

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 61 se deriva la Figura N° 11 donde puede observarse de manera gráfica los valores del Peso Unitario del Concreto Fresco para los diseños de mezcla.

Figura N° 10 Peso Unitario del concreto fresco para los diseños de mezcla



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Contenido de aire

Existen dos tipos de aire que podrían estar presente en una mezcla de concreto. El aire incorporado, que es el que se ha introducido intencionalmente a fin de dar alguna característica al concreto; y el aire atrapado, que es porcentaje de aire que hay en la mezcla producto de la elaboración del mismo. (Gamarra Villacorta, 2008)

Según indica la NTP 339.083, este ensayo, que se realiza la Olla de Washington, determina el contenido de aire en mezclas de concreto fresco excluyendo el aire contenido dentro de los poros del agregado. (Morales Carhuayano, 2016)

4.1.3.1. Para el diseño de mezcla patrón

Se calculó el Contenido de Aire del concreto en estado fresco para los diseño de mezcla patrón. La tabla N° 62 muestra el contenido de aire como resultado del ensayo para los distintos patrones de mezcla.

Tabla N° 62 Contenido de aire del concreto fresco para diseños patrón

Relación a/c	Mezcla	Contenido de Aire (%)
A (0.50)	A – Patrón	1.3
B (0.60)	B – Patrón	1.4
C (0.65)	C – Patrón	1.5
D (0.70)	D – Patrón	1.7

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET

Se realizó el ensayo de Contenido de Aire para cada concreto con RRPET incorporado al 5%, 10%, 15% y 30%; para cada relación a/c.

En la tabla N° 63 se observa los valores del Contenido de Aire del concreto para diseños con RPET incorporado.

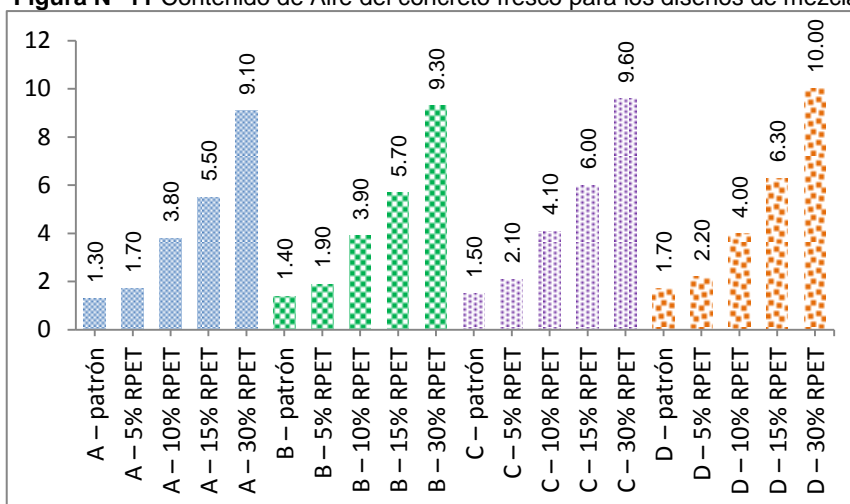
Tabla N° 63 Contenido de Aire para diseños con RPET incorporado

Relación a/c	Mezcla	Contenido de Aire
A (0.50)	A – patrón	1.3
	A – 5% RPET	1.7
	A – 10% RPET	3.8
	A – 15% RPET	5.5
	A – 30% RPET	9.1
B (0.60)	B – patrón	1.4
	B – 5% RPET	1.9
	B – 10% RPET	3.9
	B – 15% RPET	5.7
	B – 30% RPET	9.3
C (0.65)	C – patrón	1.5
	C – 5% RPET	2.1
	C – 10% RPET	4.1
	C – 15% RPET	6
	C – 30% RPET	9.6
D (0.70)	D – patrón	1.7
	D – 5% RPET	2.2
	D – 10% RPET	4
	D – 15% RPET	6.3
	D – 30% RPET	10

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 63 se deriva la Figura N° 12, donde se observa gráficamente la relación de cada diseño de mezcla y porcentaje de RPET incorporado, y su respectivo contenido de aire obtenidos de los ensayos.

Figura N° 11 Contenido de Aire del concreto fresco para los diseños de mezcla



Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Tiempo de fragua

La NTP 339.082, indica que el fraguado es el proceso en el que el concreto pasa por un endurecimiento después de empezar a perder la trabajabilidad y plasticidad. Se divide en dos periodos, el fraguado inicial (tiene como particularidad el aumento de la temperatura y la viscosidad de la mezcla) y el fraguado final (tiene como particularidad el endurecimiento de la mezcla y el concreto ha perdido la capacidad de deformación, y por ende se da el incremento de la resistencia).

El proceso del ensayo es realizar un tamizado mecánico a una muestra de concreto fresco en un volumen suficiente. Esta muestra tamizada se llena por capas compactadas en los moldes metálicos y se deja fraguar la mezcla. Se coloca una de las agujas en la superficie superior de la mezcla, y se le aplica una fuerza hasta que esta aguja penetre totalmente (Se hace la medición de la lectura). Y teniendo los datos de la fuerza a la que se sometió la aguja y el área de la misma, se determina la presión. Para establecer el tiempo de fragua se realiza el gráfico de Resistencia a la Penetración (RP) vs Tiempo desde el contacto del agua con el cemento (T). Se ha establecido que el Inicio de fragua corresponde a RP = 500 psi y fin de fragua que corresponde a RP =4000 psi. (Morales Carhuayano, 2016)

4.1.4.1. Para el diseño de mezcla patrón

Se determinó el Tiempo de Fragua del concreto de mezcla patrón para la relación $a/c = 0.50$, según NTP 339.082 a una temperatura que varió a lo largo del día entre 22°C y 28°C . La tabla N° 64 muestra los Tiempos de Fragua como resultados del ensayo para los distintos patrones de mezcla.

Tabla N° 64 Tiempo de fragua para concreto patrón $a/c = 0.50$

Mezcla	T.F. Inicial	T.F. Final
A – Patrón	06h 24min	08h 46min

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET

Se realizó el ensayo de Tiempo de Fragua de acuerdo a la NTP 339.082, para cada concreto con RRPET incorporado al 5%, 10%, 15% y 30%; para cada relación a/c a una temperatura ambiente de 24°C .

En la tabla N° 65 se observa los valores del Contenido de Aire del concreto para diseños con RPET incorporado.

Tabla N° 65 Tiempo de fragua del concreto con RPET - relación $a/c=0.50$

Mezcla	T.F. Inicial	T.F. Final
A – 5% RPET	06h 17min	08h 34min
A – 10% RPET	06h 26min	08h: 44min
A – 15% RPET	05h 59min	08h 46min
A – 30% RPET	05h 47min	08h 24min

Fuente: Elaboración propia

4.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

4.2.1. Resistencia a la compresión axial

La resistencia del concreto se define como el esfuerzo máximo que puede soportar dicho material sin romperse. Ya que a que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como un indicador importante de su calidad. Además la mayoría de las propiedades del concreto aumentan de manera proporcional al aumento de su resistencia a la compresión (Rivva López, 2007) (Abanto Castillo, 2009)

La NTP 339.034 explica que la Resistencia a la compresión ($f'c$) se obtiene de la división de la carga máxima que soporta la probeta para producir su fractura, entre el área promedio de su sección transversa. Para la presente investigación los ensayos de compresión se realizaron con muestras de 10cm de diámetro y 20cm de altura, curados en agua y ensayados a edades de 7, 28 y 45 días.

4.2.1.1. Para el diseño de mezcla patrón

Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión axial del concreto para la mezcla patrón con la relación a/c 0,50, 0,60, 0,65 y 0,70. La tabla N° 66 muestra los resultados de la resistencia a la compresión para los distintos patrones de mezcla.

Tabla N° 66 Resistencia a la compresión del concreto para diseños patrón

Relación a/c	Edad (días)	f'_{cp} (Kg/cm ²)
A (0.50)	7	267.97
	28	355.72
	45	373.55
B (0.60)	7	232.19
	28	311.21
	45	327.57
C (0.65)	7	193.84
	28	247.01
	45	261.15
D (0.70)	7	175.66
	28	228.98
	45	241.29

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET

Se realizó el ensayo de Resistencia a la compresión de acuerdo a la NTP 339.034, para el concreto con RPET incorporado al 5%, 10%, 15% y 30%; para cada relación a/c.

En la tabla N° 67 se observa los valores la resistencia a la compresión del concreto para diseños con RPET incorporado.

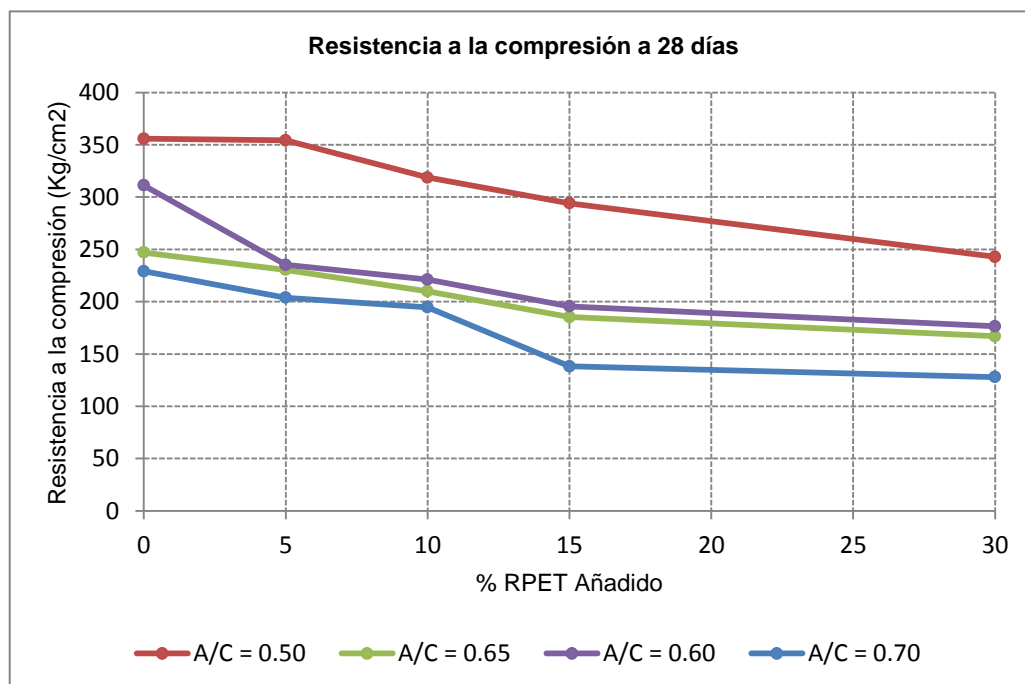
Tabla N° 67 Resistencia a la compresión para diseños con RPET

Relación a/c	Edad (Días)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)				
		Patrón	5% RPET	10% RPET	15% RPET	30% RPET
A (0.50)	7	267.97	266.55	239.16	217.46	192.84
	28	355.72	354.31	318.79	294.11	242.86
	45	373.55	369.19	335.46	309.42	255.90
B (0.60)	7	232.19	180.35	167.03	150.79	131.38
	28	311.21	235	221.05	195.48	176.39
	45	327.57	247.54	232.90	205.41	183.70
C (0.65)	7	193.84	169.69	163.37	141.80	122.75
	28	247.01	230.49	209.93	185.34	166.96
	45	261.15	242.11	220.56	195.46	175.26
D (0.70)	7	175.66	157.69	144.37	110.33	93.61
	28	228.98	203.77	194.62	138.17	127.82
	45	241.29	214.13	204.91	145.46	134.38

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 70 se deriva el gráfico de las curvas obtenidas de la resistencia a la compresión vs el % de RPET añadido para una edad de 28 días, la que se puede observar en la Figura N° 13

Figura N° 12 Resistencia a la compresión del concreto a 28 días en relación al RPET incorporado



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral

La NTP 339.084 indica que, la resistencia a la tracción por compresión diametral es el resultado de la prueba de una probeta de concreto en estado endurecido que se somete a compresión diametral a lo largo de toda la longitud de esta, hasta que ocurra la falla. (Morales Carhuayano, 2016)

4.2.2.1. Para el diseño de mezcla patrón

Se realizó el ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto para la mezcla patrón con la relación a/c 0.50, 0.60, 0.65 y 0.70. La tabla N° 68 muestra los resultados de la resistencia a la compresión diametral para los distintos patrones de mezcla.

Tabla N° 68 Resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto para diseños patrón

Relación a/c	Edad (días)	T_p (Kg/cm ²)
A (0.50)	28	28.5
B (0.60)	28	23.6
C (0.65)	28	20.8
D (0.70)	28	18.4

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET

Se realizó el ensayo de Resistencia a la tracción por compresión diametral de acuerdo a la NTP 339.084, para el concreto con RPET incorporado al 5%, 10%, 15% y 30%; para cada relación a/c y una edad del concreto de 28 días.

En la tabla N° 69 se observa los valores del Contenido de Aire del concreto para diseños con RPET incorporado.

Tabla N° 69 Resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto con RPET incorporado

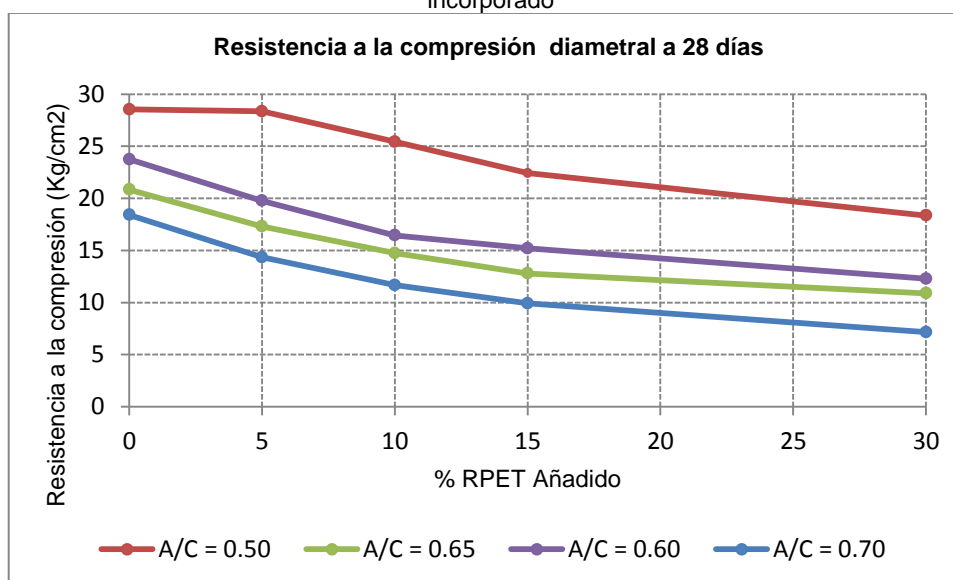
Relación a/c	Mezcla	T (kg/cm ²)
A (0.50)	A – patrón	28.54
	A – 5% RPET	28.36
	A – 10% RPET	25.43
	A – 15% RPET	22.44
	A – 30% RPET	18.36
B (0.60)	B – patrón	23.75
	B – 5% RPET	19.77
	B – 10% RPET	16.45
	B – 15% RPET	15.21
	B – 30% RPET	12.29
C (0.65)	C – patrón	20.84

	C – 5% RPET	17.31
	C – 10% RPET	14.74
	C – 15% RPET	12.80
	C – 30% RPET	10.89
	D – patrón	18.42
	D – 5% RPET	14.34
D (0.70)	D – 10% RPET	11.67
	D – 15% RPET	9.92
	D – 30% RPET	7.16

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 69 se deriva el gráfico de las curvas obtenidas de la resistencia a la tracción por compresión diametral vs el % de RPET añadido para una edad de 28 días, la que se puede observar en la Figura N° 14

Figura N° 13 Resistencia a la compresión diametral del concreto a 28 días en relación al RPET incorporado



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Resistencia a la flexión en vigas

Según la NTP 339.078, la resistencia a la flexión se mide aplicando una carga en los tercios de luz de una viga (en el caso de esta investigación de 15x15x50) hasta que ocurra la falla. SU resultado se denomina módulo de rotura, que se calcula según la ubicación de la falla (dentro del tercio medio o a una distancia de este no mayor del 5% de la luz libre. Este resultado puede ser usado para determinar el cumplimiento con las especificaciones o como base para operaciones de dosificación, mezcla y colocación del concreto (Losas y pavimentos)

4.2.3.1. Para el diseño de mezcla patrón

Se realizó el ensayo de resistencia a la flexión del concreto para la mezcla patrón con la relación a/c 0,50, 0,60, 0,65 y 0,70. La tabla N° 70 muestra los resultados de la resistencia a la compresión axial para los distintos patrones de mezcla a una edad de 28 días.

Tabla N° 70 Resistencia a la flexión en vigas para diseños patrón

Relación a/c	Mezcla	Mrp (Kg/cm ²)
A (0.50)	A – Patrón	58.50
B (0.60)	B – Patrón	50.85
C (0.65)	C – Patrón	41.09
D (0.70)	D – Patrón	37.31

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.2. Para los diseños de mezcla con reemplazo de RPET

Se realizó el ensayo de Resistencia a la flexión en vigas de acuerdo a la NTP 339.078, para el concreto con RPET incorporado al 5%, 10%, 15% y 30%; para cada relación a/c y una edad del concreto de 28 días.

En la tabla N° 71 se observa los valores de la resistencia a la flexión del concreto para diseños con RPET incorporado.

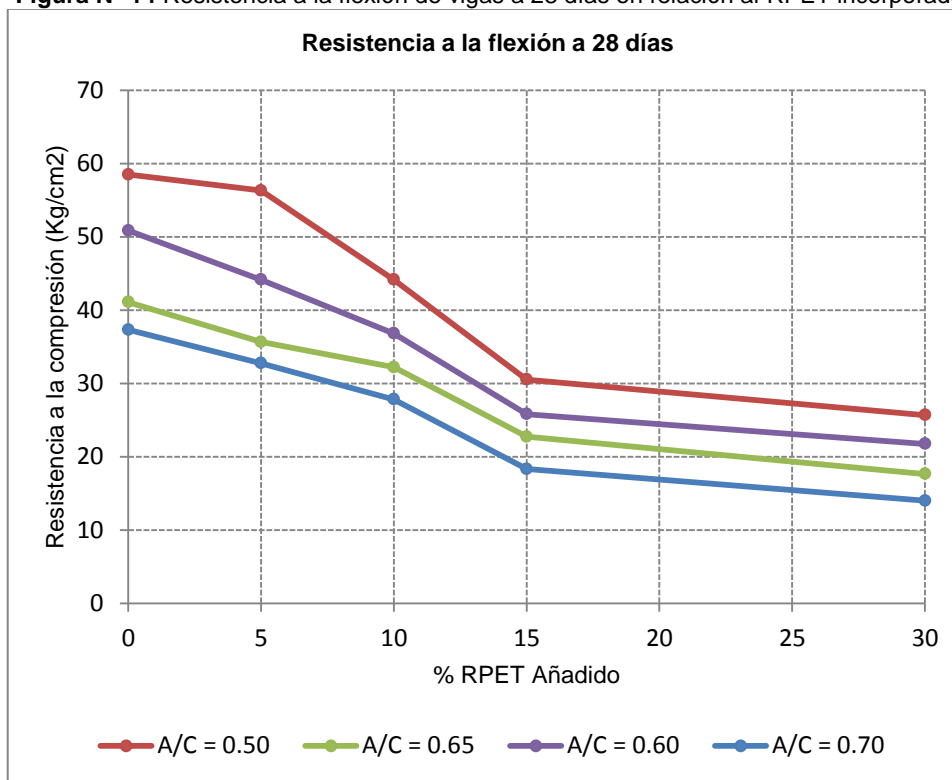
Tabla N° 71 Resistencia a la flexión en vigas para diseños con RPET incorporado

Relación a/c	Mezcla	Mrp (kg/cm ²)
A (0.50)	A – patrón	58.50
	A – 5% RPET	56.31
	A – 10% RPET	44.16
	A – 15% RPET	30.53
	A – 30% RPET	25.68
B (0.60)	B – patrón	50.85
	B – 5% RPET	44.14
	B – 10% RPET	36.81
	B – 15% RPET	25.80
	B – 30% RPET	21.76
C (0.65)	C – patrón	41.09
	C – 5% RPET	35.65
	C – 10% RPET	32.21
	C – 15% RPET	22.73
	C – 30% RPET	17.65
D (0.70)	D – patrón	37.31
	D – 5% RPET	32.75
	D – 10% RPET	27.82
	D – 15% RPET	18.32
	D – 30% RPET	13.99

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 71 se deriva el gráfico de las curvas obtenidas de la resistencia a la flexión vs el % de RPET añadido para una edad de 28 días, la que se puede observar en la Figura N° 15

Figura N° 14 Resistencia a la flexión de vigas a 28 días en relación al RPET incorporado



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se comentan los resultados obtenidos en los capítulos III y IV de la presente investigación, tanto las propiedades de los agregados del concreto, propiedades físicas del concreto en estado fresco y propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido.

5.1. AGREGADOS DEL CONCRETO

5.1.1. Agregado Grueso

De la tabla N° 7 donde se aprecia la granulometría del agregado grueso, se deriva la Figura N° 3, donde se aprecia que el agregado grueso cumple con los valores límites del HUSO ASTM 56 de la NTP 400.037. Y posee un módulo de finura equivalente a 6.97 como se observa en la tabla N° 8.

5.1.2. Agregado Fino

De la tabla N° 17 donde se puede observar la granulometría del agregado fino, se desprende la Figura N° 5, donde se aprecia que el agregado fino cumple con los valores límites de la NTP 400.037. Como indica la Tabla N° 18 el agregado fino posee un módulo de finura igual a 2.72 que lo ubica en el rango de 2.2 – 2.8 que resultaría con un agregado óptimo para concretos trabajables.

5.2. ANÁLISIS DE RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

5.2.1. Consistencia

De la tabla N° 59, se genera la Tabla N° 72 que se puede apreciar a continuación, donde se observa la variación porcentual del Slump referente al porcentaje de RPET reemplazando al agregado fino.

De esta tabla se observa que para el concreto con relación $a/c = 0.50$, se tiene una disminución del 29.6%, 85.7%, 100% y 100% de la trabajabilidad en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Mientras que para la relación $a/c = 0.60$, se tiene una disminución del 25.0%, 83.3%, 100% y 100% de la trabajabilidad en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente. Así mismo para la relación $a/c = 0.65$, se tiene una disminución del 40%, 86.7%, 100% y 100% de la trabajabilidad en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Y por último para la relación $a/c = 0.70$, se tiene una disminución del 42.9%, 92.9%, 100% y 100% de la trabajabilidad en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por PET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

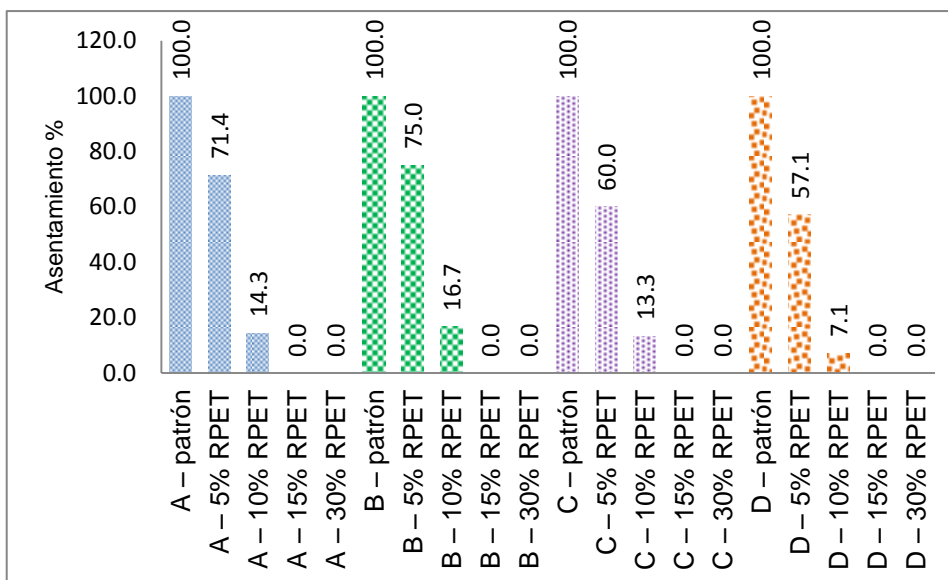
Tabla N° 72 Porcentaje de asentamiento respecto a mezclas de concreto patrón

Relación a/c	Mezcla	Slump (Pulg)	%
A (0.50)	A – patrón	3 ½"	100.0
	A – 5% RPET	2 ½"	71.4
	A – 10% RPET	½"	14.3
	A – 15% RPET	0	0.0
	A – 30% RPET	0	0.0
B (0.60)	B – patrón	3"	100.0
	B – 5% RPET	2" ¼"	75.0
	B – 10% RPET	½"	16.7
	B – 15% RPET	0	0.0
	B – 30% RPET	0	0.0
C (0.65)	C – patrón	3 ¾"	100.0
	C – 5% RPET	2 ¼"	60.0
	C – 10% RPET	½"	13.3
	C – 15% RPET	0	0.0
	C – 30% RPET	0	0.0
D (0.70)	D – patrón	3 ½"	100.0
	D – 5% RPET	2"	57.1
	D – 10% RPET	¼"	7.1
	D – 15% RPET	0	0.0
	D – 30% RPET	0	0.0

Fuente: Elaboración propia

De esta tabla se deriva la figura N° 16

Figura N° 15 Porcentaje de Asentamiento respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración propia

En conclusión se obtiene que a una mayor cantidad de agregado fino reemplazada por RPET, la trabajabilidad del concreto disminuye considerablemente, y a partir de 15% de RPET, se obtiene una trabajabilidad equivalente a cero.

5.2.2. Peso Unitario

De la tabla N° 60, se genera la Tabla N° 73 que se puede apreciar a continuación, donde se observa la variación porcentual del peso unitario del concreto fresco referente al porcentaje de RPET reemplazando al agregado fino.

De esta tabla se observa que para el concreto con relación $a/c = 0.50$, se tiene una disminución del 3.8%, 7.3%, 15.6% y 31.4% del peso unitario en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Mientras que para la relación $a/c = 0.60$, se tiene una disminución del 3.4%, 10.1%, 16.7% y 32.8% del peso unitario en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Así mismo para la relación $a/c = 0.65$, se tiene una disminución del 6.1%, 11.3%, 18.6% y 35% del peso unitario en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

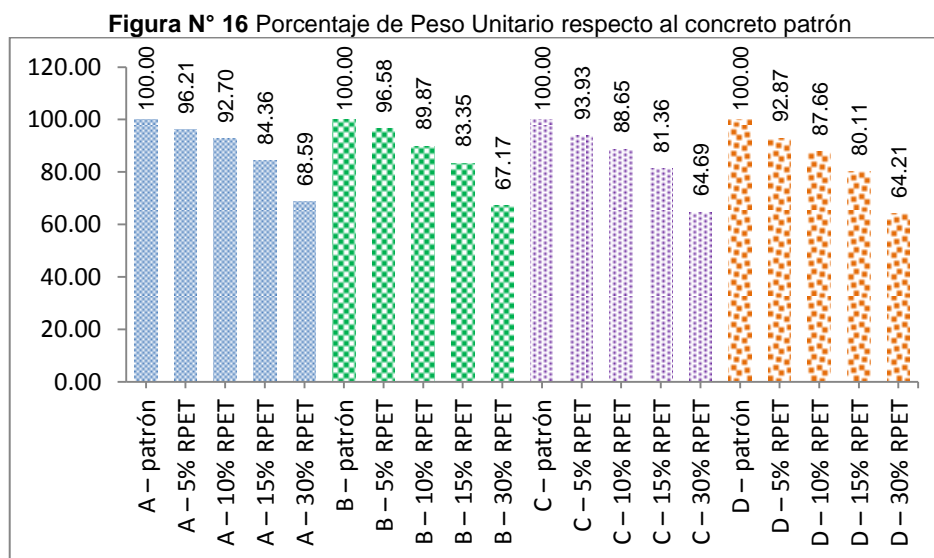
Y por último para la relación a/c = 0.70, se tiene una disminución del 7.1%, 12.3%, 19.9% y 35.8% del peso unitario en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Tabla N° 73 Porcentaje de peso unitario respecto a mezclas de concreto patrón

Relación a/c	Mezcla	Peso Unitario (Kg/m ³)	%
A (0.50)	A – patrón	100.00	100.0
	A – 5% PET	96.21	96.2
	A – 10% PET	92.70	92.7
	A – 15% PET	84.36	84.4
	A – 30% PET	68.59	68.6
B (0.60)	B – patrón	100.00	100.0
	B – 5% PET	96.58	96.6
	B – 10% PET	89.87	89.9
	B – 15% PET	83.35	83.3
	B – 30% PET	67.17	67.2
C (0.65)	C – patrón	100.00	100.0
	C – 5% PET	93.93	93.9
	C – 10% PET	88.65	88.7
	C – 15% PET	81.36	81.4
	C – 30% PET	64.69	64.7
D (0.70)	D – patrón	100.00	100.0
	D – 5% PET	92.87	92.9
	D – 10% PET	87.66	87.7
	D – 15% PET	80.11	80.1
	D – 30% PET	64.21	64.2

Fuente: Elaboración propia

De esta tabla se deriva la figura N° 17



Fuente: Elaboración propia

En conclusión se obtiene que a una mayor cantidad de agregado fino reemplazada por RPET, el peso unitario del concreto disminuye. Esto es debido al contenido de aire atrapado en la mezcla de concreto, debido a las partículas de PET que han sido agregadas.

5.2.3. Contenido de Aire

De la tabla N° 63, se genera la Tabla N° 74 que se puede apreciar a continuación, donde se observa la variación porcentual del contenido de aire en el concreto fresco referente al porcentaje de RPET reemplazando al agregado fino.

De esta tabla se observa que para el concreto con relación $a/c = 0.50$, se tiene un aumento del 30.7%, 192.3%, 323.1% y 600% del contenido de aire en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Mientras que para la relación $a/c = 0.60$, se tiene un incremento del 35.71%, 178.6%, 307.1% y 564.3% del contenido de aire en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Así mismo para la relación $a/c = 0.65$, se tiene un aumento del 40%, 173.3%, 300% y 540% del contenido de aire en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Y por último para la relación a/c = 0.70, se tiene un incremento del 29.41%, 135.3%, 270.6% y 488.2% del peso unitario en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

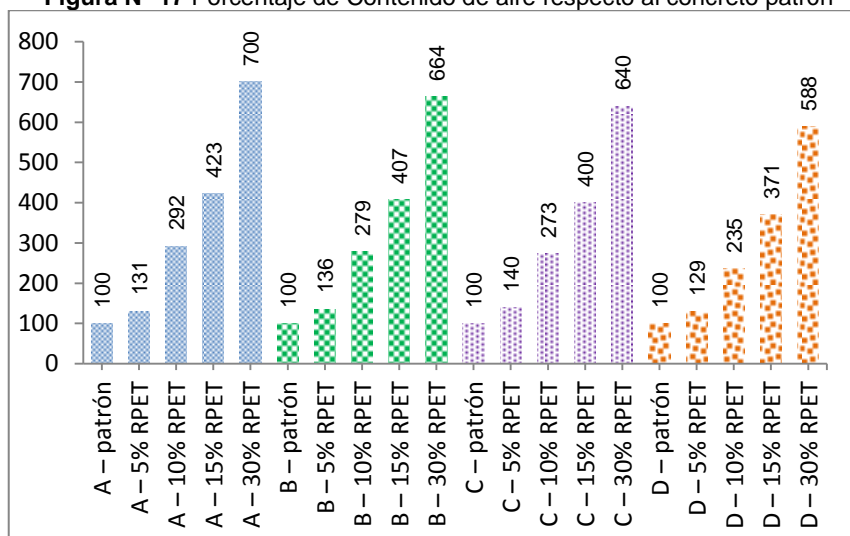
Tabla N° 74 Porcentaje de contenido de aire respecto a mezclas de concreto patrón

Relación a/c	Mezcla	Contenido de Aire (%)	%
A (0.50)	A – patrón	1.3	100.0
	A – 5% RPET	1.7	130.8
	A – 10% RPET	3.8	292.3
	A – 15% RPET	5.5	423.1
	A – 30% RPET	9.1	700.0
B (0.60)	B – patrón	1.4	100.0
	B – 5% RPET	1.9	135.7
	B – 10% RPET	3.9	278.6
	B – 15% RPET	5.7	407.1
	B – 30% RPET	9.3	664.3
C (0.65)	C – patrón	1.5	100.0
	C – 5% RPET	2.1	140.0
	C – 10% RPET	4.1	273.3
	C – 15% RPET	6	400.0
	C – 30% RPET	9.6	640.0
D (0.70)	D – patrón	1.7	100.0
	D – 5% RPET	2.2	129.4
	D – 10% RPET	4	235.3
	D – 15% RPET	6.3	370.6
	D – 30% RPET	10	588.2

Fuente: Elaboración propia

De esta tabla se deriva la figura N° 18

Figura N° 17 Porcentaje de Contenido de aire respecto al concreto patrón

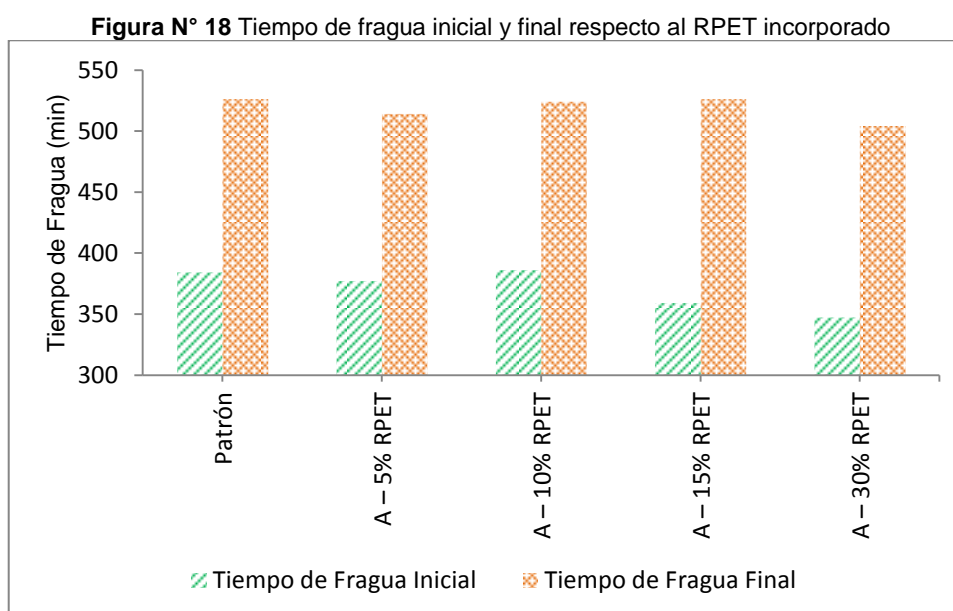


Fuente: Elaboración propia

En conclusión se obtiene que a una mayor cantidad de agregado fino reemplazada por PET, el contenido de aire del concreto incrementa considerablemente. Corroborando así lo expuesto en el punto 5.2.2 de este mismo capítulo, donde se indica la relación directa entre el aire contenido en el concreto con el peso unitario del mismo.

5.2.4. Tiempo de Fragua

De la Tabla N° 64 y la Tabla N° 65, se genera la Figura N° 19 que se aprecia a continuación, donde se observa, para una relación a/c = 0.50, el tiempo expresado en minutos de fragua inicial y tiempo de fragua final para cada porcentaje de RPET incorporado a la mezcla en reemplazo del agregado fino a 5%, 10%, 15% y 30%.



Fuente: Elaboración propia

Para el concreto patrón se tiene como tiempo de fragua inicial de 384 minutos y un tiempo de fragua final de 526 minutos; para el concreto con 5% de RPET se tiene como tiempo de fragua inicial de 377 minutos y un tiempo de fragua final de 514 minutos; para el concreto con 10% de RPET se tiene como tiempo de fragua inicial de 386 minutos y un tiempo de fragua final de 524 minutos; para el concreto con 15% de RPET se tiene como tiempo de fragua inicial de 359 minutos y un tiempo de fragua final de 526 minutos; y para el concreto con 30% de RPET se tiene como tiempo de fragua inicial de 347 minutos y un tiempo de fragua final de 504 minutos.

De lo anterior se puede observar que el tiempo de fragua inicial tiende a tener una ligera disminución cuando se mezcla mayor cantidad de RPET en reemplazo del agregado fino; mientras que el tiempo de fragua final tiende a mantenerse para los ensayos realizados. Esto podría definirse con mayor precisión al hacerse un estudio exhaustivo para los tiempos de fragua en relación al porcentaje de agregado fino reemplazado por escamas de RPET.

5.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

5.3.1. Resistencia a la Compresión Axial

De la tabla N° 67, se genera la Tabla N° 75 que se puede apreciar a continuación, donde se observa la variación porcentual de la resistencia a la compresión axial del concreto referente al porcentaje de RPET reemplazando al agregado fino.

Tabla N° 75 Porcentaje de resistencia a la compresión respecto a mezclas de concreto patrón

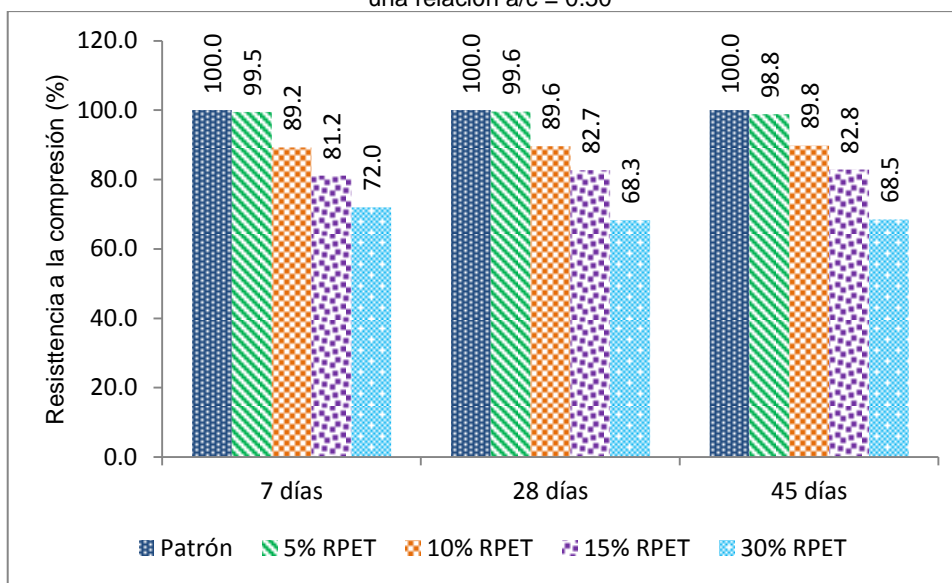
Relación a/c	Mezcla	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)					
		7 días	%	28 días	%	45 días	%
A (0.50)	A – patrón	267.97	100.0	355.72	100.0	373.55	100.0
	A – 5% PET	266.55	99.5	354.31	99.6	369.19	98.8
	A – 10% PET	239.16	89.2	318.79	89.6	335.46	89.8
	A – 15% PET	217.46	81.2	294.11	82.7	309.42	82.8
	A – 30% PET	192.84	72.0	242.86	68.3	255.9	68.5
B (0.60)	B – patrón	232.19	100.0	311.21	100.0	327.57	100.0
	B – 5% PET	180.35	77.7	235.2	75.6	247.54	75.6
	B – 10% PET	167.03	71.9	221.05	71.0	232.9	71.1
	B – 15% PET	150.79	64.9	195.48	62.8	205.41	62.7
	B – 30% PET	131.38	56.6	176.39	56.7	183.7	56.1
C (0.65)	C – patrón	193.84	100.0	247.01	100.0	261.15	100.0
	C – 5% PET	169.69	87.5	230.49	93.3	242.11	92.7
	C – 10% PET	163.37	84.3	209.93	85.0	220.56	84.5
	C – 15% PET	141.8	73.2	185.34	75.0	195.46	74.8
	C – 30% PET	122.75	63.3	166.96	67.6	175.23	67.1
D (0.70)	D – patrón	175.66	100.0	228.98	100.0	241.29	100.0
	D – 5% PET	157.69	89.8	203.77	89.0	214.13	88.7
	D – 10% PET	144.37	82.2	194.62	85.0	204.91	84.9
	D – 15% PET	110.33	62.8	138.17	60.3	145.46	60.3
	D – 30% PET	93.61	53.3	127.82	55.8	134.38	55.7

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.1. Para relación a/c = 0.50

De la tabla N° 75, se deriva la figura N° 20 donde se observa la relación entre la resistencia a la compresión axial del concreto en relación a la variación porcentual respecto al concreto patrón, para las muestras con las distintas proporciones de agregado fino reemplazado por RPET al 5%, 10%, 15% y 30%.

Figura N° 19 Porcentaje de la resistencia a la compresión axial respecto al concreto patrón para una relación a/c = 0.50



(Fuente: Elaboración propia)

Se observa que para una edad de 7 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 0.5% 10.8%, 18.8% y 28.0% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Asimismo, para una edad de 28 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 0.4% 10.4%, 17.3% y 31.7% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

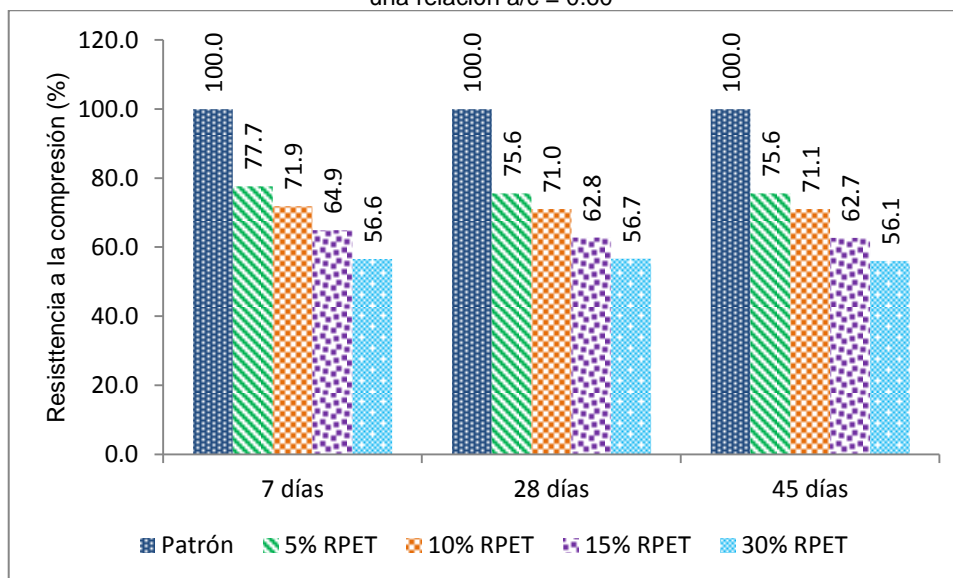
Y por último, para una edad de 45 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 1.2% 10.2%, 17.2% y 31.5% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

5.3.1.2. Para relación a/c = 0.60

De la tabla N° 75, se deriva la figura N° 21 donde se observa la relación entre la resistencia a la compresión axial del concreto en relación a la variación

porcentual respecto al concreto patrón, para las muestras con las distintas proporciones de agregado fino reemplazado por RPET, al 5%, 10%, 15% y 30%.

Figura N° 20 Porcentaje de la resistencia a la compresión axial respecto al concreto patrón – para una relación a/c = 0.60



(Fuente: Elaboración propia)

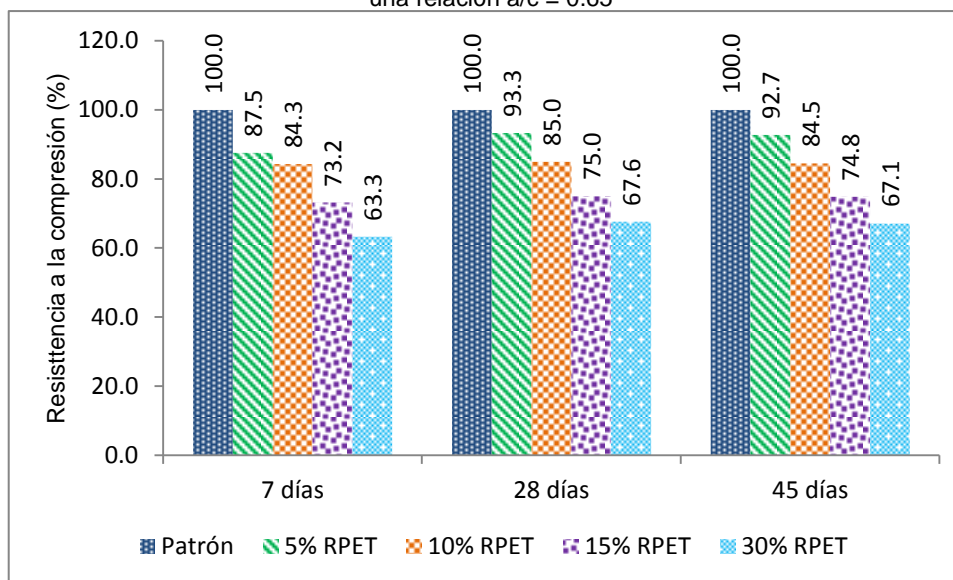
Se observa que para una edad de 7 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 22.3% 28.1%, 35.1% y 43.4% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Asimismo, para una edad de 28 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 24.4% 29.0%, 37.2% y 43.3% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Y por último, para una edad de 45 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 24.4% 28.9%, 37.2% y 43.9% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

5.3.1.3. Para relación a/c = 0.65

De la tabla N° 75, se deriva la figura N° 22 donde se observa la relación entre la resistencia a la compresión axial del concreto en relación a la variación porcentual respecto al concreto patrón, para las muestras con las distintas proporciones de agregado fino reemplazado por RPET, al 5%, 10%, 15% y 30%.

Figura N° 21 Porcentaje de la resistencia a la compresión axial respecto al concreto patrón – para una relación a/c = 0.65

Fuente: Elaboración propia

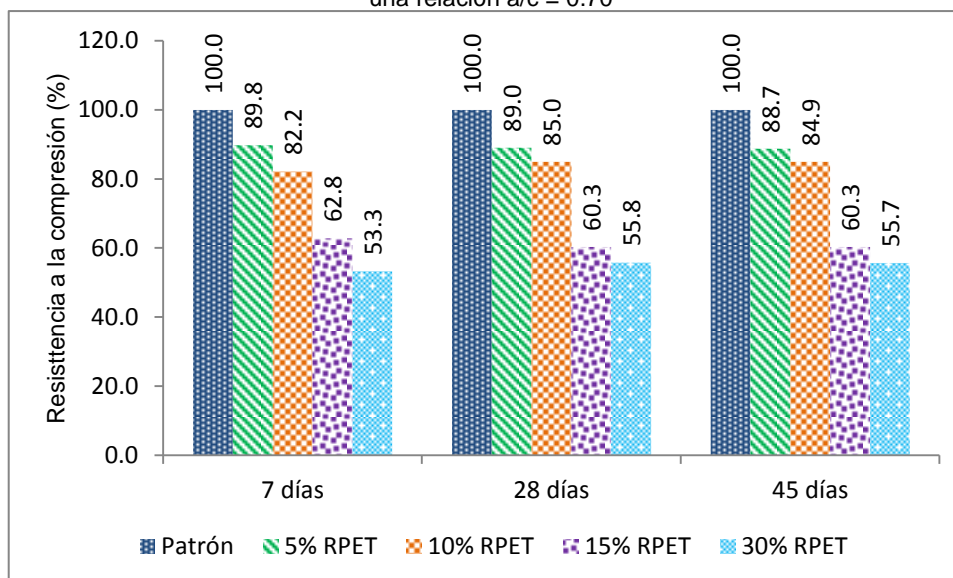
Se observa que para una edad de 7 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 12.5% 15.7%, 26.8% y 36.7% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Asimismo, para una edad de 28 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 6.7% 15.0%, 25.0% y 32.9% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Y por último, para una edad de 45 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 7.3% 15.5%, 25.2% y 32.9% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

5.3.1.4. Para relación a/c = 0.70

De la tabla N° 75, se deriva la figura N° 23 donde se observa la relación entre la resistencia a la compresión axial del concreto en relación a la variación porcentual respecto al concreto patrón, para las muestras con las distintas proporciones de agregado fino reemplazado por RPET, al 5%, 10%, 15% y 30%.

Figura N° 22 Porcentaje de la resistencia a la compresión axial respecto al concreto patrón – para una relación a/c = 0.70

Fuente: Elaboración propia

Se observa que para una edad de 7 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 10.2% 17.8%, 37.2% y 46.7% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Asimismo, para una edad de 28 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 11.0% 15.0%, 25.0% y 32.9% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Y por último, para una edad de 45 días, la resistencia a la compresión axial del concreto se reduce en un 11.3% 15.1%, 39.7% y 44.3% en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Es así que, como se puede observar de los gráficos anteriores, a mayor porcentaje de reemplazo de agregado fino por RPET, la resistencia tiende a disminuir, sin embargo para la relación a/c = 0.50 y un 5% de PET, se obtiene una variación porcentual de 0.5% respecto al diseño patrón, por lo que se podría inferir que para estas condiciones el comportamiento de la resistencia a la compresión axial tiene un carácter de no inferioridad en relación al diseño de mezcla patrón.

5.3.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral

De la tabla N° 69, se genera la Tabla N° 76 que se puede apreciar a continuación, donde se observa la variación porcentual de la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto referente al porcentaje de RPET reemplazando al agregado fino.

Tabla N° 76 Porcentaje de resistencia a la tracción por compresión diametral respecto a mezclas de concreto patrón

<i>Relación a/c</i>	<i>Mezcla</i>	<i>Tp (kg/cm²)</i>	<i>%</i>
A (0.50)	A – patrón	28.54	100.0
	A – 5% RPET	28.36	99.4
	A – 10% RPET	25.43	89.1
	A – 15% RPET	22.44	78.6
	A – 30% RPET	18.36	64.3
B (0.60)	B – patrón	23.75	100.0
	B – 5% RPET	19.77	83.2
	B – 10% RPET	16.45	69.3
	B – 15% RPET	15.21	64.0
	B – 30% RPET	12.29	51.7
C (0.65)	C – patrón	20.84	100.0
	C – 5% RPET	17.31	83.1
	C – 10% RPET	14.74	70.7
	C – 15% RPET	12.8	61.4
	C – 30% RPET	10.89	52.3
D (0.70)	D – patrón	18.42	100.0
	D – 5% RPET	14.34	77.9
	D – 10% RPET	11.67	63.4
	D – 15% RPET	9.92	53.9
	D – 30% RPET	7.16	38.9

Fuente: Elaboración propia

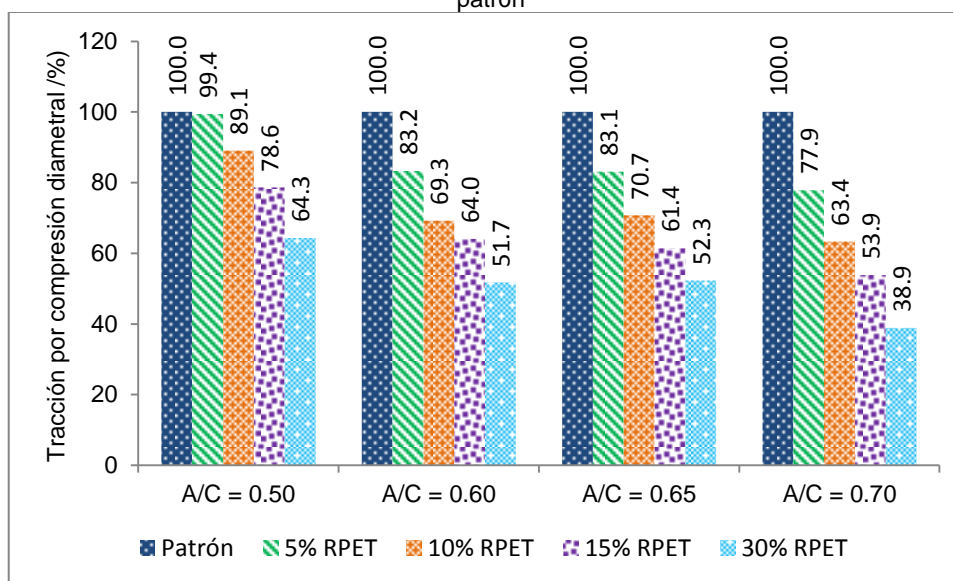
De esta tabla deriva la figura N° 24, donde se observa que para el concreto con relación $a/c = 0.50$, se tiene una disminución del 0.6%, 10.9%, 21.4% y 35.7% de la resistencia a la tracción por compresión diametral en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Mientras que para la relación $a/c = 0.60$, se tiene una disminución del 16.8%, 30.7%, 36.0% y 48.7% de la resistencia a la tracción por compresión diametral en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Así mismo para la relación $a/c = 0.65$, se tiene una disminución del 16.9%, 29.3%, 38.6% y 47.7% de la resistencia a la tracción por compresión diametral en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Y por último para la relación $a/c = 0.70$, se tiene una disminución del 22.1%, 36.6%, 46.1% y 61.1% de la resistencia a la tracción por compresión diametral en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Figura N° 23 Porcentaje de la resistencia la tracción por compresión diametral respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración propia

De lo anteriormente expuesto se infiere que, a mayor porcentaje de reemplazo de agregado fino por PET, la resistencia a la tracción por compresión diametral tiende a disminuir, sin embargo para la relación $a/c = 0.50$ y un 5% de RPET, se obtiene una variación porcentual de 0.6% respecto al diseño patrón, por lo que se podría inferir que para estas condiciones el comportamiento de la resistencia a la compresión axial tiene un carácter de no inferioridad en relación al diseño de mezcla patrón.

5.3.3. Resistencia a la flexión en vigas

De la tabla N° 71, se genera la Tabla N° 77 que se puede apreciar a continuación, donde se observa la variación porcentual de la resistencia a la flexión en vigas de concreto referente al porcentaje de RPET reemplazando al agregado fino.

Tabla N° 77 Porcentaje de resistencia a la tracción por compresión diametral respecto a mezclas de concreto patrón

Relación a/c	Mezcla	Mrp (kg/cm ²)	%
A (0.50)	A – patrón	58.5	100.0
	A – 5% RPET	56.31	96.3
	A – 10% RPET	44.16	75.5
	A – 15% RPET	30.53	52.2
	A – 30% RPET	25.68	43.9
B (0.60)	B – patrón	50.85	100.0
	B – 5% RPET	44.14	86.8
	B – 10% RPET	36.81	72.4
	B – 15% RPET	25.8	50.7
	B – 30% RPET	21.76	42.8
C (0.65)	C – patrón	41.09	100.0
	C – 5% RPET	35.65	86.8
	C – 10% RPET	32.21	78.4
	C – 15% RPET	22.73	55.3
	C – 30% RPET	17.65	43.0
D (0.70)	D – patrón	37.31	100.0
	D – 5% RPET	32.75	87.8
	D – 10% RPET	27.82	74.6
	D – 15% RPET	18.32	49.1
	D – 30% RPET	13.99	37.5

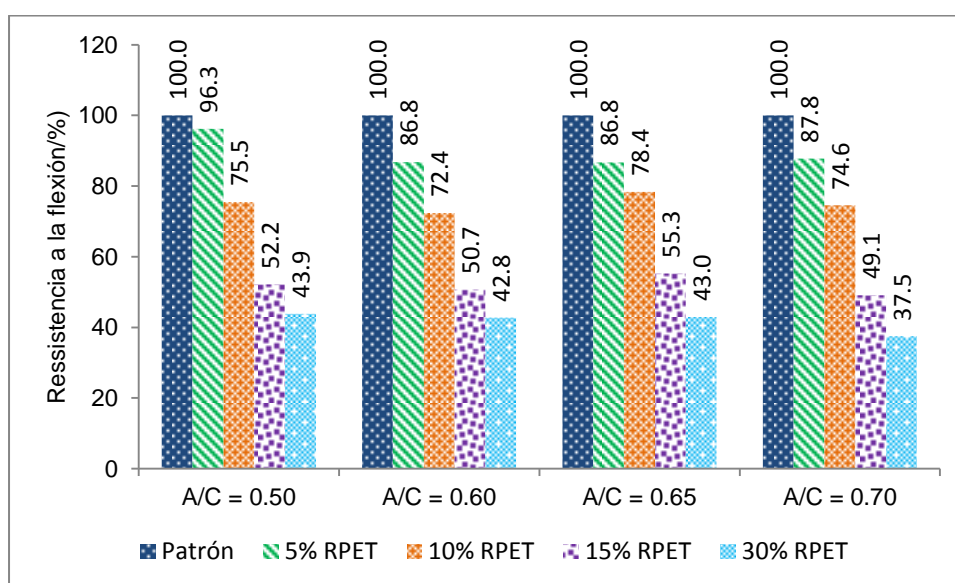
(Fuente: Elaboración propia)

De esta tabla deriva la figura N° 25, donde se observa que para el concreto con relación a/c = 0.50, se tiene una disminución del 3.7%, 24.5%, 47.8% y 56.1% de la resistencia a la flexión en vigas de concreto en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente. Mientras que para la relación a/c = 0.60, se tiene una disminución del 13.2%, 27.6%, 49.3% y 57.2% de la resistencia a la flexión en vigas de concreto en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Así mismo para la relación $a/c = 0.65$, se tiene una disminución del 13.2%, 21.6%, 44.7% y 57.0% de la resistencia a la flexión en vigas de concreto en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Y finalmente para la relación $a/c = 0.70$, se tiene una disminución del 12.2%, 25.4%, 50.9% y 62.5% de la resistencia a la flexión en vigas de concreto en relación al concreto patrón, al reemplazar el agregado fino por RPET al 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.

Figura N° 24 Porcentaje de la resistencia flexión de vigas de concreto respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración propia

De lo anteriormente expuesto se infiere que, a mayor porcentaje de reemplazo de agregado fino por RPET, la resistencia a la flexión tiende a disminuir, a diferencia de la resistencia a la compresión axial y a la resistencia a la tracción por compresión diametral, pese a tener una diferencia en porcentaje del 5% la relación $a/c = 0.50$ y un 5% de RPET, no se podría indicar que para estas condiciones el comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto tiene un carácter de no inferioridad en relación al diseño de mezcla patrón. Por lo que se debería de realizar más ensayos de resistencia a la flexión de vigas, para determinar una relación más certera.

CONCLUSIONES

La presente investigación que consistió principalmente en la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido para un reemplazo del agregado fino del diseño de mezcla por un porcentaje de escamas de RPET (al 5%, 10% 15% y 30% en peso); propiedades que fueron detalladas en los capítulos anteriores de los cuales se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. La consistencia del concreto se ve modificada considerablemente en relación al porcentaje de agregado fino que es reemplazado por escamas de RPET, haciendo que la trabajabilidad del concreto se reduzca, así se tiene que con un reemplazo de 5%, 10, 15% y 30% de agregado fino por PET, se reduce en promedio el slump en un 35%, 85%, 100% y 100% respectivamente.
2. El peso unitario del concreto varía en relación al porcentaje de agregado fino que es reemplazado por escamas de RPET, obteniendo un promedio de reducción de este valor en un 5%, 10%, 18% y 34% para un reemplazo de 5%, 10%, 15% y 30% respectivamente.
3. El contenido de aire en el concreto varía en relación al porcentaje de agregado fino que es reemplazado por escamas de RPET al 5%, 10%, 15%, 30%, es así que esta propiedad incrementa su medida en un promedio de 34%, 170%, 300% y 550% respectivamente. En este punto además se concluye que el PET es el que incorpora la cantidad de aire y eso afecta en el peso unitario del concreto haciendo que este disminuya como se observó en el punto anterior.
4. El tiempo de fragua inicial del concreto tiende a tener una ligera disminución al aumentar la proporción de escamas de RPET en reemplazo del agregado fino. Mientras que para el tiempo de fragua final, tiende a mantenerse para los ensayos realizados.
5. La resistencia a la compresión axial también se ve modificada en relación al porcentaje de agregado fino que es reemplazado por escamas de RPET, es así que se tiene que a mayor porcentaje de RPET se obtiene una disminución

considerable de la resistencia a la compresión; sin embargo para la relación $a/c = 0.50$ y 5 % de RPET, se obtiene una variación porcentual de 0.5% respecto al diseño patrón, por lo que se infiere que para estas condiciones el comportamiento de la resistencia a la compresión axial tiene un carácter de no inferioridad.

6. La resistencia a la tracción por compresión diametral se ve modificada en relación al porcentaje de agregado fino que es reemplazado por escamas de RPET, es así que se tiene que a mayor porcentaje de RPET se obtiene una disminución en la resistencia a la tracción por compresión diametral; sin embargo para la relación $a/c = 0.50$ y 5 % de RPET, se obtiene una variación porcentual de 0.6% respecto al diseño patrón, por lo que se infiere que para estas condiciones el comportamiento de la resistencia a la tracción por compresión diametral tiene un carácter de no inferioridad.

7. La resistencia a la flexión tiende a disminuir en relación al porcentaje de agregado fino que es reemplazado por escamas de RPET. Es así que a mayor porcentaje de reemplazo de agregado fino por RPET, la resistencia a la flexión tiende a disminuir, a diferencia de la resistencia a la compresión axial y a la resistencia a la tracción por compresión diametral, que tiene una diferencia porcentual del 5% para la relación $a/c = 0.50$ y un 5% de RPET en comparación con el concreto patrón, no se puede indicar que para estas condiciones el comportamiento de la resistencia a la flexión de vigas de concreto tiene un carácter de no inferioridad en relación al diseño de mezcla patrón.

8. Se concluye que la hipótesis de esta investigación tiene resultados favorables, pues se demostró que para una relación $a/c = 0.50$ y un porcentaje de 5% de escamas de RPET en reemplazo del agregado fino, se obtuvo una relación de no inferioridad en las propiedades físicas del concreto.

RECOMENDACIONES

1. Teniendo en consideración que para la fabricación de elementos de albañilería en concreto, como los ladrillos adoquines y bloquetas, requieren para su fabricación un slump del cero pulgadas, es así que se recomienda realizar investigaciones en la elaboración de dichos elementos de albañilería considerando los valores obtenidos en la presente investigación para los diseños con una relación agua – cemento de 0.50, 0.60, 0.65 y 0.70, reemplazando el agregado fino por escamas de RPET en una proporción de 15% y 30%.
2. Teniendo en consideración el carácter de no inferioridad para el concreto con una relación a/c = 0.50 y 5% de RPET en reemplazo del agregado fino, para los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción por compresión diametral Se recomienda ahondar el estudio en proporciones inferiores, y variando el tamaño máximo nominal de las escamas de RPET.
3. Se recomienda ahondar los estudios de esta investigación para la elaboración de elementos no estructurales y estructurales, con la implementación del uso de aditivos para mejorar la trabajabilidad.
4. Se recomienda realizar estudios para dosificaciones y diseños de mezcla con el uso de aditivos superplastificantes, a fin de restringir la trabajabilidad reducida que condiciona el uso de RPET.
5. Se recomienda ahondar estudios, usando concreto con RPET en reemplazo del agregado fino, orientado uso de elementos no estructurales tales como sardineles, veredas, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima: San Marcos.
- Alesmar, L., Rendón, N., & Kodory, M. (2008). Diseños de mezcla de Tereftalato de Polietileno (PET) – Cemento. En U. C. Venezuela, *Revista de la Facultad de Ingeniería* (págs. 77-86). Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- ANDINA/Difusión. (13 de Julio de 2016). SNI: Industria se recuperará en 2017 por expectativas del próximo gobierno. Lima, Lima, Perú.
- Arandés, J., Bilbao, J., & López, D. (2004). Reciclado de Residuos Plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 28-45.
- Ávila Córdoba, L. I., Martínez Barrera, G., Barrera Díaz, C. E., Ureña Núñez, F., & Loza Yañez, A. (2015). PET de Desecho y su Uso en Concreto. En G. Martínez Barrera, J. B. Hernández Zaragoza , T. López Lara, & C. Menchaca Campos, *Materiales Sustentables y Reciclados en la Construcción* (págs. 95-122). Barcelona: OmniaScience.
- Ávila Córdoba, L., Martínez Barrera, G., Barrera Díaz, C., Ureña Núñez, F., & Loza Yañez, A. (2013). Effects on Mechanical Properties of Recycled PET in Cement-Based Composites. *International Journal of Polymer Science*, 1-6.
- Baldenebro López, F. J. (2015). *Estudio numérico-experimental de fibras de PET y su comportamiento en una matriz de concreto*. Chihuahua: Centro de Investigación en Materiales Avanzados. S.C.
- Bellis, M. (17 de Abril de 2017). *History of Polyester*. Obtenido de Sitio Web de ThoughtCo: <https://www.thoughtco.com>
- Beltrán Rico, M., & Marcilla Gomis, A. (2012). *Tecnología de Polímeros* (Primera ed.). Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Dumitro, P., & Firas, A. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41(7), 1453-1477.
- El Comercio. (4 de Diciembre de 2014). La COP20 inundará la ciudad de botellas de plástico. Lima, Lima, Perú.
- Elías Castell, X., & Jurado de Gracia, L. (2009). Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración. En X. Elías Castell, *Reciclaje de Residuos*

- Industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora* (págs. 997-1032). España: Diaz de Santos.
- Gamarra Villacorta, R. (2008). *Efectos del perfil del agregado grueso sobre propiedades del concreto de baja resistencia, empleando cemento portland Tipo I*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- García Olivares, A. A. (2006). *Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística Inversa: Estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos*. Eumed.
- Gestión. (10 de Septiembre de 2017). Perú solo recicla el 15% de la basura que genera diariamente. Lima, Lima, Perú.
- Goodship, V. (2007). Reprocessing of Thermoplastcs Recyclates. En *Introducton to Plastcs Recycling* (págs. 45-61). Reino Unido: Smithers Rapra Technology.
- Grupo Pradera. (2009). *Grupo Pradera Ingeniería y Gestión de residuos y Medio Ambiente*. Obtenido de Brochure Grupo Pradera: www.grupopradera.com.pe
- INDECOPI. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.021), 2002*. Lima.
- INDECOPI. (2008). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto) (NTP 339.046), 2008*. Lima.
- INDECOPI. (2009). *HORMIGÓN (CONCRETO) Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland (NTP 339.035), 2009*. Lima.
- INDECOPI. (2009). *HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo (NTP 339.033), 2009*. Lima.
- INDECOPI. (2011). *AGREGADOS. 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*. Lima.
- INDECOPI. (2011). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración (NTP 339.082), 2011*. Lima.

- INDECOPI. (2012). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta cilíndrica (NTP 339.084), 2012.* Lima.
- INDECOPI. (2012). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo (NTP 339.078), 2012.* Lima.
- INDECOPI. (2013). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global (NTP 400.012), 2013.* Lima.
- INDECOPI. (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N° 200) por lavado en agregados (NTP 400.018), 2013.* Lima.
- INDECOPI. (2013). *AGREGADOS. Método del ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (NTP 400.022), 2013.* Lima.
- INDECOPI. (2013). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas (NTP 339.034), 2013.* Lima.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Anuario de Estadísticas Ambientales 2017.* Lima: INEI.
- Marzouk, O., Dheilily, R. M., & Queneudec, M. (2007). Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste Management, 27*, 310-318.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Cifras Ambientales 2017.* Lima: Gráfica Andina Perú S.A.C.
- Montesinos López, A. I. (2014). El discurso de la bioconstrucción arquitectónica: divulgación y legitimación en revistas profesionales. *Cultura, Lenguaje y Representación / Culture, Language and Representation, XIII*, 201-220.
- Morales Carhuayano, M. R. (2016). *Estudio del comportamiento del concreto incorporando RPET.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Muñoz Perez, L. (2012). *Estudio del uso del Polietileno Tereftalato (PET) como material de restitución de suelos de baja capacidad de carga.* México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

- National Ready Mixed Concrete Association. (2009). *What is Crazing*. Obtenido de Sitio Web de NRMCA: <https://www.nrmca.org/>
- Neumann, E. H. (1986). *Thermoplastic polyesters in Encyclopedia of Packaging Technology*. (B. M. Wiley, Ed.) New York.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Petcore Europe. (s.f.). *¿What is PET?* Obtenido de Sitio web de Petcore Europe: www.petcore-europe.org
- Pilati, F., & Toselli, M. (2002). Chemical Recycling. En F. L. Mantia, *Handbook of Plastics Recycling toselli* (págs. 297-310). Shrewsbury: Rapra Technology.
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (14 de Noviembre de 2016). *Reciclando plástico PET en el Perú*. Obtenido de Cambios de Clima PUCP: <http://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/reciclando-plastico-pet-en-el-peru/>
- Rivva López, E. (2007). *Diseño de Mezclas*. Lima: Arte Gráfico.
- Sánchez, J. S. (5 de Abril de 2017). *La industria plástica en el Perú*. Obtenido de www.alertaeconomica.com
- Santiago E., M., Juarez N., M., & Vera M., J. (2011). Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de RPET. *e-Gnosis, IX*(Art. 2.).
- Suasnavas Flores, D. F. (2017). *Degradación de materiales plásticos "PET" (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Torre C., A. (2004). *Curso Básico de Tecnología del Concreto para Ingenieros Civiles*. Lima: Laboratorio de Ensayo de Materiales. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Torre Carrilo, A. V., & Arrieta Freyre, J. (2017). *Ensayos de Materiales de Construcción - Procedimientos* (Vol. I). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Yun Wang, C., Dae Joong, M., Yong Jic, K., & Mohamed, L. (2009). Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. *Construction and Building Materials, 23*(8), 2829-2835.

ANEXOS

- ANEXO A : ENSAYO DE AGREGADOS**
- ANEXO B : DISEÑO DE MEZCLA**
- ANEXO C : PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**
- ANEXO D : PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**
- ANEXO E : PANEL FOTOGRÁFICO**

ANEXO A: ENSAYO DE AGREGADOS**AGREGADO GRUESO:**

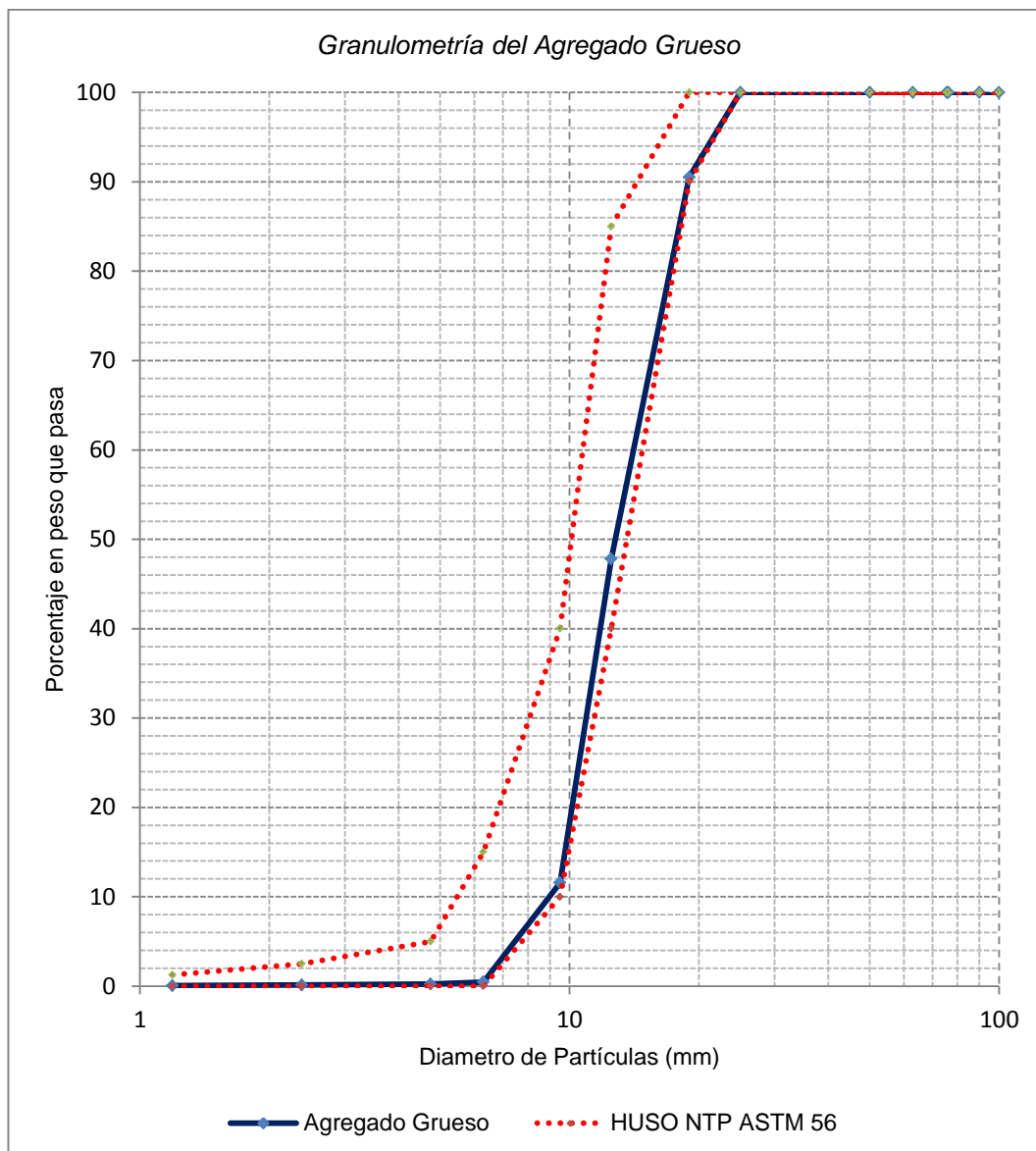
Procedencia: Cantera UNICON – HUACHIPA

1. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Tamiz	Peso Retenido (gr)			% Ret.	% Ret.	%
	M-1	M-2	Promedio	Promedio	Acumulado	Pasa
3"	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	100.00
2 1/2"	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	100.00
2"	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	100.00
1 1/2"	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	100.00
1"	1342.5	1129.0	1235.75	9.5	9.5	90.51
3/4"	5236.5	5891.0	5563.75	42.7	52.2	47.79
1/2"	5012.0	4424.5	4718.25	36.2	88.4	11.57
3/8"	981.5	981.0	981.25	7.5	96.0	4.03
N° 4	345.5	584.0	464.75	3.6	99.5	0.46
Fondo	54.0	67.0	60.50	0.5	100.0	0.00
Total	12972	13076.5	13024.25			

1.1. AGREGADO GRUESO VS HUSO NTP ASTM

Tamiz (pulg)	Abertura (mm)	% Acum. Pasa	% Pasa	
			HUSO ASTM 56	
4"	100.00	100.00	100	100
3½"	90.00	100.00	100	100
3"	76.20	100.00	100	100
2½"	63.00	100.00	100	100
2"	50.00	100.00	100	100
1½"	75.50	100.00	100	100
1"	25.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	90.51	90	100
1/2"	12.50	47.79	40	85
3/8"	9.50	11.57	10	40
1/4"	6.30	0.46	0	15
N°4	4.75	0.23	0	5
N°8	2.38	0.12	0	2.5
N°16	1.19	0.06	0	1.25



1.2. MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{0 + 0 + 9.5 + 88.4 + 99.5 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100}$$

$$MF = 6.97$$

2. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

A = Peso de la muestra secada al horno

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca

C = Peso de la muestra saturada en agua

Descripción	M-1 (g)	M-2 (g)	Promedio (g)
A	5776	5804	5790
B	5797	5823	5810
C	3517	3521	3519

Entonces para le promedio

$$P_{em} = \frac{5790}{(5810 - 3519)} \times 100 = 2.53 \text{ g/cm}^3$$

$$P_{eSSS} = \frac{5810}{(5810 - 3519)} \times 100 = 2.54 \text{ g/cm}^3$$

$$P_{ea} = \frac{5790}{5790 - 3519} \times 100 = 2.55 \text{ g/cm}^3$$

Propiedad	Agregado grueso
Peso específico de masa	2.53 g/cm ³
Peso específico superficialmente seco	2.54 g/cm ³
Peso específico aparente	2.55 g/cm ³

$$\% \text{ Abs} = \frac{5810 - 5790}{5790} \times 100 = 0.35$$

Material	% Abs
Agregado Grueso	0.35

3. PESO UNITARIO

3.1. Peso Unitario Suelto

Se realiza dos veces el muestre para un recipiente de capacidad 0.009 m³

Descripción	Muestra 1 (Kg)	Muestra 2 (Kg)	Promedio (Kg)
Peso Ag. Suelto (Kg)	13.05	12.89	12.97

Entonces para el promedio:

Peso del agregado suelto $W_s = 12.97 \text{ kg}$

Volumen del reciente $V_R = 0.009$

$$PU_s = \frac{12.97}{0.009} = 1374.09 \text{ kg/m}^3$$

Material	PU_s (Kg/m ³)
Agregado Grueso	1374.1

3.2. Peso Unitario Compactado

Se realiza dos veces el muestre para un recipiente de capacidad 0.009 m³

Descripción	Muestra 1 (Kg)	Muestra 2 (Kg)	Promedio (Kg)
Peso del agregado Compactado (Kg)	14.01	14.47	14.2

Entonces para el promedio:

$$\text{Peso del agregado compacta} \quad W_C = 14.24 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen del reciente} \quad V_R = 0.009$$

$$PU_C = \frac{14.24}{.009} = 1508.64 \text{ kg/m}^3$$

La tabla N° 14 muestra el valor del peso unitario compactado para el agregado grueso:

Material	PU_C (Kg/m ³)
Agregado Grueso	1508.64

4. CONTENIDO DE HUMEDAD

Se tiene que:

$CH_p\%$ = Porcentaje de humedad

W_h = peso del agregado en estado húmedo.

W_s = peso del agregado en estado seco.

$$CH_p\% = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Se hace el muestreo

Descripción	Wh (Kg)	Ws (Kg)	CHp %	CHp % Promedio
Muestra 1	14.97	14.93	0.268	0.27
Muestra 2	15.01	14.97	0.267	

Material	CHp%
Agregado Grueso	0.27

AGREGADO FINO:

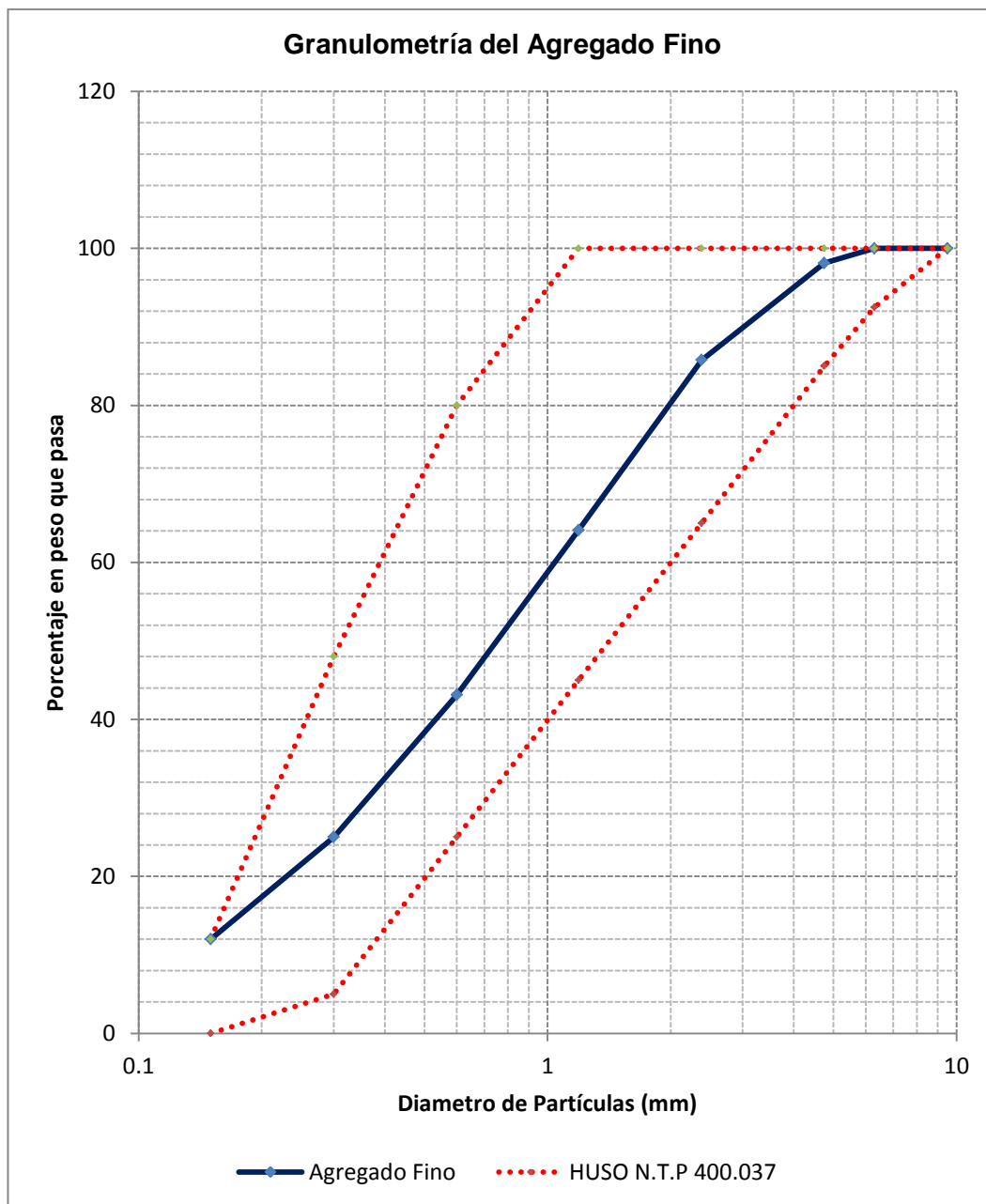
Procedencia: Cantera Trapiche

1. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Tamiz	Peso Ret. (g)			% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa
	M-1	M-2	Promedio			
3/8"	0	0.0	0.00	0.0	0.0	100.00
N° 4	10.5	14.5	12.50	1.9	1.9	98.12
N° 8	73	91.5	82.25	12.3	14.2	85.78
N° 16	135.5	153.5	144.50	21.7	35.9	64.09
N° 30	137	142.5	139.75	21.0	56.9	43.12
N° 50	118.5	123.0	120.75	18.1	75.0	25.00
N° 100	79.5	94.0	86.75	13.0	88.0	11.98
Fondo	81	78.6	79.80	12.0	100.0	0.00
Total	635	697.6	666.3			

1.1. AGREGADO FINO VS NTP 400.037

Tamiz (pulg)	Abertura (mm)	% Acum. Pasa	% Pasa	
			N.T.P 400.037	
3/8"	9.5	100.00	100	100
1/4"	6.3	100.00	92.5	100
N°4	4.75	98.12	85	100
N°8	2.38	85.78	65	100
N°16	1.19	64.09	45	100
N° 30	0.6	43.12	25	80
N° 50	0.3	25.00	5	48
N° 100	0.15	11.98	0	12



1.2. MÓDULO DE FINURA

$$MF = \frac{0 + 1.9 + 14.2 + 35.9 + 56.9 + 75 + 88}{100}$$

$$MF = 2.72$$

2. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

A = Peso de la arena secada al horno

V = Volumen del balón

W = Peso del agua

Descripción	M-1 (g)	M-2 (g)	Promedio (g)
A (g)	493	489	491
V (cm ³)	500	500	500
W (g)	301.5	299.5	300.5

Entonces para el promedio

$$P_{em} = \frac{491}{(500 - 300.5)} = 2.461 \text{ g/cm}^3$$

$$P_{eSSS} = \frac{500}{(500 - 300.5)} \times 100 = 2.506 \text{ g/cm}^3$$

$$P_{ea} = \frac{491}{500 - 300.5 - (500 - 491)} = 2.577 \text{ g/cm}^3$$

Propiedad	Agregado fino
Peso específico de masa	2.46 g/cm ³
Peso específico superficialmente seco	2.51 g/cm ³
Peso específico aparente	2.58 g/cm ³

$$\% \text{ Abs} = \frac{500 - 491}{491} \times 100$$

Material	% Abs
Agregado Fino	1.83 %

3. PESO UNITARIO

3.1. Peso Unitario Suelto

Se realiza dos veces el muestre para un recipiente de capacidad 0.003 m³

Descripción	Muestra 1 (Kg)	Muestra 2 (Kg)	Promedio (Kg)
Peso Ag. Suelto (Kg)	4.67	4.41	4.54

Entonces para el promedio:

Peso del agregado suelto $W_s = 4.54 \text{ kg}$

Volumen del recipiente $V_R = 0.003 \text{ m}^3$

$$PU_s = \frac{4.54}{0.003} = 1572.91 \text{ kg/m}^3$$

Material	$PU_s \text{ (Kg/m}^3\text{)}$
Agregado Fino	1572.9

3.2. Peso Unitario Compactado

Se realiza dos veces el muestre para un recipiente de capacidad 0.09 m^3

Descripción	Muestra 1 (Kg)	Muestra 2 (Kg)	Promedio (Kg)
Peso del Agregado Compactado (Kg)	4.85	4.95	4.90

Entonces para el promedio:

Peso del agregado compactado $W_C = 4.90 \text{ kg}$

Volumen del recipiente $V_R = 0.003$

$$PU_C = \frac{4.901}{0.003} = 1730.76 \text{ kg/m}^3$$

La tabla N° 14 muestra el valor del peso unitario compactado para el agregado grueso:

Material	$PU_C \text{ (Kg/m}^3\text{)}$
Agregado Fino	1730.76

4. CONTENIDO DE HUMEDAD

Se tiene que:

$CH_p\% = \text{Porcentaje de humedad}$

W_h = peso del agregado en estado húmedo.

W_s = peso del agregado en estado seco.

$$CH_p \% = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Se hace el muestreo

Descripción	Wh (Kg)	Ws (Kg)	CHp %	CHp % Promedio
Muestra 1	0.904	0.896	0.893	0.89
Muestra 2	0.917	0.909	0.880	

Material	CHp%
Agregado Grueso	0.89

RPET:

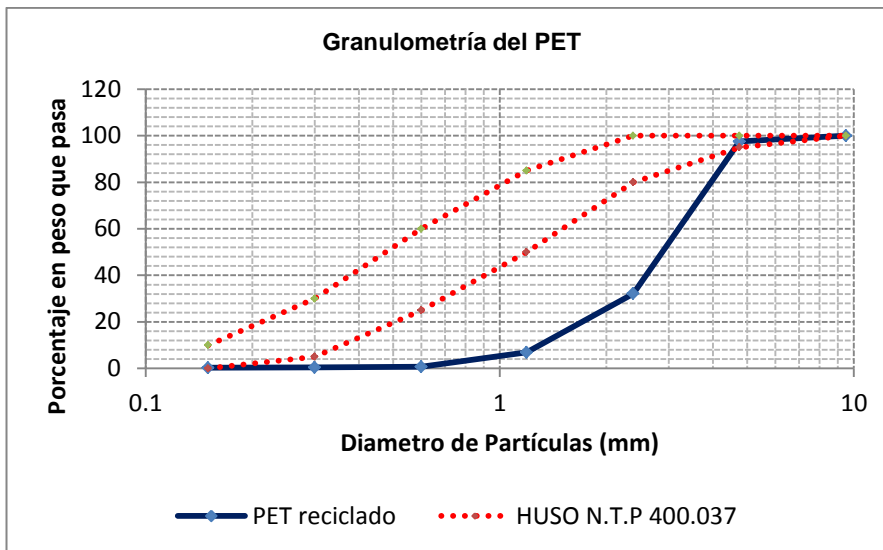
Procedencia: Empresa GRUPO PRADERA S.A.C.

1. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Tamiz ASTM	Peso Retenido	(%) Retenido	(%) Ret. Acumulado	(%) Que Pasa
3/8"	0.00	0.0	0.0	100.0
1/4"	0.00	0.0	0.0	100.0
N°4	12.50	2.5	2.5	97.5
N°8	327.00	65.4	67.9	32.1
N°16	126.10	25.2	93.1	6.9
N°30	30.90	6.2	99.3	0.7
N°50	1.30	0.3	99.6	0.4
N°100	0.70	0.1	99.7	0.3
FONDO	1.50	0.3	100.0	0.0
SUMA	500.00	100.0		

2. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL PET

Se hace la comparación con los límites del HUSO ASTM 86

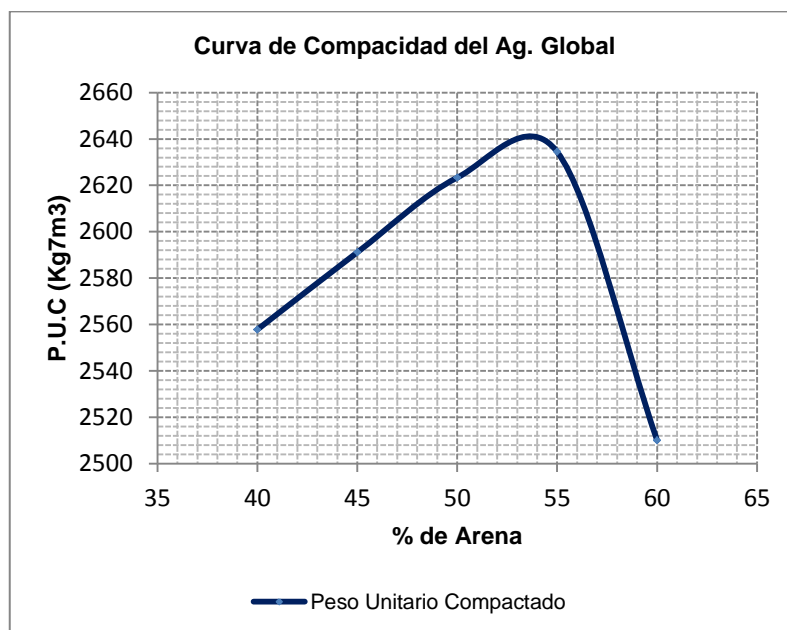


AGREGADO GLOBAL:

1. COMPACIDAD DEL AGREGADO GLOBAL

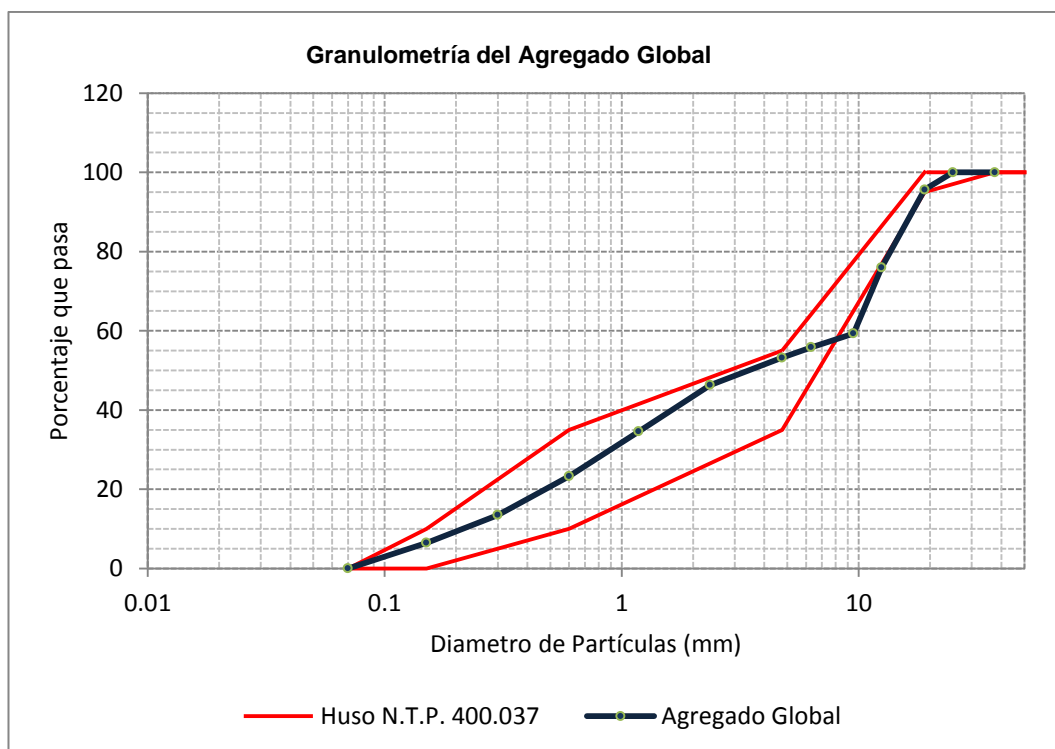
Volumen de recipiente de $1/3 \text{ pie}^3 = 0.00943 \text{ m}^3$

% AF	% AG	Peso Muestra (Kg)	PUC (Kg/m3)
40	60	23.02	2557.78
45	55	23.32	2591.11
50	50	23.61	2623.33
55	45	23.71	2634.44
60	40	22.59	2510



Con los resultados se halla el cuadro del agregado global

Tamiz Malla N°	% Retenido Piedra	46% de Pieda	% Retenido Arena	54% de Arena	Agregado Global		
					% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/4"	9.5	5.1	0.00	0.00	5.12	5.12	94.88
1/2"	42.7	23.1	0.00	0.00	23.07	28.19	71.81
3/8"	36.2	19.6	0.00	0.00	19.56	47.75	52.25
1/4"	7.5	4.1	0.00	0.00	4.07	51.82	48.18
N°4	3.6	1.9	1.88	0.86	2.79	54.61	45.39
N°8	0.5	0.3	12.34	5.68	5.93	60.54	39.46
N°16	0.0	0.0	21.69	9.98	9.98	70.52	29.48
N°30	0.0	0.0	20.97	9.65	9.65	80.17	19.83
N°50	0.0	0.0	18.12	8.34	8.34	88.50	11.50
N°100	0.0	0.0	13.02	5.99	5.99	94.49	5.51
FONDO	0.0	0.0	11.98	5.51	5.51	100.00	0.00
SUMA	100.0	54.0	100	46.00	100	Modulo Fineza	5.02



ANEXO B: DISEÑO DE MEZCLA

Del ANEXO A se puede, se puede resumir el siguiente cuadro de las propiedades de los agregados

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1572.9	1379.1
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.8	1508.6
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

1. CONCRETO RELACIÓN a/c = 0.50**1.1. Concreto Patrón**

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>	<i>Cemento Sol TIPO I</i>			
Módulo de finura	-	2.72	6.97	Peso Específico (Kg/m ³) 3150			
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"	Aire			
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"	Aire Atrapado (%) 1.5			
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54	A/C 0.50			
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35	Agua (lt) 270			
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1572.91	1379.09	Asentamiento 3" - 4"			
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64	% PET 0			
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267				
Proporción	%	54	46				

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg)</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540	3150	0.171	540	1	42.5	32.19
Agua	270.00	1000	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.272	674.88	1.25	53.12	40.24
Piedra	687.00	2527.72	0.272	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.5	-	0.015	-	-	-	-

1.2. Concreto con 5% PET

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>	<i>Cemento Sol TIPO I</i>	
Módulo de finura	-	2.72	6.97	Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"	<i>Aire</i>	
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"	Aire Atrapado (%)	1.5
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54	<i>A/C</i>	
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35	A/C	0.50
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09	Agua (lt)	270
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64	Asentamiento	3" - 4"
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267	% PET	5
Proporción	%	54	46		

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 5% PET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540.00	3150.00	0.17	540.00	1.00	42.50	32.19
Agua	270.00	1000.00	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.27	641.13	1.19	50.46	38.22
Piedra	687.00	2527.72	0.27	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	33.74	0.06	2.66	2.01

1.3. Concreto con 10% PET

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>	<i>Cemento Sol TIPO I</i>	
Módulo de finura	-	2.72	6.97	Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"	<i>Aire</i>	
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"	Aire Atrapado (%)	1.5
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54	<i>A/C</i>	
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35	A/C	0.50
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09	Agua (lt)	270
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64	Asentamiento	3" - 4"
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267	% PET	10
Proporción	%	54	46		

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 5% PET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540.00	3150.00	0.17	540.00	1.00	42.50	32.19
Agua	270.00	1000.00	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.27	607.39	1.12	47.80	36.21
Piedra	687.00	2527.72	0.27	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	67.49	0.12	5.31	4.02

1.4. Concreto con 15% PET

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	Nº 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

<i>Cemento Sol TIPO I</i>	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Aire	
Aire Atrapado (%)	1.5
A/C	0.50
Agua (lt)	270
Asentamiento	3" - 4"
% PET	15

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 5% PET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540.00	3150.00	0.17	540.00	1.00	42.50	32.19
Agua	270.00	1000.00	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.27	573.65	1.06	45.15	34.20
Piedra	687.00	2527.72	0.27	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	101.23	0.19	7.97	6.04

1.5. Concreto con 30 % PET

<i>Propiedad física</i>				<i>Cemento Sol TIPO I</i>			
<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>				
Módulo de finura	-	2.72	6.97	Peso Específico (Kg/m³) 3150			
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"	<i>Aire</i>			
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"	Aire Atrapado (%) 1.5			
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54	<i>A/C</i> 0.50			
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35	Agua (lt) 270			
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09	Asentamiento 3" - 4"			
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64	% PET 30			
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267				
Proporción	%	54	46				

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 5% PET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	540.00	3150.00	0.17	540.00	1.00	42.50	32.19
Agua	270.00	1000.00	0.27	276.83	0.51	21.79	16.50
Arena	668.91	2461.15	0.27	472.41	0.87	37.18	28.16
Piedra	687.00	2527.72	0.27	688.83	1.28	54.21	41.07
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	202.46	0.37	15.93	12.07

2. CONCRETO RELACIÓN a/c = 0.60

2.1. Concreto Patrón

<i>Propiedad física</i>				<i>Cemento Sol TIPO I</i>			
<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>				
Módulo de finura	-	2.72	6.97	Peso Específico (Kg/m³) 3150			
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"	<i>Aire</i>			
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"	Aire Atrapado (%) 1.5			
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54	<i>A/C</i> 0.60			
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35	Agua (lt) 260			
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09	Asentamiento 3" - 4"			
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64	% PET 0			
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267				
Proporción	%	54	46				

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg)	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	729.34	1.68	71.53	43.60
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.5	-	0.015	-	-	-	-

2.2. Concreto con 5% PET

Propiedad física	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

Cemento Sol TIPO I	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Aire	
Aire Atrapado (%)	1.5
A/C	0.60
Agua (lt)	260
Asentamiento	3" - 4"
% PET	5

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	692.87	1.60	67.95	41.42
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	36.47	0.08	3.58	2.18

2.3. Concreto con 10% PET

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

<i>Cemento Sol TIPO I</i>	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
<i>Aire</i>	
Aire Atrapado (%)	1.5
<i>A/C</i>	0.60
Agua (lt)	260
Asentamiento	3" - 4"
% PET	10

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 5% PET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	656.40	1.51	64.38	39.24
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	72.93	0.17	7.15	4.36

2.4. Concreto con 15% PET

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

<i>Cemento Sol TIPO I</i>	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
<i>Aire</i>	
Aire Atrapado (%)	1.5
<i>A/C</i>	0.60
Agua (lt)	260
Asentamiento	3" - 4"
% PET	15

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	619.94	1.43	60.80	37.06
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	109.40	0.25	10.73	6.54

2.5. Concreto con 30 % PET

Propiedad física	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	Nº 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

Cemento Sol TIPO I	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Aire	
Aire Atrapado (%)	1.5
A/C	0.60
Agua (lt)	260
Asentamiento	3" - 4"
% PET	30

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	433.33	3150.00	0.14	433.33	1.00	42.50	25.91
Agua	260.00	1000.00	0.26	267.38	0.62	26.22	15.99
Arena	722.88	2461.15	0.29	510.54	1.18	50.07	30.52
Piedra	742.43	2527.72	0.29	744.42	1.72	73.01	44.50
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	218.80	0.50	21.46	13.08

3. CONCRETO RELACIÓN a/c = 0.65

3.1. Concreto Patrón

Propiedad física	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	Nº 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

Cemento Sol TIPO I	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Aire	
Aire Atrapado (%)	1.5
A/C	0.65
Agua (lt)	255
Asentamiento	3" - 4"
% PET	0

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg)	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	751.71	1.92	81.44	44.95
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.5	-	0.015	-	-	-	-

3.2. Concreto con 5% PET

Propiedad física	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	Nº 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

Cemento Sol TIPO I	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Aire	
Aire Atrapado (%)	1.5
A/C	0.65
Agua (lt)	255
Asentamiento	3" - 4"
% PET	5

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	714.13	1.82	77.36	42.71
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	37.59	0.10	4.07	2.25

3.3. Concreto con 10% PET

Propiedad física	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	Nº 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

Cemento Sol TIPO I	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Aire	
Aire Atrapado (%)	1.5
A/C	
A/C	0.65
Agua (lt)	
Agua (lt)	255
Asentamiento	
Asentamiento	3" - 4"
% PET	
% PET	10

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	676.54	1.72	73.29	40.46
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	75.17	0.19	8.14	4.50

3.4. Concreto con 15% PET

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	676.54	1.72	73.29	40.46
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	75.17	0.19	8.14	4.50

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	638.96	1.63	69.22	38.21
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	112.76	0.29	12.22	6.74

3.5. Concreto con 30 % PET

Propiedad física	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	Nº 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

Cemento Sol TIPO I	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Aire	
Aire Atrapado (%)	1.5
A/C	0.65
Agua (lt)	255
Asentamiento	3" - 4"
% PET	30

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	392.31	3150.00	0.12	392.31	1.00	42.50	23.46
Agua	255.00	1000.00	0.26	262.60	0.67	28.45	15.70
Arena	745.06	2461.15	0.30	526.20	1.34	57.01	31.47
Piedra	765.21	2527.72	0.30	767.26	1.96	83.12	45.88
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	225.51	0.57	24.43	13.49

4. CONCRETO RELACIÓN a/c = 0.70

4.1. Concreto Patrón

Propiedad física	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

Cemento Sol TIPO I	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Aire	
Aire Atrapado (%)	1.5
A/C	0.70
Agua (lt)	245
Asentamiento	3" - 4"
% PET	0

Materiales	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg)	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	780.81	2.23	94.81	46.55
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.5	-	0.015	-	-	-	-

4.2. Concreto con 5% PET

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>	<i>Cemento Sol TIPO I</i>	
Módulo de finura	-	2.72	6.97	Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"	<i>Aire</i>	
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"	Aire Atrapado (%)	1.5
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54	<i>A/C</i>	
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35	A/C	0.70
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09	Agua (lt)	245
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64	Asentamiento	3" - 4"
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267	% PET	5
Proporción	%	54	46		

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 5% PET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	741.77	2.12	90.07	44.22
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	39.04	0.11	4.74	2.33

4.3. Concreto con 10% PET

<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>	<i>Cemento Sol TIPO I</i>	
Módulo de finura	-	2.72	6.97	Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"	<i>Aire</i>	
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"	Aire Atrapado (%)	1.5
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54	<i>A/C</i>	
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35	A/C	0.70
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09	Agua (lt)	245
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64	Asentamiento	3" - 4"
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267	% PET	10
Proporción	%	54	46		

Material	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	702.73	2.01	85.33	41.89
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	78.08	0.22	9.48	4.65

4.4. Concreto con 15% PET

Propiedad física	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso
Módulo de finura	-	2.72	6.97
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	Nº 4	¾"
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267
Proporción	%	54	46

Cemento Sol TIPO I	
Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Aire	
Aire Atrapado (%)	1.5
A/C	0.70
Agua (lt)	245
Asentamiento	3" - 4"
% PET	15

Material	Peso Seco (kg)	Peso Espec. (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Peso en obra (kg) 5% PET	Peso unitario en obra	P.U.O. x 42.5kg	Tanda de prueba
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	663.68	1.90	80.59	39.57
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	117.12	0.33	14.22	6.98

4.5. Concreto con 30 % PET

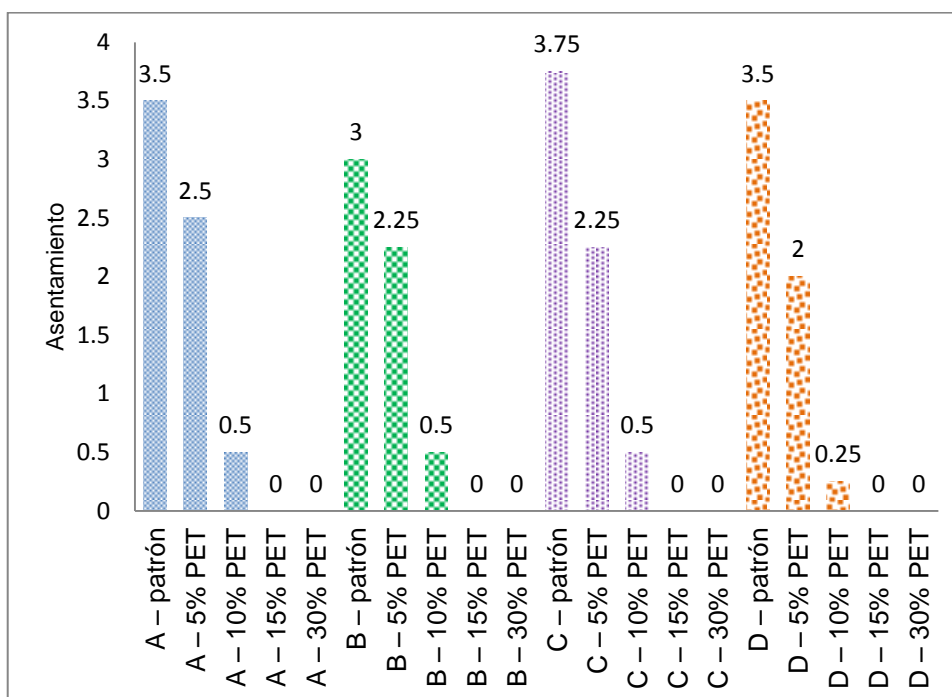
<i>Propiedad física</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ag. Fino</i>	<i>Ag. Grueso</i>	<i>Cemento Sol TIPO I</i>	
Módulo de finura	-	2.72	6.97	Peso Específico (Kg/m ³)	3150
Tamaño Máximo	pulg.	¼"	1"	<i>Aire</i>	
Tamaño Máximo Nominal	pulg.	N° 4	¾"	Aire Atrapado (%)	1.5
Peso Específico	gr/cm ³	2.46	2.54	A/C	0.70
Porcentaje de Absorción	%	1.83	0.35	Agua (lt)	245
Peso Unitario Suelo	kg/m ³	1572.91	1379.09	Asentamiento	3" - 4"
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1730.76	1508.64	% PET	30
Contenido de Humedad	%	0.893	0.267		
Proporción	%	54	46		

<i>Materiales</i>	<i>Peso Seco (kg)</i>	<i>Peso Espec. (kg/m³)</i>	<i>Volumen Absoluto (m³)</i>	<i>Peso en obra (kg) 5% PET</i>	<i>Peso unitario en obra</i>	<i>P.U.O. x 42.5kg</i>	<i>Tanda de prueba</i>
Cemento	350.00	3150.00	0.11	350.00	1.00	42.50	20.87
Agua	245.00	1000.00	0.25	252.90	0.72	30.71	15.08
Arena	773.90	2461.15	0.31	546.56	1.56	66.37	32.58
Piedra	794.83	2527.72	0.31	796.95	2.28	96.77	47.51
Aire %	1.50	-	0.015	-	-	-	-
PET	-	-	-	234.24	0.67	28.44	13.96

ANEXO C: PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

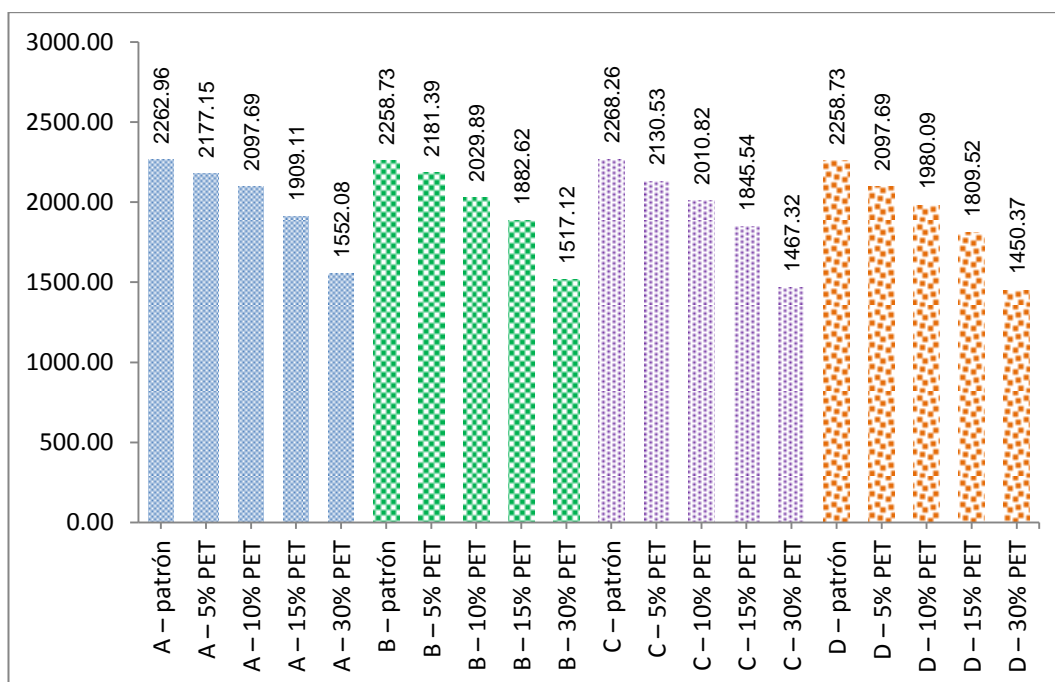
1. ENSAYO DE CONSISTENCIA

Relación a/c	Mezcla	Slump (Pulg)
A (0.50)	A – patrón	3 ½"
	A – 5% PET	2 ½"
	A – 10% PET	½"
	A – 15% PET	0
	A – 30% PET	0
B (0.60)	B – patrón	3"
	B – 5% PET	2" ¼"
	B – 10% PET	½"
	B – 15% PET	0
	B – 30% PET	0
C (0.65)	C – patrón	3 ¾"
	C – 5% PET	2 ¼"
	C – 10% PET	½"
	C – 15% PET	0
	C – 30% PET	0
D (0.70)	D – patrón	3 ½"
	D – 5% PET	2"
	D – 10% PET	¼"
	D – 15% PET	0
	D – 30% PET	0



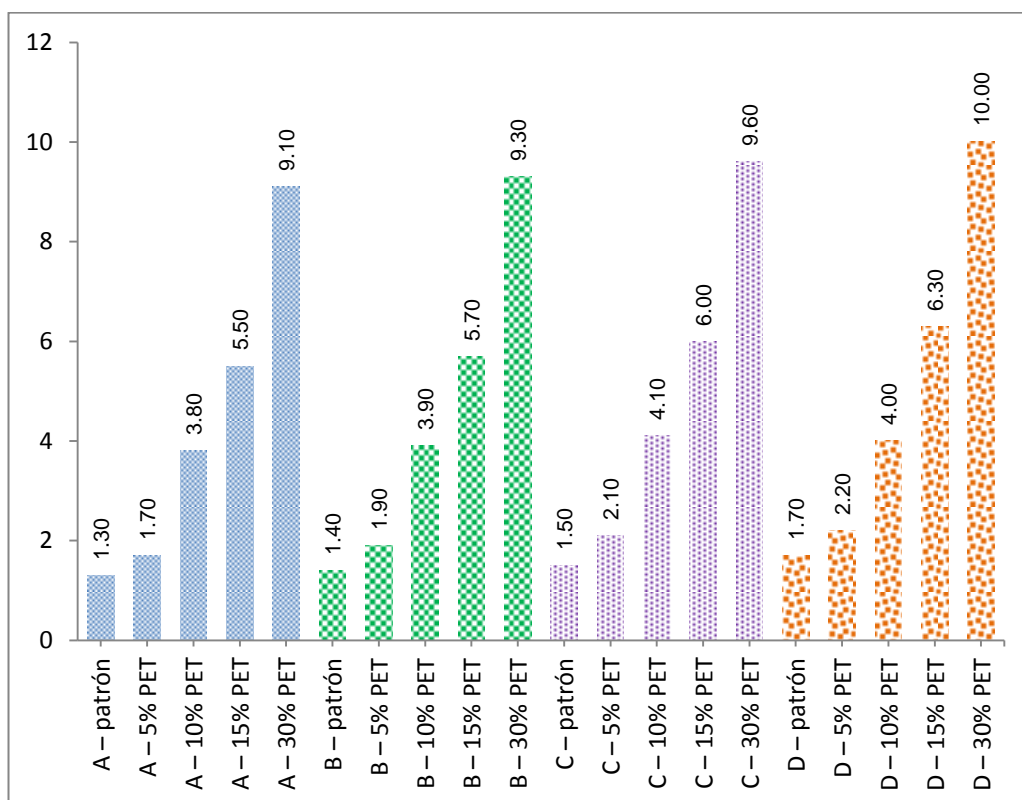
2. PESO UNITARIO COMPACTADO DEL CONCRETO FRESCO

Relación A/C	Mezcla	Peso concr. + recipiente (kg)	Peso Recipiente (kg)	Peso concreto (Kg)	Volumen Recipiente (m3)	Peso Unitario (Kg/m3)
A (0.50)	A – patrón	26.23	4.87	21.36	0.0094	2262.96
	A – 5% PET	25.42	4.87	20.55	0.0094	2177.15
	A – 10% PET	24.67	4.87	19.80	0.0094	2097.69
	A – 15% PET	22.89	4.87	18.02	0.0094	1909.11
	A – 30% PET	19.52	4.87	14.65	0.0094	1552.08
B (0.60)	B – patrón	26.19	4.87	21.32	0.0094	2258.73
	B – 5% PET	25.46	4.87	20.59	0.0094	2181.39
	B – 10% PET	24.03	4.87	19.16	0.0094	2029.89
	B – 15% PET	22.64	4.87	17.77	0.0094	1882.62
	B – 30% PET	19.19	4.87	14.32	0.0094	1517.12
C (0.65)	C – patrón	26.28	4.87	21.41	0.0094	2268.26
	C – 5% PET	24.98	4.87	20.11	0.0094	2130.53
	C – 10% PET	23.85	4.87	18.98	0.0094	2010.82
	C – 15% PET	22.29	4.87	17.42	0.0094	1845.54
	C – 30% PET	18.72	4.87	13.85	0.0094	1467.32
D (0.70)	D – patrón	26.19	4.87	21.32	0.0094	2258.73
	D – 5% PET	24.67	4.87	19.80	0.0094	2097.69
	D – 10% PET	23.56	4.87	18.69	0.0094	1980.09
	D – 15% PET	21.95	4.87	17.08	0.0094	1809.52
	D – 30% PET	18.56	4.87	13.69	0.0094	1450.37



3. CONTENIDO DE AIRE

Relación a/c	Mezcla	Contenido de Aire
A (0.50)	A – patrón	1.3
	A – 5% PET	1.7
	A – 10% PET	3.8
	A – 15% PET	5.5
	A – 30% PET	9.1
B (0.60)	B – patrón	1.4
	B – 5% PET	1.9
	B – 10% PET	3.9
	B – 15% PET	5.7
	B – 30% PET	9.3
C (0.65)	C – patrón	1.5
	C – 5% PET	2.1
	C – 10% PET	4.1
	C – 15% PET	6
	C – 30% PET	9.6
D (0.70)	D – patrón	1.7
	D – 5% PET	2.2
	D – 10% PET	4
	D – 15% PET	6.3
	D – 30% PET	10

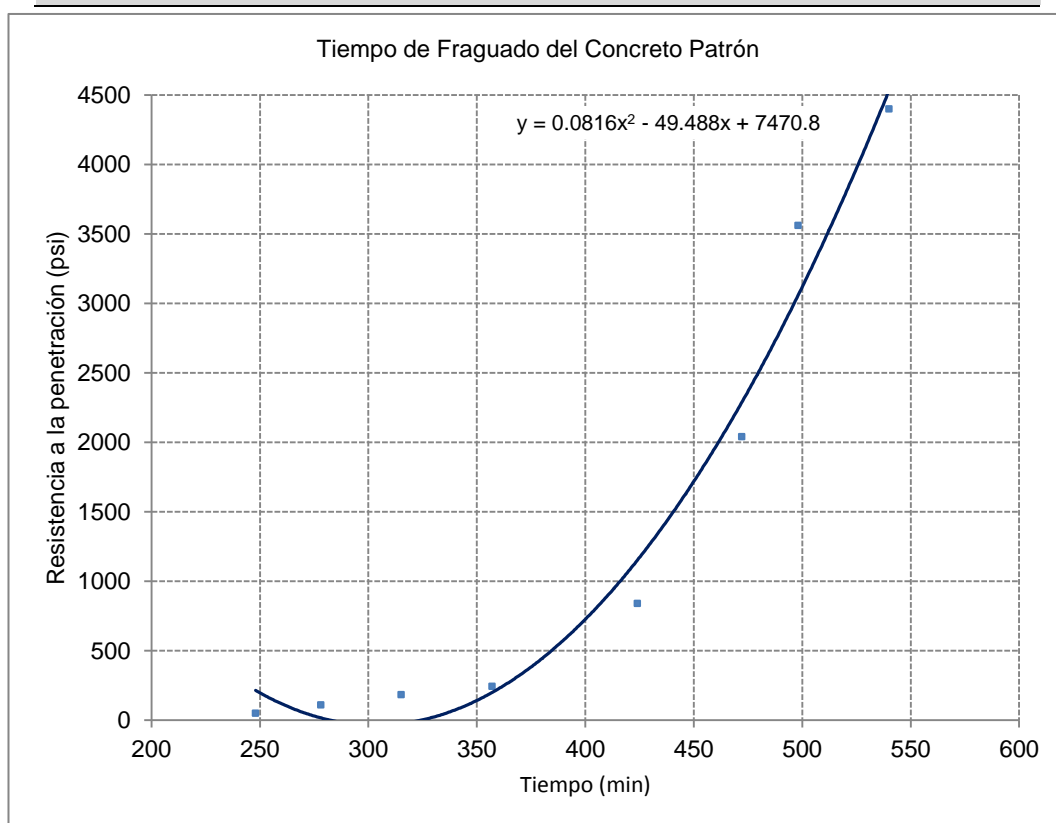


4. TIEMPO DE FRAGUA

Se realizó el ensayo del tiempo de fragua para la relación a/c = 0.50 en sus distintas proporciones de RPET incorporado, al 5%, 10%, 15% y 30%

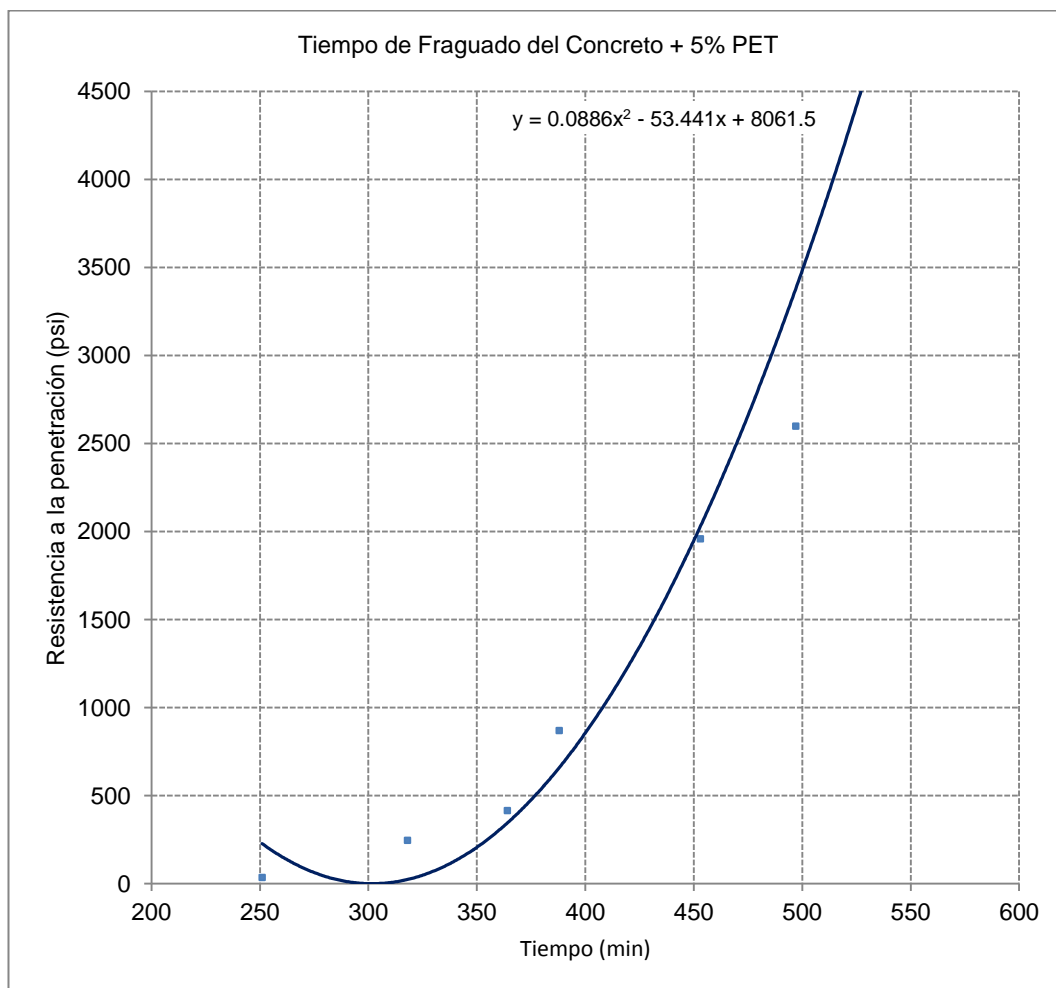
4.1. Tiempo de Fragua del concreto fresco con relación a/c = 0.50 con 0% de RPET incorporado – Diseño Patrón

Hora	Tiempo (hora)	Tiempo Acumulado (min)	Fuerza (lb)	Aguja	Área Aguja (pulg.2)	Resistencia a la penetración	
						lb/pulg2	Kg/cm2
08:30	00:00	0	0	-	-	0	0.00
09:05	00:35	35	0	-	-	0	0.00
11:35	02:30	185	0	1	1	0	0.00
12:38	01:03	248	50	1	1	50	3.52
13:08	00:30	278	55	2	0.5	110	7.73
13:45	00:37	315	46	3	0.25	184	12.94
14:27	00:42	357	61	3	0.25	244	17.15
15:34	01:07	424	84	4	0.1	840	59.06
16:22	00:48	472	102	5	0.05	2040	143.43
16:48	00:26	498	89	6	0.025	3560	250.29
17:30	00:42	540	110	6	0.025	4400	309.35



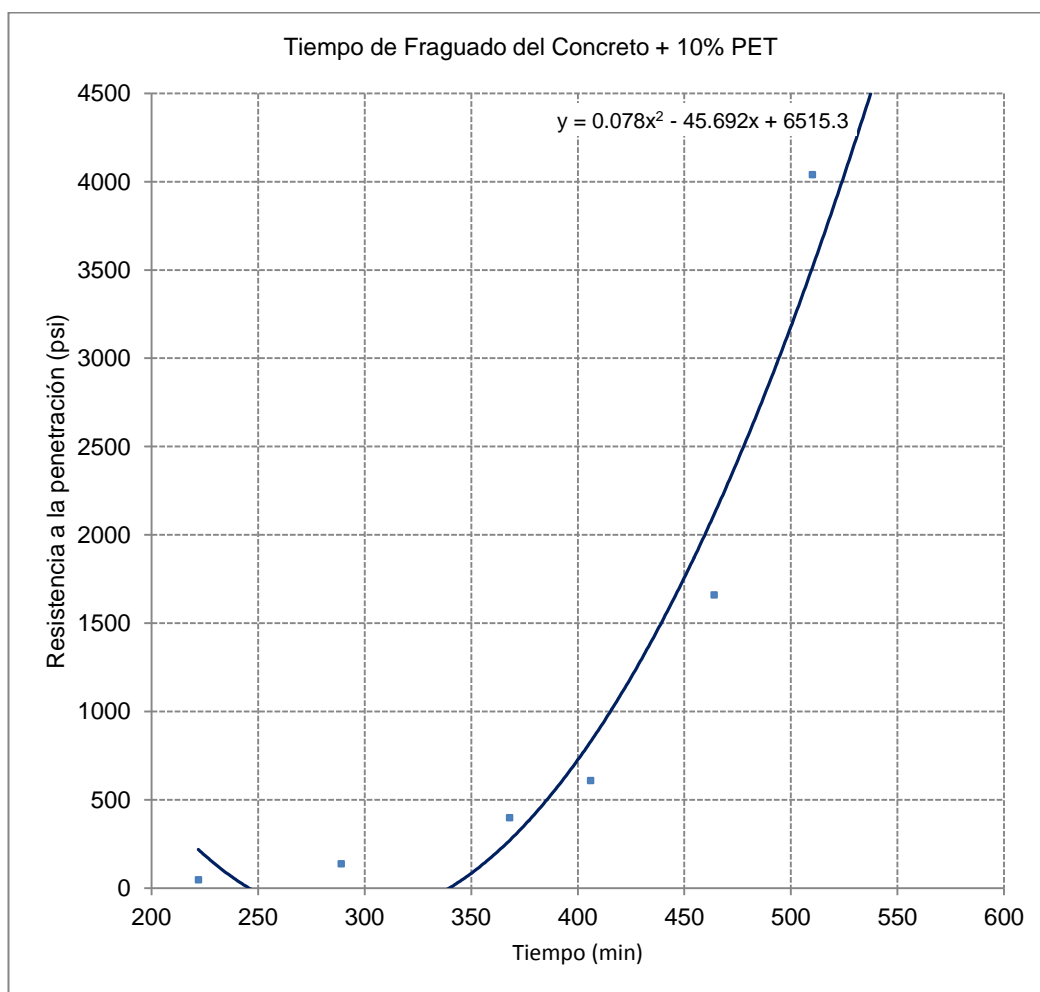
4.2. Tiempo de Fragua del concreto fresco con relación a/c = 0.50 con 5% de RPET incorporado

Hora	Tiempo (hora)	Tiempo Acumulado (min)	Fuerza (lb)	Aguja	Área Aguja (pulg.2)	Resistencia a la penetración	
						lb/pulg2	Kg/cm2
08:30	00:00	0	0	-	-	0	0.00
09:10	00:40	40	0	-	-	0	0.00
12:41	03:31	251	35	1	1	35	2.46
13:48	01:07	318	123	2	0.5	246	17.30
14:34	00:46	364	104	3	0.25	416	29.25
14:58	00:24	388	87	4	0.1	870	61.17
16:03	01:05	453	98	5	0.05	1960	137.80
16:47	00:44	497	65	6	0.025	2600	182.80
17:28	00:41	538	137	6	0.025	5480	385.28



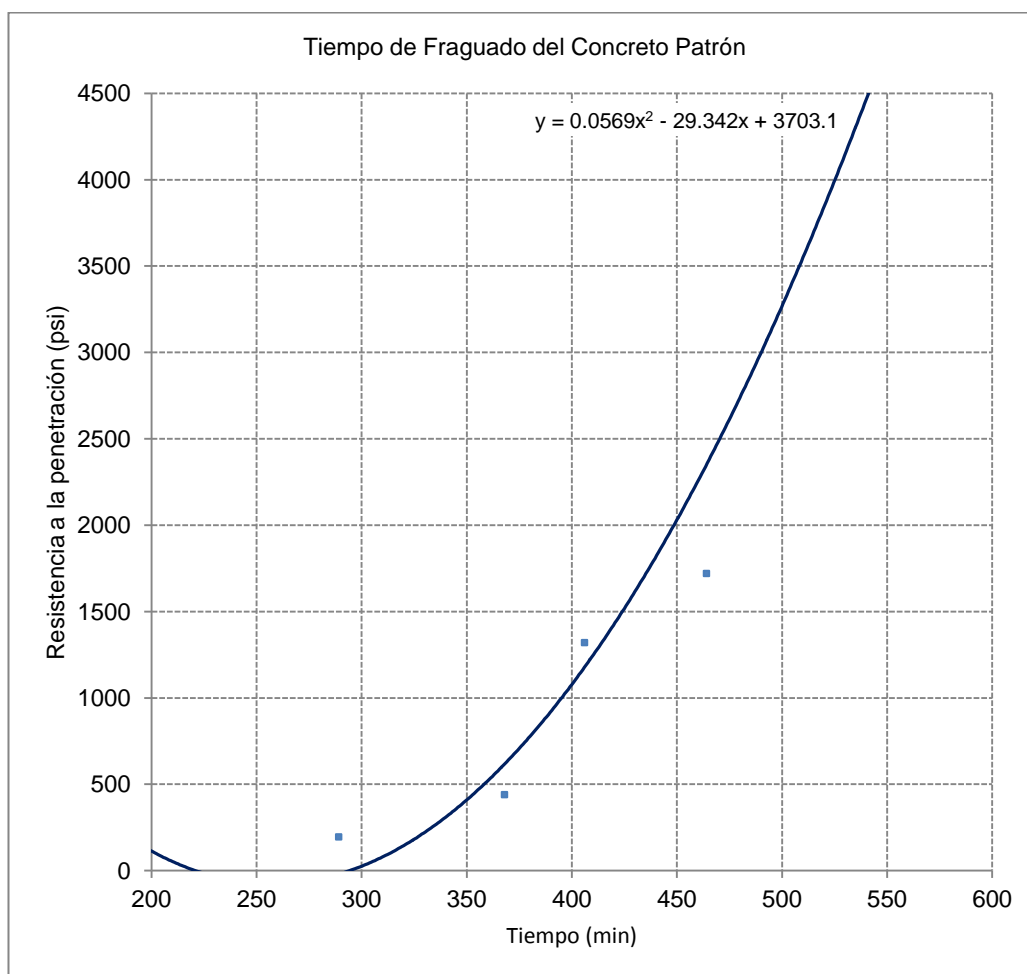
4.3. Tiempo de Fragua del concreto fresco con relación a/c = 0.50 con 10% de RPET incorporado

Hora	Tiempo (hora)	Tiempo Acumulado (min)	Fuerza (lb)	Aguja	Área Aguja (pulg.2)	Resistencia a la penetración	
						lb/pulg2	Kg/cm2
08:30	00:00	0	0	-	-	0	0.00
09:03	00:33	33	0	-	-	0	0.00
12:12	03:09	222	48	1	1	48	3.37
13:19	01:07	289	69	2	0.5	138	9.70
14:38	01:19	368	100	3	0.25	400	28.12
15:16	00:38	406	61	4	0.1	610	42.89
16:14	00:58	464	83	5	0.05	1660	116.71
17:00	00:46	510	101	6	0.025	4040	284.04
17:49	00:49	559	131	6	0.025	5240	368.41



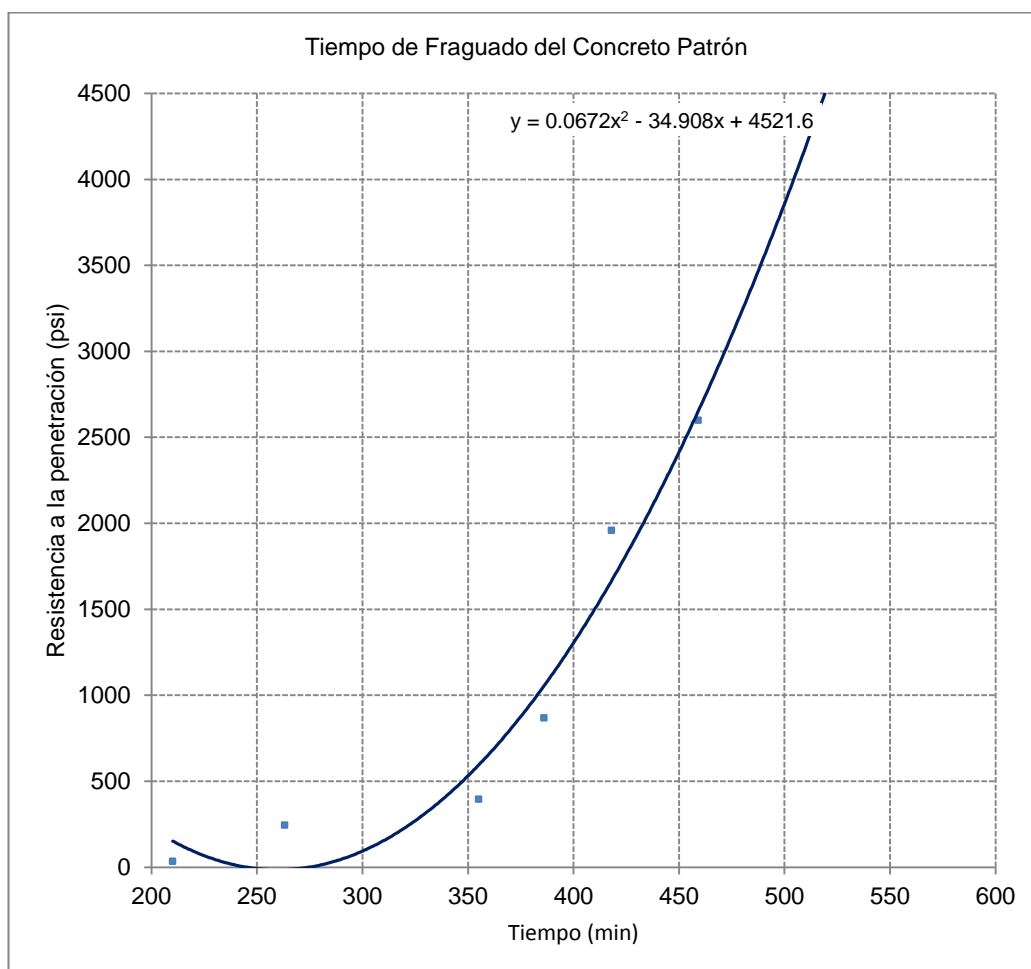
4.4. Tiempo de Fragua del concreto fresco con relación a/c = 0.50 con 15% de RPET incorporado

Hora	Tiempo (hora)	Tiempo Acumulado (min)	Fuerza (lb)	Aguja	Área Aguja (pulg.2)	Resistencia a la penetración	
						lb/pulg2	Kg/cm2
08:30	00:00	0	0	-	-	0	0.00
09:03	00:33	33	0	-	-	0	0.00
11:48	02:45	198	58	1	1	58	4.08
13:19	01:31	289	98	2	0.5	196	13.78
14:38	01:19	368	110	3	0.25	440	30.94
15:16	00:38	406	132	4	0.1	1320	92.81
16:14	00:58	464	86	5	0.05	1720	120.93
17:00	00:46	510	108	6	0.025	4320	303.73
17:49	00:49	559	121	6	0.025	4840	340.29



4.5. Tiempo de Fragua del concreto fresco con relación a/c = 0.50 con 30% de RPET incorporado

Hora	Tiempo (hora)	Tiempo Acumulado (min)	Fuerza (lb)	Aguja	Área Aguja (pulg.2)	Resistencia a la penertación	
						lb/pulg2	Kg/cm2
08:30	00:00	0	0	-	-	0	0.00
09:10	00:40	40	0	-	-	0	0.00
12:00	02:50	210	35	1	1	35	2.46
12:53	00:53	263	123	2	0.5	246	17.30
14:25	01:32	355	99	3	0.25	396	27.84
14:56	00:31	386	87	4	0.1	870	61.17
15:28	00:32	418	98	5	0.05	1960	137.80
16:09	00:41	459	65	6	0.025	2600	182.80
17:36	01:27	546	137	6	0.025	5480	385.28



ANEXO D: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

1.1. Resistencia a la compresión axial – edad 7 días – a/c = 0.50

<i>Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 7 días - A/C = 0.50</i>									
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.81 10.1	9.96	20.57	21015	270.00	267.97	9.63	3.59
	2	9.85 10.01	9.93	20.04	20951	270.53			
	3	9.86 10.08	9.97	20.16	20636	264.33			
	4	10.09 9.97	10.03	20.03	21746	275.22			
	5	9.95 10.03	9.99	20.21	19641	250.58			
	6	9.83 10.04	9.94	20.22	21488	277.19			
A - 5% PET	1	9.88 10.14	10.01	20.24	20548	261.10	266.55	12.01	4.51
	2	10.11 9.85	9.98	20.09	20163	257.75			
	3	9.86 10.13	10.00	20.16	22422	285.77			
	4	9.89 10	9.95	20.09	21334	274.65			
	5	9.97 10.03	10.00	20.28	20961	266.88			
	6	10.01 9.96	9.99	20.27	19824	253.17			
A - 10% PET	1	9.82 10.06	9.94	20.31	18109	233.36	239.16	6.53	2.73
	2	9.83 10.1	9.97	20.22	19185	245.99			
	3	9.83 10.05	9.94	20.26	18725	241.30			
	4	9.91 10.02	9.97	20.53	18449	236.55			
	5	9.89 10.03	9.96	20.36	19218	246.66			
	6	9.94 10.11	10.03	20.4	18239	231.07			
A - 15 PET	1	9.87 10.12	10.00	20.35	17213	219.38	217.46	2.41	1.11
	2	9.87 10.09	9.98	20.42	17001	217.33			
	3	9.81 10.17	9.99	20.47	17021	217.15			
	4	10.05 9.97	10.01	20.38	17118	217.52			
	5	9.96 10.08	10.02	20.45	16814	213.23			
	6	9.93 10.01	9.97	20.17	17187	220.15			
A - 30% PET	1	9.83 10.13	9.98	20.23	14813	189.36	192.84	6.56	3.40
	2	9.83 10.14	9.99	20.43	14750	188.37			
	3	9.8 10.09	9.95	20.45	15936	205.15			
	4	9.92 10.05	9.99	20.52	14691	187.61			
	5	9.86 10.02	9.94	20.48	15103	194.63			
	6	9.94 10	9.97	20.58	14984	191.93			

1.2. Resistencia a la compresión axial – edad 7 días – a/c = 0.60

Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 7 días - A/C = 0.60									
Identificación de la Muestra	Nº	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.81 10.14	9.98	20.31	18160	232.38	232.19	8.42	3.63
	2	10.01 10.2	10.11	20.01	17498	218.19			
	3	10.01 10.21	10.11	20.43	19378	241.39			
	4	10.06 9.93	10.00	20.57	17954	228.83			
	5	10.04 9.87	9.96	20.41	18689	240.11			
	6	9.96 10.03	10.00	20.21	18224	232.27			
A - 5% PET	1	9.88 10.2	10.04	20.51	14040	177.34	180.35	5.27	2.92
	2	9.82 10.12	9.97	20.16	14545	186.31			
	3	9.82 10.18	10.00	20.38	13818	175.94			
	4	9.92 10.03	9.98	20.39	14040	179.66			
	5	9.87 10.01	9.94	20.53	14545	187.44			
	6	9.95 10.08	10.02	20.49	13818	175.41			
A - 10% PET	1	9.81 10.13	9.97	20.24	13545	173.50	167.03	7.58	4.54
	2	9.82 10.19	10.01	20.35	12720	161.79			
	3	8.83 10.19	9.51	20.47	12336	173.67			
	4	9.91 10.02	9.97	20.38	13545	173.67			
	5	9.89 10.03	9.96	20.03	12720	163.26			
	6	9.94 10.11	10.03	20.36	12336	156.28			
A - 15 PET	1	9.8 10.1	9.95	20.54	11687	150.30	150.79	6.00	3.98
	2	9.8 10.13	9.97	20.28	12523	160.57			
	3	9.87 10.07	9.97	20.02	11897	152.39			
	4	10.05 9.97	10.01	20.6	11316	143.79			
	5	9.96 10.08	10.02	20.42	11459	145.32			
	6	9.93 10.01	9.97	20.45	11897	152.39			
A - 30% PET	1	9.82 10.2	10.01	20.52	9870	125.42	131.38	7.46	5.68
	2	9.95 10.12	10.04	20.22	10467	132.34			
	3	9.82 10.05	9.94	20.41	10823	139.61			
	4	9.87 10.08	9.98	20.59	9954	127.37			
	5	9.93 10.03	9.98	20.34	11003	140.66			
	6	9.9 10.12	10.01	20.57	9671	122.89			

1.3. Resistencia a la compresión axial – edad 7 días – a/c = 0.65

Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 7 días - A/C = 0.65									
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm2)	F'cp (kg/cm2)	σ (kg/cm2)	CV (%)
A - Patrón	1	9.84 10.08	9.96	20.24	14897	191.20	193.84	9.62	4.97
	2	9.84 10.08	9.96	20.22	15213	195.26			
	3	9.89 10.11	10.00	20.37	14698	187.14			
	4	9.94 10.18	10.06	20.55	15019	188.95			
	5	9.98 10.14	10.06	20.53	14937	187.92			
	6	9.81 10.06	9.94	20.42	16478	212.56			
A - 5% PET	1	9.87 10.02	9.95	20.09	13324	171.53	169.69	8.44	4.98
	2	9.90 10.14	10.02	20.4	13848	175.62			
	3	9.89 10.03	9.96	20.38	12936	166.03			
	4	9.90 10.07	9.99	20.62	13089	167.16			
	5	9.99 10.08	10.04	20.21	14323	181.10			
	6	9.91 10.04	9.98	20.52	12248	156.73			
A - 10% PET	1	9.85 10.09	9.97	20.59	12870	164.85	163.37	6.67	4.08
	2	9.87 10.08	9.98	20.53	13345	170.77			
	3	9.91 10.11	10.01	20.48	12864	163.46			
	4	9.91 10.11	10.01	20.54	13012	165.34			
	5	9.95 10.07	10.01	20.51	11864	150.76			
	6	9.84 10.15	10.00	20.49	12947	165.01			
A - 15 PET	1	9.99 10.04	10.02	20.26	10981	139.40	141.80	4.00	2.82
	2	9.95 10.05	10.00	20.48	10729	136.61			
	3	9.85 10.04	9.95	20.52	11287	145.30			
	4	9.85 10.12	9.99	20.5	11439	146.08			
	5	9.94 10.08	10.01	20.31	10924	138.81			
	6	9.99 10.01	10.00	20.17	11357	144.60			
A - 30% PET	1	9.90 10.01	9.96	20.02	9457	121.50	122.75	6.33	5.16
	2	9.89 10.10	10.00	20.49	9841	125.42			
	3	9.97 10.13	10.05	20.04	9087	114.55			
	4	9.86 10.10	9.98	20.34	10236	130.85			
	5	9.84 10.12	9.98	20.47	9972	127.48			
	6	9.91 10.06	9.99	20.47	9138	116.70			

1.4. Resistencia a la compresión axial – edad 7 días – a/c = 0.70

<i>Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 7 días - A/C = 0.70</i>									
Identificación de la Muestra	Nº	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.97 10.13	10.05	20.36	13451	169.56	175.66	5.70	3.25
	2	9.86 10.2	10.03	20.63	14286	180.81			
	3	9.91 10.02	9.97	20.04	13129	168.34			
	4	9.85 10.01	9.93	20.62	14085	181.87			
	5	9.86 10.1	9.98	20.51	13940	178.20			
	6	9.82 10.1	9.96	20.34	13648	175.17			
A - 5% PET	1	9.94 10	9.97	20.47	11936	152.89	157.69	8.98	5.70
	2	9.83 10.08	9.96	20.38	13149	168.94			
	3	9.89 10.01	9.95	20.48	12674	163.00			
	4	9.89 10.04	9.97	20.43	12134	155.58			
	5	9.82 10.13	9.98	20.44	12678	162.23			
	6	9.98 10.13	10.06	20.51	11397	143.53			
A - 10% PET	1	9.99 10.16	10.08	20.49	11664	146.31	144.37	7.46	5.17
	2	9.85 10.09	9.97	20.13	11170	143.08			
	3	9.84 10.04	9.94	20.28	11297	145.58			
	4	9.94 10.15	10.05	20.09	10674	134.69			
	5	9.91 10.09	10.00	20.42	10974	139.73			
	6	9.85 10.11	9.98	20.03	12271	156.87			
A - 15 PET	1	9.97 10.02	10.00	20.39	8618	109.84	110.33	6.22	5.63
	2	9.87 10.15	10.01	20.43	9214	117.08			
	3	9.88 10	9.94	20.45	8247	106.28			
	4	9.88 10.03	9.96	20.02	9123	117.21			
	5	9.91 10.13	10.02	20.64	8706	110.41			
	6	9.88 10.12	10.00	20.59	7947	101.18			
A - 30% PET	1	9.97 10.1	10.04	20.27	8165	103.24	93.61	5.86	6.26
	2	9.82 10.01	9.92	20.41	7029	91.04			
	3	9.93 10.05	9.99	20.52	7224	92.16			
	4	9.82 10.06	9.94	20.52	6947	89.52			
	5	9.88 10.01	9.95	20.16	6814	87.72			
	6	9.92 10.09	10.01	20.53	7704	97.99			

1.5. Resistencia a la compresión axial – edad 28 días – a/c = 0.50

Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días - A/C = 0.50									
Identificación de la Muestra	Nº	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F _c (kg/cm ²)	F _{cp} (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.92 10.16	10.04	20.02	29087	367.40	355.72	16.54	4.65
	2	9.98 10.13	10.06	20.43	26135	329.13			
	3	9.89 10.04	9.97	20.37	29091	373.00			
	4	9.98 10.1	10.04	20.26	28975	365.99			
	5	9.87 10.16	10.02	20.38	27174	344.95			
	6	9.92 10.2	10.06	20.6	28124	353.83			
A - 5% PET	1	9.81 10.13	9.97	20.47	27396	350.92	354.31	13.71	3.87
	2	9.88 10.1	9.99	20.54	28701	366.16			
	3	9.85 10.12	9.99	20.31	26814	342.43			
	4	9.96 10.09	10.03	20.51	29687	376.10			
	5	9.97 10.2	10.09	20.43	27640	346.02			
	6	9.9 10.08	9.99	20.34	26979	344.20			
A - 10% PET	1	9.87 10.07	9.97	20.61	25128	321.87	318.79	9.21	2.89
	2	9.97 10.11	10.04	20.62	24318	307.16			
	3	9.83 10.07	9.95	20.38	23970	308.27			
	4	9.96 10.09	10.03	20.53	26103	330.70			
	5	9.89 10.09	9.99	20.18	25341	323.30			
	6	9.84 10.03	9.94	20.47	24918	321.43			
A - 15 PET	1	9.96 10.03	10.00	20.51	23386	298.06	294.11	13.98	4.75
	2	9.84 10.13	9.99	20.59	23416	299.04			
	3	9.89 10.02	9.96	20.39	22819	293.17			
	4	9.91 10.14	10.03	20.52	21574	273.32			
	5	9.82 10.08	9.95	20.57	22240	286.02			
	6	9.99 10.07	10.03	20.16	24892	315.04			
A - 30% PET	1	9.92 10.07	10.00	20.64	18396	234.46	242.86	9.50	3.91
	2	9.97 10.03	10.00	20.62	19168	244.05			
	3	9.81 10.12	9.97	20.33	18840	241.57			
	4	9.95 10.03	9.99	20.09	18614	237.48			
	5	9.9 10.08	9.99	20.63	18701	238.59			
	6	9.99 10.1	10.05	20.16	20687	261.04			

1.6. Resistencia a la compresión axial – edad 28 días – a/c = 0.60

<i>Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días - A/C = 0.60</i>									
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.92 10.11	10.02	20.31	25148	319.24	311.21	14.29	4.59
	2	9.82 10.18	10.00	20.01	24792	315.66			
	3	9.94 10.16	10.05	20.43	22810	287.54			
	4	9.85 10.14	10.00	20.57	25873	329.75			
	5	9.94 10.14	10.04	20.41	24219	305.91			
	6	9.84 10.02	9.93	20.21	23940	309.13			
A - 5% PET	1	9.88 10.02	9.95	20.51	17687	227.47	235.20	10.97	4.66
	2	9.97 10.13	10.05	20.16	18610	234.60			
	3	9.93 10.08	10.01	20.38	18378	233.76			
	4	9.89 10.13	10.01	20.39	19870	252.49			
	5	9.88 10.05	9.97	20.53	17247	221.14			
	6	9.94 10.16	10.05	20.49	19176	241.73			
A - 10% PET	1	9.92 10.06	9.99	20.24	17368	221.58	221.05	13.94	6.31
	2	9.96 10.03	10.00	20.35	16877	215.10			
	3	9.97 10.06	10.02	20.61	18165	230.59			
	4	9.93 10.02	9.98	20.61	15358	196.53			
	5	9.96 10.12	10.04	20.03	18645	235.51			
	6	9.88 10.04	9.96	20.36	17684	226.97			
A - 15 PET	1	9.85 10.08	9.97	20.54	16265	208.55	195.48	12.31	6.30
	2	9.81 10.09	9.95	20.28	15284	196.56			
	3	9.91 10.19	10.05	20.02	15984	201.49			
	4	9.95 10.19	10.07	20.6	13849	173.89			
	5	9.83 10.13	9.98	20.42	14845	189.77			
	6	9.92 10.05	9.99	20.45	15867	202.63			
A - 30% PET	1	9.84 10.11	9.98	20.52	14222	181.99	176.39	10.26	5.82
	2	9.82 10.07	9.95	20.22	13874	178.61			
	3	9.89 10.09	9.99	20.41	13048	166.47			
	4	9.84 10.1	9.97	20.59	13811	176.91			
	5	9.88 10.2	10.04	20.34	15134	191.16			
	6	9.83 10.13	9.98	20.57	12769	163.23			

1.7. Resistencia a la compresión axial – edad 28 días – a/c = 0.65

Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días - A/C = 0.65									
Identificación de la Muestra	Nº	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.96 10.15	10.06	20.49	18892	237.92	247.01	5.40	2.19
	2	9.85 10.08	9.97	20.54	19481	249.79			
	3	9.97 10.08	10.03	20.34	19380	245.52			
	4	9.99 10.04	10.02	20.34	19643	249.35			
	5	9.91 10.06	9.99	20.58	19874	253.80			
	6	9.88 10.12	10.00	20.45	19295	245.67			
A - 5% PET	1	9.99 10.18	10.09	20.59	18436	230.79	230.49	12.36	5.36
	2	9.84 10.14	9.99	20.45	19201	244.96			
	3	9.99 10.17	10.08	20.53	16650	208.64			
	4	9.90 10.18	10.04	20.27	18814	237.64			
	5	9.96 10.14	10.05	20.21	17995	226.85			
	6	9.92 10.05	9.99	20.37	18328	234.06			
A - 10% PET	1	9.83 10.01	9.92	20.18	17340	224.36	209.93	8.18	3.90
	2	9.96 10.06	10.01	20.33	16388	208.24			
	3	9.85 10.15	10.00	20.59	16498	210.06			
	4	9.89 10.02	9.96	20.52	16211	208.28			
	5	9.93 10.02	9.98	20.62	15547	198.94			
	6	9.97 10.16	10.07		16684	209.69			
A - 15 PET	1	9.94 10.00	9.97	20.51	14623	187.31	185.34	11.86	6.40
	2	9.83 10.10	9.97	20.54	12985	166.49			
	3	9.88 10.14	10.01	20.16	14387	182.82			
	4	9.95 10.19	10.07	20.43	14684	184.37			
	5	9.92 10.08	10.00	20.22	15988	203.57			
	6	9.96 10.14	10.05	20.6	14871	187.46			
A - 30% PET	1	9.94 10.09	10.02	20.4	14585	185.15	166.96	11.66	6.98
	2	9.81 10.10	9.96	20.51	13421	172.43			
	3	9.94 10.18	10.06	20.43	11977	150.68			
	4	9.93 10.16	10.05	20.61	12658	159.73			
	5	9.90 10.05	9.98	20.61	13103	167.67			
	6	9.82 10.10	9.96	20.16	12941	166.10			

1.8. Resistencia a la compresión axial – edad 28 días – a/c = 0.70

Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días - A/C = 0.70									
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.82 10.07	9.95	20.36	16720	215.25	228.98	9.56	4.18
	2	9.87 10.2	10.04	20.03	17988	227.44			
	3	9.81 10.07	9.94	20.6	18345	236.40			
	4	9.94 10.19	10.07	20.41	17664	222.01			
	5	9.89 10.19	10.04	20.44	19120	241.51			
	6	9.91 10.19	10.05	20.51	18348	231.30			
A - 5% PET	1	9.9 10.02	9.96	20.18	16477	211.48	203.77	12.31	6.04
	2	9.91 10.15	10.03	20.54	17618	222.98			
	3	9.87 10.19	10.03	20.44	15761	199.48			
	4	9.93 10.04	9.99	20.09	16105	205.67			
	5	9.94 10.15	10.05	20.35	15314	193.24			
	6	9.92 10.11	10.02	20.64	14947	189.74			
A - 10% PET	1	9.92 10.17	10.05	20.09	15405	194.39	194.62	12.35	6.35
	2	9.97 10.12	10.05	20.38	13812	174.29			
	3	9.91 10.15	10.03	20.02	16534	209.26			
	4	9.81 10.09	9.95	20.45	15990	205.64			
	5	9.99 10.12	10.06	20.53	15217	191.64			
	6	9.83 10.06	9.95	20.39	14954	192.51			
A - 15 PET	1	9.8 10.18	9.99	20.21	10795	137.72	138.17	7.21	5.22
	2	9.84 10.19	10.02	20.39	11723	148.82			
	3	9.96 10.07	10.02	20.43	11024	139.94			
	4	9.97 10.03	10.00	20.34	10457	133.14			
	5	9.87 10.02	9.95	20.61	10994	141.53			
	6	9.81 10	9.91	20.22	9851	127.84			
A - 30% PET	1	9.91 10.19	10.05	20.52	11051	139.31	127.82	7.94	6.21
	2	9.88 10.19	10.04	20.51	10322	130.51			
	3	9.94 10.15	10.05	20.37	9776	123.36			
	4	9.84 10.12	9.98	20.58	9457	120.89			
	5	9.83 10.07	9.95	20.45	9268	119.19			
	6	10 10.14	10.07	20.43	10643	133.63			

1.9. Resistencia a la compresión axial – edad 45 días – a/c = 0.50

<i>Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 45 días - A/C = 0.50</i>									
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.99 10.2	10.10	20.01	30041	375.33	373.55	13.89	3.72
	2	9.82 10.06	9.94	20.57	27884	359.33			
	3	9.81 10.14	9.98	20.62	29917	382.83			
	4	9.9 10.19	10.05	20.51	31325	395.28			
	5	9.99 10.08	10.04	20.39	29112	368.08			
	6	9.87 10.18	10.03	20.48	28453	360.47			
A - 5% PET	1	9.87 10.14	10.01	20.61	28745	365.63	369.19	12.32	3.34
	2	9.99 10.17	10.08	20.41	30877	386.92			
	3	9.99 10.11	10.05	20.38	29212	368.25			
	4	9.97 10.13	10.05	20.45	28997	365.54			
	5	9.86 10.05	9.96	20.44	29423	378.02			
	6	9.93 10.13	10.03	20.38	27714	350.76			
A - 10% PET	1	9.91 10.13	10.02	20.59	26818	340.10	335.46	16.75	4.99
	2	9.83 10.04	9.94	20.49	27117	349.80			
	3	9.99 10.04	10.02	20.47	26625	337.99			
	4	9.95 10.17	10.06	20.37	28141	354.04			
	5	9.98 10.19	10.09	20.42	24936	312.17			
	6	9.97 10.06	10.02	20.6	25103	318.66			
A - 15 PET	1	9.87 10.05	9.96	20.24	25348	325.34	309.42	19.34	6.25
	2	9.91 10.06	9.99	20.26	25995	331.97			
	3	9.93 10.13	10.03	20.34	22132	280.11			
	4	9.96 10.07	10.02	20.59	23178	294.23			
	5	9.82 10.06	9.94	20.34	24298	313.12			
	6	9.96 10.07	10.02	20.43	24557	311.73			
A - 30% PET	1	9.82 10.09	9.96	20.36	22171	284.85	255.90	16.42	6.42
	2	9.83 10.12	9.98	20.04	19445	248.82			
	3	9.9 10.11	10.01	20.22	19693	250.49			
	4	9.82 10.11	9.97	20.28	20692	265.31			
	5	9.83 10.11	9.97	20.53	19120	244.91			
	6	9.9 10.12	10.01	20.31	18967	241.01			

1.10. Resistencia a la compresión axial – edad 45 días – a/c = 0.60

Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 45 días - A/C = 0.60									
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.95 10.13	10.04	20.47	26323	332.49	327.57	16.22	4.95
	2	9.9 10.1	10.00	20.44	24655	313.92			
	3	9.93 10.15	10.04	20.51	24008	303.25			
	4	9.92 10.03	9.98	20.57	25681	328.62			
	5	9.91 10.1	10.01	20.24	27029	343.80			
	6	9.97 10.04	10.01	20.18	26994	343.35			
A - 5% PET	1	9.86 10.18	10.02	20.64	20122	255.18	247.54	14.75	5.96
	2	10 10.07	10.04	20.27	18667	236.02			
	3	9.92 10.09	10.01	20.53	19102	242.97			
	4	9.97 10.09	10.03	20.47	20214	255.84			
	5	9.97 10.17	10.07	20.55	18122	227.54			
	6	9.8 10.01	9.91	20.02	20629	267.72			
A - 10% PET	1	9.98 10.11	10.05	20.03	18551	234.09	232.90	15.02	6.45
	2	9.89 10.05	9.97	20.6	18914	242.27			
	3	9.97 10.2	10.09	20.39	17239	215.81			
	4	9.96 10.11	10.04	20.22	18121	229.12			
	5	9.82 10.16	9.99	20.37	20105	256.50			
	6	9.91 10.17	10.04	20.09	17388	219.63			
A - 15 PET	1	10 10.08	10.04	20.38	17316	218.72	205.41	11.38	5.54
	2	9.82 10.04	9.93	20.22	16128	208.25			
	3	9.88 10.1	9.99	20.38	16921	215.88			
	4	9.92 10.01	9.97	20.41	15347	196.78			
	5	9.91 10.07	9.99	20.21	14798	188.79			
	6	9.88 10.05	9.97	20.35	15914	204.05			
A - 30% PET	1	9.99 10.15	10.07	20.52	13222	166.02	183.70	13.22	7.19
	2	9.96 10.18	10.07	20.01	13697	171.98			
	3	9.8 10.01	9.91	20.34	14927	193.72			
	4	9.8 10.01	9.91	20.26	14124	183.30			
	5	9.81 10.06	9.94	20.28	15625	201.56			
	6	9.96 10.13	10.05	20.58	14711	185.63			

1.11. Resistencia a la compresión axial – edad 45 días – a/c = 0.65

<i>Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 45 días - A/C = 0.65</i>									
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.84 10.19	10.02	20.54	20218	256.65	261.15	9.86	3.78
	2	9.97 10.01	9.99	20.38	21874	279.07			
	3	9.92 10.20	10.06	20.41	20883	262.73			
	4	9.91 10.20	10.06	20.04	20507	258.25			
	5	9.87 10.02	9.95	20.45	20242	260.59			
	6	9.88 10.19	10.04	20.35	19740	249.59			
A - 5% PET	1	9.83 10.09	9.96	20.55	18671	239.64	242.11	11.14	4.60
	2	9.98 10.09	10.04	20.47	19155	242.19			
	3	9.93 10.20	10.07	20.61	18266	229.58			
	4	9.86 10.12	9.99	20.36	19579	249.79			
	5	9.94 10.16	10.05	20.39	18410	232.08			
	6	9.94 10.07	10.01	20.62	20391	259.37			
A - 10% PET	1	9.99 10.07	10.03	20.01	17469	221.09	220.56	14.84	6.73
	2	9.98 10.05	10.02	20.43	16323	207.21			
	3	9.92 10.04	9.98	20.51	18918	241.84			
	4	9.86 10.17	10.02	20.48	16237	206.12			
	5	9.96 10.13	10.05	20.64	16841	212.51			
	6	9.86 10.19	10.03	20.45	18515	234.57			
A - 15 PET	1	9.83 10.07	9.95	20.22	14359	184.67	195.46	12.91	6.61
	2	9.83 10.16	10.00	20.21	16944	215.95			
	3	9.83 10.13	9.98	20.42	15841	202.50			
	4	9.84 10.05	9.95	20.28	14835	190.98			
	5	9.81 10.14	9.98	20.57	14113	180.59			
	6	9.98 10.06	10.02	20.54	15617	198.05			
A - 30% PET	1	9.98 10.08	10.03	20.49	14834	187.74	175.26	12.60	7.19
	2	9.81 10.18	10.00	20.4	13510	172.19			
	3	9.90 10.13	10.02	20.37	13697	173.87			
	4	9.80 10.19	10.00	20.02	12755	162.56			
	5	9.91 10.07	9.99	20.39	15102	192.67			
	6	9.99 10.18	10.09	20.59	12981	162.50			

1.12. Resistencia a la compresión axial – edad 45 días – a/c = 0.70

<i>Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 45 días - A/C = 0.70</i>									
Identificación de la Muestra	Nº	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima (Kg)	F'c (kg/cm ²)	F'cp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	9.92 10.05	9.99	20.59	18721	239.08	241.29	12.87	5.33
	2	9.86 10.03	9.95	20.22	19018	244.83			
	3	9.96 10.03	10.00	20.6	20017	255.12			
	4	9.86 10.09	9.98	20.34	18612	238.16			
	5	9.89 10.01	9.95		19567	251.64			
	6	9.81 10.16	9.99	20.41	17139	218.88			
A - 5% PET	1	9.99 10.04	10.02	20.51	16817	213.48	214.13	11.87	5.54
	2	9.9 10.16	10.03	20.45	15619	197.68			
	3	9.86 10.16	10.01	20.24	17295	219.77			
	4	9.86 10.08	9.97	20.38	16356	209.51			
	5	9.82 10.19	10.01	20.57	18347	233.37			
	6	9.96 10.04	10.00	20.04	16571	210.99			
A - 10% PET	1	9.99 10.14	10.07	20.42	16331	205.26	204.91	12.83	6.26
	2	9.83 10.17	10.00	20.43	17550	223.45			
	3	9.9 10.09	10.00	20.02	16112	205.35			
	4	9.81 10	9.91	20.58	16364	212.37			
	5	9.84 10.18	10.01	20.26	15516	197.16			
	6	9.99 10.16	10.08	20.42	14817	185.86			
A - 15 PET	1	9.91 10.18	10.05	20.57	11198	141.30	145.46	9.17	6.30
	2	9.86 10.06	9.96	20.61	11681	149.92			
	3	9.97 10.15	10.06	20.09	12677	159.49			
	4	9.91 10.15	10.03	20.64	10918	138.18			
	5	9.85 10.2	10.03	20.62	10621	134.56			
	6	9.98 10.07	10.03	20.62	11783	149.28			
A - 30% PET	1	9.9 10.01	9.96	20.31	11475	147.43	134.38	7.76	5.78
	2	9.97 10.03	10.00	20.28	10843	138.06			
	3	9.81 10.07	9.94	20.09	9948	128.20			
	4	9.94 10.19	10.07	20.51	10232	128.60			
	5	9.84 10.1	9.97	20.38	9981	127.85			
	6	9.97 10.06	10.02	20.03	10724	136.13			

2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

2.1. Resistencia a la compresión diametral – edad 28 días – a/c = 0.50

<i>Ensayo de la resistencia a la compresión diametral del concreto a 28 días - A/C = 0.50</i>										
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima (Kg)	Tp (kg/cm ²)	Tpm (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	10.21	10.15	20.27	20.265	9017	27.91			
		10.1		20.26						
		10.14								
	2	10.19	10.15	20.08	20.06	9127	28.55	28.54	0.44	1.56
		10.02		20.04						
		10.23								
3	10.14	10.12	20.13	20.16	9344	29.16				
	10.02		20.18							
	10.2									
A - 5% PET	1	10.15	10.14	20.29	20.155	9281	28.90			
		10.14		20.02						
		10.14								
	2	10	10.12	20.03	20.135	9375	29.29	28.36	0.91	3.22
		10.13		20.24						
		10.23								
3	10.06	10.04	20.22	20.27	8593	26.89				
	10.05		20.31							
	10.01									
A - 10% PET	1	10.13	10.08	20.06	20.155	7920	24.83			
		10.04		20.25						
		10.06								
	2	10.24	10.18	20.05	20.035	8346	26.04	25.43	0.43	1.69
		10.08		20.02						
		10.23								
3	10.02	10.06	20.1	20.18	8109	25.44				
	10.05		20.25							
	10.11									
A - 15% PET	1	10.2	10.14	20.21	20.21	7224	22.45			
		10.19		20.21						
		10.02								
	2	10.12	10.05	20.19	20.17	6982	21.93	22.44	0.36	1.61
		10.01		20.15						
		10.02								
3	10.13	10.14	20.01	20.01	7317	22.95				
	10.2		20.01							
	10.1									
A - 30% PET	1	10.03	10.04	20.2	20.235	5665	17.75			
		10.06		20.27						
		10.03								
	2	10.12	10.08	20.07	20.105	6097	19.15	18.36	0.51	2.77
		10.11		20.14						
		10.01								
3	10.11	10.08	20.31	20.23	5822	18.17				
	10.07		20.14							
	10.07									

2.2. Resistencia a la compresión diametral – edad 28 días – a/c = 0.60

Ensayo de la resistencia a la compresión diametral del concreto a 28 días - A/C = 0.60										
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima (Kg)	TP (kg/cm ²)	Tpm (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	10.16	10.13	20.23	20.21	7429	23.09	23.75	0.44	1.87
		10.06		20.19						
		10.18		20.19						
	2	10.1	10.09	20.02	20.06	7741	24.35			
		10.04		20.1						
		10.13		20.1						
	3	10.11	10.16	20.27	20.15	7655	23.81			
		10.18		20.02						
		10.19		20.02						
A - 5% PET	1	10.2	10.19	20.3	20.18	6335	19.61	19.77	0.61	3.10
		10.19		20.06						
		10.19		20.06						
	2	10.03	10.10	20.09	20.05	6587	20.70			
		10.12		20.01						
		10.16		20.01						
	3	10.22	10.15	20.31	20.26	6131	18.99			
		10		20.2						
		10.22		20.2						
A - 10% PET	1	10.08	10.08	20.24	20.12	5526	17.34	16.45	0.63	3.82
		10.13		20						
		10.04		20						
	2	10.06	10.13	20.07	20.075	5251	16.44			
		10.09		20.08						
		10.24		20.08						
	3	10.06	10.05	20.09	20.05	4923	15.56			
		10.02		20						
		10.06		20						
A - 15% PET	1	10.14	10.09	20.23	20.21	4688	14.64	15.21	0.46	3.05
		10.02		20.19						
		10.11		20.19						
	2	10.18	10.15	20.31	20.255	5142	15.92			
		10.12		20.2						
		10.15		20.2						
	3	10.16	10.12	20.24	20.14	4820	15.06			
		10		20.03						
		10.19		20.03						
A - 30% PET	1	10.12	10.10	20.18	20.165	4248	13.28	12.29	0.70	5.66
		10		20.15						
		10.17		20.15						
	2	10.05	10.17	20.01	20.145	3641	11.31			
		10.22		20.28						
		10.24		20.28						
	3	10.2	10.20	20.29	20.29	3990	12.28			
		10.22		20.28						
		10.17		20.28						

2.3. Resistencia a la compresión diametral – edad 28 días – a/c = 0.65

Ensayo de la resistencia a la compresión diametral del concreto a 28 días - A/C = 0.65										
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima (Kg)	Tp (kg/cm2)	Tpm (kg/cm2)	σ (kg/cm2)	CV (%)
A - Patrón	1	10.08	10.12	20	20.015	6714	21.10	20.84	0.56	2.70
		10.05		20.03						
		10.23		20.03						
	2	10.19	10.17	20.13	20.13	6413	19.94			
		10.1		20.13						
		10.22		20.13						
	3	10.01	10.13	20.24	20.27	6925	21.46			
		10.19		20.3						
		10.2		20.3						
A - 5% PET	1	10.05	10.07	20.06	20.1	5788	18.20	17.31	0.65	3.73
		10.12		20.14						
		10.04		20.14						
	2	10.21	10.12	20.02	20.03	5215	16.38			
		10.12		20.04						
		10.03		20.04						
	3	10.22	10.18	20.03	20.04	5561	17.36			
		10.16		20.04						
		10.16		20.04						
A - 10% PET	1	10.23	10.11	20.05	20.11	5178	16.21	14.74	0.90	6.14
		10		20.17						
		10.11		20.17						
	2	10.04	10.08	20.3	20.245	4531	14.13			
		10.12		20.19						
		10.09		20.19						
	3	10.08	10.08	20.12	20.14	4425	13.88			
		10.12		20.16						
		10.04		20.16						
A - 15% PET	1	10.1	10.14	20.29	20.28	4031	12.48	12.80	0.43	3.37
		10.12		20.27						
		10.21		20.27						
	2	10.01	10.12	20.31	20.2	3987	12.42			
		10.21		20.09						
		10.14		20.09						
	3	10.17	10.13	20.28	20.28	4354	13.50			
		10.2		20.27						
		10.01		20.27						
A - 30% PET	1	10.21	10.22	20.25	20.135	3688	11.41	10.89	0.46	4.22
		10.22		20.02						
		10.23		20.02						
	2	10.19	10.11	20.01	20.04	3535	11.11			
		10.08		20.07						
		10.06		20.07						
	3	10.11	10.11	20.18	20.13	3249	10.16			
		10.1		20.08						
		10.12		20.08						

2.4. Resistencia a la compresión diametral – edad 28 días – a/c = 0.70

<i>Ensayo de la resistencia a la compresión diametral del concreto a 28 días - A/C = 0.70</i>										
Identificación de la Muestra	N°	Diámetro (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima (Kg)	Tp (kg/cm ²)	Tpm (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	10.24	10.14	20.05	20.035	6332	19.84			
		10.11		20.02						
		10.08								
	2	10.03	10.05	20.06	20.06	5934	18.74	18.42	1.13	6.14
		10.03		20.06						
		10.08								
	3	10.15	10.14	20.25	20.23	5375	16.69			
		10.24		20.21						
		10.02								
A - 5% PET	1	10.25	10.21	20.24	20.27	4193	12.90			
		10.17		20.3						
		10.21								
	2	10.24	10.18	20.04	20.13	4935	15.34	14.34	0.90	6.30
		10.08		20.22						
		10.21								
	3	10.1	10.12	20.08	20.05	4712	14.78			
		10.24		20.02						
		10.03								
A - 10% PET	1	10.16	10.10	20.14	20.125	3914	12.26			
		10.08		20.11						
		10.06								
	2	10.04	10.11	20.26	20.145	3794	11.86	11.67	0.50	4.30
		10.06		20.03						
		10.22								
	3	10.05	10.06	20.17	20.18	3471	10.88			
		10.05		20.19						
		10.09								
A - 15% PET	1	10.24	10.15	20.01	20.085	3298	10.30			
		10.17		20.16						
		10.04								
	2	10.06	10.05	20.15	20.12	3220	10.13	9.92	0.36	3.68
		10.1		20.09						
		10								
	3	10.03	10.11	20.07	20.06	2974	9.33			
		10.21		20.04						
		10.1								
A - 30% PET	1	10.01	10.06	20.29	20.285	2519	7.86			
		10.15		20.28						
		10.03								
	2	10.01	10.12	20.18	20.225	2215	6.89	7.16	0.43	5.96
		10.18		20.27						
		10.17								
	3	10.07	10.04	20.14	20.16	2144	6.75			
		10.04		20.17						
		10.01								

3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

3.1. Resistencia a la flexión de vigas – edad 28 días – a/c = 0.50

<i>Ensayo de la resistencia a la compresión del concreto a 28 días - A/C = 0.50</i>												
Identificación de la Muestra	N°	Luz entre apoyos	Longitud total (cm)	Ancho (cm)	Ancho Promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (Kg)	Mr (kg/cm ²)	Mrp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	45	50.2	15.2	15.23	15.6	15.6	5127	62.23			
				15.3		15.6						
	2	45	50.1	15.4	15.33	15.3	15.4	4519	56.16	58.50	2.31	3.95
				15.4		15.5						
				15.2		15.3						
	3	45	50.3	15.3	15.20	15.6	15.3	4535	57.10			
15.2				15.2								
A - 5% PET	1	45	50.4	15.5	15.30	15.2	15.3	4319	54.27			
				15.4		15.5						
	2	45	50.5	15.3	15.13	15.6	15.4	4599	57.91	56.31	1.32	2.34
				15.0		15.3						
				15.1		15.2						
	3	45	50.5	15.0	15.03	15.3	15.3	4418	56.74			
15.0				15.2								
A - 10% PET	1	45	50.1	15.4	15.17	15.6	15.5	3441	42.50			
				15.0		15.5						
	2	45	50.2	15.1	15.07	15.4	15.5	3849	47.64	44.16	2.14	4.84
				15.0		15.6						
				15.1		15.6						
	3	45	50.1	15.2	15.17	15.5	15.4	3369	42.33			
15.1				15.3								
A - 15% PET	1	45	50.2	15.4	15.30	15.5	15.4	2517	31.35			
				15.1		15.4						
	2	45	50.1	15.4	15.30	15.5	15.5	2325	28.59	30.53	1.19	3.91
				15.4		15.6						
				15.1		15.3						
	3	45	50.4	15.3	15.20	15.4	15.3	2491	31.64			
15.0				15.2								
A - 30% PET	1	45	50.1	15.5	15.40	15.6	15.4	2215	27.17			
				15.5		15.2						
	2	45	50.1	15.2	15.23	15.2	15.3	1873	23.64	25.68	1.30	5.05
				15.2		15.4						
				15.3		15.4						
	3	45	50.4	15.4	15.37	15.3	15.5	2153	26.24			
15.4				15.6								

3.2. Resistencia a la flexión de vigas – edad 28 días – a/c = 0.60

<i>Ensayo de la resistencia a la flexión de vigas de concreto a 28 días - A/C = 0.60</i>												
Identificación de la Muestra	N°	Luz entre apoyos	Longitud total (cm)	Ancho (cm)	Ancho Promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (Kg)	Mr (kg/cm ²)	Mrp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	45	50	15.2	15.07	15.3	15.5	4210	52.34	50.85	1.88	3.69
				15.0		15.6						
				15.0		15.6						
	2	45	50.2	15.2	15.23	15.6	15.4	3853	47.79	50.85	1.88	3.69
				15.1		15.3						
				15.4		15.4						
3	45	50.3	15.2	15.37	15.6	15.5	4282	52.42	50.85	1.88	3.69	
			15.4		15.6							
			15.5		15.2							
A - 5% PET	1	45	50	15.1	15.13	15.5	15.4	3775	47.13	44.14	2.54	5.75
				15.2		15.3						
				15.1		15.5						
	2	45	50.4	15.2	15.20	15.6	15.4	3217	40.16	44.14	2.54	5.75
				15.4		15.3						
				15.0		15.3						
3	45	50.1	15.2	15.27	15.2	15.4	3615	45.13	44.14	2.54	5.75	
			15.2		15.4							
			15.4		15.5							
A - 10% PET	1	45	50	15.1	15.30	15.5	15.5	2968	36.49	36.81	1.99	5.40
				15.4		15.4						
				15.4		15.5						
	2	45	50.1	15.4	15.33	15.6	15.5	3241	39.76	36.81	1.99	5.40
				15.4		15.3						
				15.2		15.5						
3	45	50.4	15.1	15.20	15.3	15.4	2749	34.17	36.81	1.99	5.40	
			15.1		15.6							
			15.4		15.4							
A - 15% PET	1	45	50.4	15.3	15.37	15.4	15.5	2069	25.33	25.80	1.65	6.38
				15.5		15.4						
				15.3		15.6						
	2	45	50.4	15.1	15.10	15.2	15.5	2274	28.33	25.80	1.65	6.38
				15.1		15.6						
				15.1		15.6						
3	45	50.3	15.3	15.20	15.2	15.2	1861	23.74	25.80	1.65	6.38	
			15.3		15.3							
			15.0		15.2							
A - 30% PET	1	45	50.1	15.1	15.17	15.6	15.5	1895	23.50	21.76	1.48	6.80
				15.3		15.5						
				15.1		15.3						
	2	45	50.1	15.4	15.40	15.3	15.4	1813	22.34	21.76	1.48	6.80
				15.5		15.5						
				15.3		15.4						
3	45	50.2	15.5	15.43	15.4	15.4	1581	19.44	21.76	1.48	6.80	
			15.4		15.4							
			15.4		15.6							

3.3. Resistencia a la flexión de vigas – edad 28 días – a/c = 0.65

<i>Ensayo de la resistencia a la flexión de vigas de concreto a 28 días - A/C = 0.65</i>												
Identificación de la Muestra	N°	Luz entre apoyos	Longitud total (cm)	Ancho (cm)	Ancho Promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (Kg)	Mr (kg/cm ²)	Mrp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	45	50.2	15.2	15.20	15.6	15.53	3483	42.74			
				15.2		15.5						
				15.2		15.5						
	2	45	50.2	15.0	15.07	15.5	15.53	3179	39.35	41.09	1.20	2.92
				15.1		15.5						
				15.1		15.6						
3	45	50.2	15.1	15.17	15.6	15.37	3277	41.18				
			15.2		15.2							
			15.2		15.3							
A - 5% PET	1	45	50.3	15.3	15.23	15.5	15.43	3114	38.62			
				15.2		15.6						
				15.1		15.2						
	2	45	50.2	15.4	15.20	15.6	15.43	2651	32.95	35.65	2.01	5.64
				15.1		15.5						
				15.5		15.6						
3	45	50.4	15.2	15.33	15.6	15.50	2897	35.39				
			15.3		15.3							
			15.3		15.6							
A - 10% PET	1	45	50.2	15.5	15.33	15.6	15.53	2862	34.81			
				15.2		15.4						
				15.3		15.6						
	2	45	50	15.0	15.10	15.5	15.43	2355	29.47	32.21	1.89	5.87
				15.3		15.4						
				15.0		15.4						
3	45	50.3	15.3	15.23	15.4	15.33	2576	32.37				
			15.3		15.4							
			15.1		15.2							
A - 15% PET	1	45	50.3	15.3	15.20	15.6	15.37	1874	23.50			
				15.0		15.2						
				15.1		15.4						
	2	45	50.1	15.2	15.20	15.2	15.33	1743	21.95	22.73	0.55	2.41
				15.3		15.4						
				15.1		15.4						
3	45	50.3	15.2	15.13	15.6	15.47	1830	22.75				
			15.1		15.4							
			15.1		15.4							
A - 30% PET	1	45	50.3	15.2	15.23	15.4	15.33	1533	19.26			
				15.3		15.2						
				15.2		15.4						
	2	45	50.2	15.1	15.10	15.3	15.50	1317	16.34	17.65	1.05	5.95
				15.0		15.6						
				15.2		15.6						
3	45	50.3	15.4	15.27	15.2	15.33	1384	17.35				
			15.2		15.2							
			15.1		15.6							

3.4. Resistencia a la flexión de vigas – edad 28 días – a/c = 0.70

Ensayo de la resistencia a la flexión de vigas de concreto a 28 días - A/C = 0.70												
Identificación de la Muestra	N°	Luz entre apoyos	Longitud total (cm)	Ancho (cm)	Ancho Promedio (cm)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Carga Máxima (Kg)	Mr (kg/cm ²)	Mrp (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	CV (%)
A - Patrón	1	45	50.3	15.2	15.23	15.6	15.47	2878	35.54			
				15.3		15.2						
				15.2		15.2						
	2	45	50.1	15.4	15.33	15.5	15.40	3146	38.93	37.31	1.20	3.22
				15.4		15.5						
				15.2		15.5						
3	45	50.4	15.3	15.20	15.6	15.33	2975	37.46				
			15.2		15.2							
			15.1		15.2							
A - 5% PET	1	45	50.1	15.5	15.30	15.2	15.33	2812	35.18			
				15.0		15.6						
				15.4		15.2						
	2	45	50.5	15.3	15.13	15.2	15.40	2607	32.69	32.75	1.69	5.17
				15.0		15.6						
				15.1		15.4						
3	45	50.2	15.0	15.03	15.4	15.37	2397	30.39				
			15.1		15.2							
			15.0		15.5							
A - 10% PET	1	45	50	15.4	15.17	15.5	15.43	2448	30.49			
				15.0		15.4						
				15.1		15.4						
	2	45	50.4	15.1	15.07	15.2	15.30	2049	26.14	27.82	1.66	5.95
				15.0		15.2						
				15.1		15.5						
3	45	50.4	15.2	15.17	15.2	15.33	2125	26.82				
			15.1		15.3							
			15.2		15.5							
A - 15% PET	1	45	50.1	15.4	15.30	15.6	15.50	1361	16.66			
				15.4		15.4						
				15.1		15.4						
	2	45	50	15.4	15.30	15.3	15.33	1493	18.68	18.32	1.07	5.84
				15.4		15.5						
				15.1		15.2						
3	45	50	15.3	15.20	15.2	15.23	1538	19.62				
			15.0		15.3							
			15.3		15.2							
A - 30% PET	1	45	50.4	15.5	15.40	15.6	15.47	1061	12.96			
				15.5		15.6						
				15.2		15.2						
	2	45	50.2	15.2	15.23	15.4	15.43	1214	15.06	13.99	0.74	5.30
				15.2		15.6						
				15.3		15.3						
3	45	50.1	15.4	15.37	15.5	15.37	1126	13.96				
			15.4		15.4							
			15.3		15.2							

ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO

A continuación se muestra el panel fotográfico de las actividades realizadas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzales la Cotera” – LEM – UNI

Figura N° 25 Muestra Agregado Grueso (3.1.1)



Figura N° 26 Cuarteo de Agregado Grueso (3.1.1.1)



Figura N° 27 Peso Específico del Agregado Grueso (3.1.1.5)



Figura N° 28 PUC Agregado Grueso (3.1.1.8)



Figura N° 29 Muestra Agregado Fino (3.1.2)



Figura N° 30 Cuarteo de Agregado Fino (3.1.2.1)



Figura N° 31 Cono, pisón y muestra de arena (3.1.2.4)



Figura N° 32 Peso Específico del Agregado Fino (3.1.2.5)



Figura N° 33 PUC Agregado Fino 3.1.2.8



Figura N° 34 Escamas de RPET (3.1.3.1)



Figura N° 35 PUC Agregado Global (3.1.4.1)



Figura N° 36 PUC Agregado Global (3.1.4.1)



Figura N° 37 Elaboración de concreto fresco (3.3)



Figura N° 38 Ensayo de Slump del concreto fresco (4.1.1)



Figura N° 39 P.U. del concreto en estado fresco (4.1.2)



Figura N° 40 Tiempo de fragua del concreto (4.1.4)



Figura N° 41 Testigos de concreto (4.2.1)

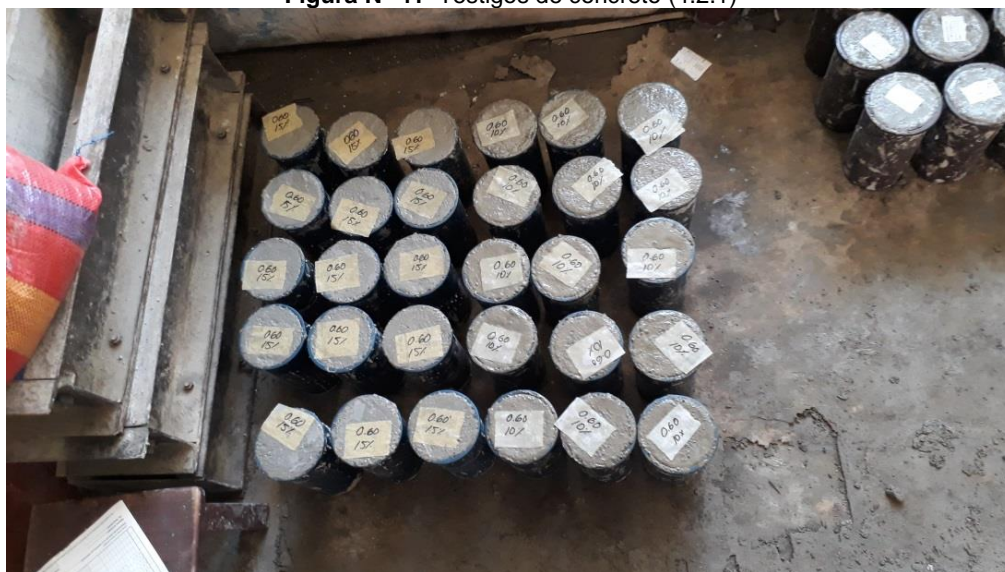


Figura N° 42 Curado de testigos de concreto (4.2.1)



Figura N° 43 Rotura de Probetas de Concreto por compresión axial (4.2.1)



Figura N° 44 Rotura de Probetas de Concreto por compresión diametral (4.2.2)



Figura N° 45 Muestras de Viga de Concreto (4.2.3)



Figura N° 46 Rotura de Vigas de Concreto (4.2.3)

