

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

## **Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno**

Por:

Yhulio Anderson Mendoza Ccate

Neder Zanabria Sanchez

Asesor:

Ing. Rubén Sosa Aquisé

**Juliaca, Mayo de 2019**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Rubén Sosa Aquise, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y TÉRMICO DEL CONCRETO CON INCORPORACIÓN DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA REGIÓN DE PUNO" constituye la memoria que presenta los bachilleres Yhulio Anderson Mendoza Ccate y Neder Zanabria Sanchez para aspirar al título Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los diecisiete días del mes de mayo del año dos mil diecinueve.



Ing. Rubén Sosa Aquise

Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con  
incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de  
Puno

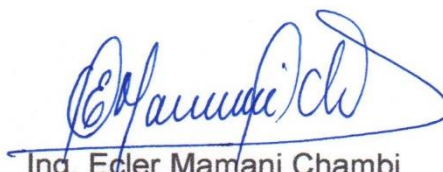
# TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

## JURADO CALIFICADOR



Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari  
Presidenta



Ing. Ecler Mamani Chambi  
Secretario



Ing. Jorge Llanos Ticona  
Vocal



Mg. Edwin Vargas Ucharico  
Vocal



Ing. Rubén Sosa Aquisé  
Asesor

Juliaca, 17 de mayo de 2019

## **Dedicatoria**

A Dios porque siempre está presente en todas las dificultades que se presenta y me ayuda a poder superarlo.

A mis padres, por el amor, comprensión, apoyo moral y económico que me brindan. Y que gracias a ello puedo cumplir mis objetivos.

**(Yhulio Anderson Mendoza Ccate)**

A Dios por mostrarme todo en la vida, mis padres por la paciencia, comprensión y amor de todas mis buenas y malas decisiones.

A mis amigos, con quienes compartimos todas las felicidades y tristezas, con los que puedo contar para hacer todo.

**(Neder Zanabria Sanchez)**

## **Agradecimiento**

Agradecemos en primer lugar a Dios por permitirnos culminar satisfactoriamente el trabajo de investigación, porque estamos seguros de que fue nuestro guía en todo momento.

A Vidal Mendoza Mestas y Wirner Zanabria Huaracallo, quienes fueron la luz que nos guiaron durante todo momento para poder realizar el presente trabajo de investigación.

A nuestro asesor de tesis Ing. Rubén Fitzgerald Sosa Aquise por la paciencia y todas las sugerencias dadas en el proceso de tesis y exigiendo a cada paso siempre la culminación de la presente investigación.

## Índice General

<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>XI</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Símbolos usados</b> .....	<b>XV</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XVII</b>
<b>Capítulo I. El Problema</b> .....	<b>18</b>
1.1. Planteamiento Del Problema.....	18
1.2. Interrogantes de la Investigación .....	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos. ....	19
1.3. Objetivo de la Investigación .....	19
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivos específicos. ....	19
1.4. Justificación .....	20
<b>Capítulo II. Marco Teórico</b> .....	<b>21</b>
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	21
2.2. Marco Conceptual.....	22
2.2.1. Concreto. ....	22
2.2.1.1. Definición. ....	22
2.2.1.2. Componentes del concreto. ....	23
2.2.1.3. Propiedades del concreto en estado fresco.....	23
2.2.1.3.1. Trabajabilidad. ....	23
2.2.1.3.2. Peso unitario. ....	25
2.2.1.4. Propiedades del concreto en estado endurecido.....	25
2.2.1.4.1. Resistencia a la compresión .....	25
2.2.1.4.2. Conductividad térmica.....	25
2.2.2. Cemento. ....	26
2.2.2.1. Compuestos químicos.....	26

2.2.2.2. Tipos de cemento portland.....	28
2.2.3. Agua.....	29
2.2.4. Agregados.....	29
2.2.4.1. Agregado fino.....	30
2.2.4.2. Agregado grueso.....	30
2.2.4.3. Propiedades físicas de los agregados.....	30
2.2.4.3.1. Granulometría.....	30
2.2.4.3.2. Módulo de fineza.....	31
2.2.4.3.3. Tamaño máximo.....	31
2.2.4.3.4. Tamaño máximo nominal.....	31
2.2.4.3.5. Absorción.....	31
2.2.4.3.6. Peso específico.....	31
2.2.4.3.7. Humedad.....	31
2.2.5. Tereftalato de polietileno.....	31
2.2.5.1. Ventajas del tereftalato de polietileno.....	32
2.2.5.2. Desventajas del tereftalato de polietileno.....	32
2.2.5.3. Propiedades del tereftalato de polietileno.....	33
2.2.5.4. Reciclaje de plástico.....	34
2.2.5.4.1. Proceso de reciclado mecánico del tereftalato de polietileno.....	35
<b>Capítulo III. Materiales y Métodos.....</b>	<b>36</b>
3.1. Metodología de la Investigación.....	36
3.1.1. Tipo de investigación.....	36
3.1.2. Nivel de investigación.....	36
3.1.3. Diseño de investigación.....	36
3.2. Formulación de la Hipótesis.....	38
3.2.1. Hipótesis General.....	38
3.2.2. Hipótesis específicas.....	38
3.3. Prueba de Hipótesis.....	38
3.4. Identificación de Variables.....	40
3.5. Población y Muestra.....	41

3.5.1. Población.....	41
3.5.2 Muestra.....	41
3.5.2.1. Descripción de la muestra.....	41
3.5.2.2. Cuantificación de la muestra .....	41
3.5.2.3. Método del muestreo .....	42
3.5.2.4. Criterios de valoración de la muestra .....	42
3.6. Materiales .....	42
3.6.1. Cemento.....	42
3.6.2. Agua.....	43
3.6.3. Agregados.....	43
3.6.3.1. Cantera .....	43
3.6.3.2. Agregado Fino .....	43
3.6.3.2.1. Análisis granulometría para el agregado fino .....	44
3.6.3.2.2. Contenido de humedad del agregado fino.....	45
3.6.3.2.3. Peso específico y absorción del agregado fino .....	45
3.6.3.2.4. Peso unitario del agregado fino.....	47
3.6.3.2.5. Contenido de material que pasa la Malla N°200.....	48
3.6.3.3. Agregado Grueso.....	49
3.6.3.3.1. Análisis granulometría para el agregado grueso .....	49
3.6.3.3.2. Contenido de humedad del agregado grueso.....	51
3.6.3.3.3. Peso específico y absorción del agregado grueso .....	51
3.6.3.3.4. Peso unitario del agregado grueso.....	52
3.6.3.3.5. Contenido de material que pasa la Malla N°200.....	53
3.6.4. PET utilizado.....	53
3.7. Diseño de la Mezcla del Concreto.....	55
3.7.1. Diseño del concreto patrón. ....	56
3.7.2. Diseño del concreto experimental .....	61
3.8. Procedimiento de la Investigación.....	62
3.8.1. Elaboración de probetas cilíndricas.....	62
3.8.2. Curado.....	62



3.9. Pruebas .....	63
3.9.1. Pruebas en estado fresco. ....	63
3.9.1.1. Ensayo de revenimiento.....	63
3.9.1.2. Peso unitario. ....	64
3.9.2. Pruebas en estado endurecido. ....	64
3.9.2.1. Ensayo a la compresión.....	64
3.9.2.2. Ensayo de conductividad térmica.....	64
<b>Capítulo IV. Resultados y Discusión .....</b>	<b>67</b>
4.1. Presentación de Resultados .....	67
4.1.1. Trabajabilidad. ....	67
4.1.2. Peso unitario.....	67
4.1.3. Resistencia a la compresión. ....	71
4.1.4. Conductividad térmica.....	73
4.2. Interpretación de Resultados .....	73
4.2.1. Agregados. ....	74
4.2.1.1. Agregado fino.....	74
4.2.1.2. Agregado grueso. ....	74
4.3. Propiedades del Concreto en Estado Fresco .....	74
4.3.1. Trabajabilidad. ....	74
4.3.2. Peso unitario.....	76
4.4. Propiedades del Concreto en Estado Endurecido.....	77
4.4.1. Resistencia a la compresión. ....	77
4.4.2. Conductividad Térmica .....	79
4.5. Prueba de Hipótesis de Investigación .....	80
4.5.1. Prueba de hipótesis específica de investigación (Trabajabilidad del concreto).....	80
4.5.2. Prueba de hipótesis específica de investigación (Peso unitario). ....	83
4.5.3. Prueba de hipótesis específica de investigación (Resistencia a la compresión). ....	85
4.5.4. Prueba de hipótesis específica de investigación (Conductividad térmica). ....	90
<b>Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>93</b>
5.1. Conclusiones .....	93

5.1.1. Conclusión general. ....	93
5.1.2. Conclusiones específicas.....	93
5.2. Recomendaciones .....	94
<b>Referencias</b> .....	<b>96</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>98</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. Clases de mezcla según su asentamiento .....	24
Tabla 2. Valores de conductividad térmica del concreto .....	26
Tabla 3. Compuestos químicos principales del cemento.....	27
Tabla 4. Límites de porcentajes de compuestos del cemento .....	27
Tabla 5. Requisitos que debe cumplir el agua en la preparación del concreto .....	29
Tabla 6. Propiedades del tereftalato de polietileno PET.....	33
Tabla 7. Procedimiento para la validación de la hipótesis .....	38
Tabla 8. Elección de la prueba estadística.....	39
Tabla 9. Cuadro de operación de variables.....	41
Tabla 10. Límites de granulometría según el A.S.T.M.....	44
Tabla 11. Límites granulométricos para el agregado grueso .....	50
Tabla 12. Característica de los agregados para el diseño de mezcla.....	56
Tabla 13. Datos para realizar el diseño de mezcla.....	56
Tabla 14. Resistencia a la compresión promedio.....	57
Tabla 15. Volumen unitario de agua .....	57
Tabla 16. Contenido de aire atrapado.....	58
Tabla 17. Relación agua - cemento por resistencia .....	58
Tabla 18. Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto .....	59
Tabla 19. Volúmenes absoluto por metro cúbico .....	60
Tabla 20. Proporción del diseño para un metro cubico .....	61
Tabla 21. Proporción del diseño para una bolsa de cemento.....	61
Tabla 22. Proporciones de diseño del concreto experimental (CE) para un metro cubico	61
Tabla 23. Proporciones de diseño del concreto experimental (CE) para una bolsa de cemento.....	62
Tabla 24. Medición de slump del concreto patrón y experimental .....	67
Tabla 25. Peso unitario del concreto patrón.....	68
Tabla 26. Peso unitario del concreto experimental (CE1) .....	68
Tabla 27. Peso unitario del concreto experimental (CE2) .....	69
Tabla 28. Peso unitario del concreto experimental (CE3) .....	69
Tabla 29. Peso unitario del concreto experimental (CE4) .....	70

Tabla 30. Resistencia a la compresión del concreto a una edad de 7 días .....	71
Tabla 31. Resistencia a la compresión del concreto a una edad de 14 días .....	71
Tabla 32. Resistencia a la compresión del concreto a una edad de 28 días .....	72
Tabla 33. Resultados del ensayo de conductividad térmica .....	73
Tabla 34. Resumen de resultados de los ensayos de trabajabilidad .....	75
Tabla 35. Resumen de los resultados de Peso unitario del concreto .....	76
Tabla 36. Resumen de la resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días.....	77
Tabla 37. Resumen de resultados del ensayo de conductividad térmica .....	79
Tabla 38. Estadísticos descriptivos de la trabajabilidad .....	81
Tabla 39. Prueba estadística ANOVA para la trabajabilidad .....	82
Tabla 40. Comparaciones múltiples de Dunnett para la trabajabilidad .....	82
Tabla 41. Datos estadísticos descriptivos del peso unitario .....	84
Tabla 42. Prueba estadística ANOVA para el peso unitario .....	84
Tabla 43. Comparaciones múltiples de Dunnett para la trabajabilidad .....	84
Tabla 44. Datos estadísticos descriptivos de la resistencia a los 7 días.....	86
Tabla 45. Prueba estadística ANOVA para resistencia a los 7 días. ....	86
Tabla 46. Comparaciones múltiples de Dunnett para Resistencia a la compresión a los 7 días.....	87
Tabla 47. Datos estadísticos descriptivos de Resistencia a la compresión a los 14 días .	87
Tabla 48. Prueba estadística ANOVA para la resistencia a la compresión a los 14 días..	88
Tabla 49. Comparaciones múltiples de Dunnett para la resistencia a compresión a los 14 días.....	88
Tabla 50. Datos estadísticos descriptivos de Resistencia a la compresión a los 28 días .	88
Tabla 51. Prueba estadística ANOVA para la resistencia a la compresión a los 28 días..	89
Tabla 52. Datos estadísticos descriptivos de resistencia a la compresión a los 28 días...	89
Tabla 53. Datos estadísticos descriptivos .....	91
Tabla 54. Prueba estadística ANOVA para la conductividad térmica .....	91
Tabla 55. Comparaciones múltiples de Dunnett para conductividad termina .....	91

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto ...	23
<i>Figura 2.</i> Cono de Abrams .....	24
<i>Figura 3.</i> Formula química del PET.....	32
<i>Figura 4.</i> Esquema del diseño experimental .....	37
<i>Figura 5.</i> Flujograma de la investigación.....	37
<i>Figura 6.</i> Esquema de representación de grupos.....	39
<i>Figura 7.</i> Fotografía área de la cantera isla.....	43
<i>Figura 8.</i> Saco con hojuelas de PET .....	54
<i>Figura 9.</i> Lavado de la muestra .....	54
<i>Figura 10.</i> Secado de las hojuelas de PET .....	55
<i>Figura 11.</i> Medición del asentamiento del concreto fresco.....	63
<i>Figura 12.</i> Transferencia de calor que se da desde el punto 1 hasta el punto 2.....	64
<i>Figura 13.</i> Descripción gráfica del ensayo realizado.....	65
<i>Figura 14.</i> Comparativa de asentamiento en porcentajes del concreto patrón - concretos experimentales. ....	75
<i>Figura 15.</i> Comparativa de peso unitario en porcentajes del concreto patrón - concretos experimentales. ....	76
<i>Figura 16.</i> Comparación de resultados a la compresión del diseño de concreto 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	78
<i>Figura 17.</i> Diagrama de conductividad térmica de las muestras de concreto. ....	79

## Índice de anexos

<b>Anexo A. Propiedades de los componentes del concreto.....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo B. Ficha técnica del cemento. ....</b>	<b>106</b>
<b>Anexo C. Diseño de mezcla. ....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo D. Constancias de laboratorio.....</b>	<b>120</b>
<b>Anexo E. Panel fotográfico .....</b>	<b>124</b>

## Símbolos usados

%	: Porcentaje
°C	: Grados Celsius
ACI	: American Concrete Institute
AF	: Agregado fino
AG	: Agregado grueso
ANOVA	: Análisis de varianza
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CE	: Concreto experimental
COP20	: Conferencia de las Partes
CP	: Concreto patrón
F'c	: Resistencia a la compresión
F'cr	: Resistencia promedio a la compresión del concreto requerida
FRC	: Fibras recubierta de caucho
J/sm <sup>2</sup>	: Joule por segundo metro cuadrado
k	: Conductividad térmica
Kg/cm <sup>2</sup>	: Kilogramos por centímetro cuadrado
MINAM	: Ministerio del Ambiente
N°	: Número
NTP	: Norma técnica peruana
°K	: Grados Kelvin
PET	: Tereftalato de polietileno
PN	: Polvo de neumático
W/m°K	: Watt por metro kelvin
α	: Nivel de significancia

## Resumen

La presente investigación tiene como propósito evaluar el comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno (PET), enfocándose principalmente en la variación de las propiedades del concreto en estado fresco (peso unitario y trabajabilidad) y concreto en estado endurecido (resistencia a la compresión y conductividad térmica). El tereftalato de polietileno reciclado se clasifica como agregado artificial; por lo tanto, se reemplaza el agregado fino y grueso en porcentajes en el diseño de mezcla del concreto, modificando sus propiedades mecánicas y térmicas, con la finalidad de incentivar el reciclaje en la región de Puno. El diseño de mezcla del concreto fue realizado en base al comité 211 del American Concrete Institute (ACI), diseñando un concreto patrón de 210 kg/cm<sup>2</sup> y concreto experimental con incorporación de tereftalato de polietileno con los porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12% respecto al peso de los agregados. Para el diseño de mezcla del concreto se utilizó: Cemento Rumi tipo IP, agregados naturales, agua potable y hojuelas de tereftalato de polietileno, las mismas que se obtuvieron de la trituración de botellas de plástico. Con lo cual se determinó las propiedades mecánicas y térmicas del concreto, teniendo en su dosificación de mezcla una relación de agua/cemento de 0.56. Al realizar las briquetas con la incorporación del tereftalato de polietileno, se procedió con los ensayos para determinar sus propiedades en estado fresco y endurecido. Concluyendo que el concreto en estado fresco con la incorporación tereftalato de polietileno en los porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12% disminuye su trabajabilidad en 17.14, 40.00, 71.43 y 94.29% y aligera su peso unitario en 2.37, 4.79, 10.97 y 13.47% en estado endurecido disminuye su resistencia a la compresión a los 28 días en 13.19, 39.19, 47.41 y 60.54%; así mismo, mejora su comportamiento térmico al disminuir su conductividad térmica en 8.14, 18.57, 24.64 y 29.74% respectivamente.

**Palabras clave:** Hojuelas de PET, concreto patrón, trabajabilidad, peso unitario, resistencia a la compresión e conductividad térmica.



## Abstract

The purpose of this research is to evaluate the mechanical and thermal behavior of concrete with the incorporation of polyethylene terephthalate (PET), focusing mainly on the variation of the properties of fresh concrete (unit weight and workability) and concrete in hardened state (resistance to compression and thermal conductivity). Recycled polyethylene terephthalate is classified as artificial aggregate; therefore, the fine and coarse aggregate is replaced in percentages in the concrete mix design, modifying its mechanical and thermal properties, with the purpose of encouraging recycling in the Puno region. The concrete mix design was made based on the 211 committee of the American Concrete Institute (ACI), designing a concrete pattern of 210 kg / cm<sup>2</sup> and experimental concrete with incorporation of polyethylene terephthalate with the percentages of 3%, 6%, 9% and 12% with respect to the weight of the aggregates. For the design of the concrete mix, the following was used: Rumi type IP cement, natural aggregates, drinking water and polyethylene terephthalate flakes, which were obtained from the crushing of plastic bottles. With which the mechanical and thermal properties of the concrete were determined, taking a water / cement ratio of 0.56 in its mixture dosage. When carrying out the briquettes with the incorporation of polyethylene terephthalate, the tests were carried out to determine their properties in a fresh and hardened state. Concluding that the fresh concrete with the incorporation polyethylene terephthalate in the percentages of 3%, 6%, 9% and 12% decreases its workability in 17.14, 40.00, 71.43 and 94.29% and lightens its unit weight in 2.37, 4.79, 10.97 and 13.47% in hardened state decreases its resistance to compression at 28 days in 13.19, 39.19, 47.41 and 60.54%; Likewise, it improves its thermal behavior by decreasing its thermal conductivity in 8.14, 18.57, 24.64 and 29.74% respectively.

**Keywords:** PET flakes, pattern concrete, workability, unit weight, compressive strength and thermal conductivity.

## Capítulo I. El Problema

### 1.1. Planteamiento Del Problema

En la región de Puno según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2009) estima que se genera alrededor de 641 toneladas por día de residuos sólidos de los cuales se encuentra una considerable cantidad de botellas de tereftalato de polietileno (PET), esto debido a que en la región la mayor cantidad de bebidas envasadas se ingieren en envases de botellas de PET. Convirtiéndose en un residuo despreciable debido a que no se degrada con facilidad, causando daños como inundaciones debido a que estas llegan a parar en drenajes obstruyendo el flujo normal de aguas fluviales y deteriorando el aspecto visual del ambiente.

Así también (Ruiz, 2014) afirma que el problema es mayor si se toma en cuenta que en el Perú está prohibido que los desechos reciclados de estas botellas elaborados con PET sirvan como insumo para elaborar envases nuevos (párr.3). Lo que conlleva a la aglomeración de botellas de PET en nuestra región de Puno, sin poder tener opción de uso como un material reciclado.

Se considera una tecnología constructiva adecuada al no requerir un considerable gasto de energía, que no cause desechos ni contaminación, climáticamente aceptable entre otros aspectos. Y que tiene escasa incidencia sobre el medio (Ronald, 2004). Por ello el avance tecnológico del concreto es buscar alternativas ecológicas que ayuden a la sostenibilidad y protección al medio ambiente, dando lugar a materiales como el plástico PET como alternativa de material de construcción en la elaboración de concreto ya que como ventaja se tiene que estas pueden ser recicladas. Por otro lado, se ignora las evaluaciones en propiedades mecánicas y térmicas del concreto con la incorporación de PET para crear materiales compuestos, dado que las empresas encargadas de la elaboración de concreto en la región Puno no exploran las ventajas de otros materiales. Por lo cual la presente investigación busca evaluar sus propiedades mecánicas y térmicas del concreto al incorporar PET reciclado, para minimizar el impacto del PET como residuo, que vaya a causar un daño ambiental y de funcionamiento en el sistema de drenaje de aguas fluviales en la región de Puno.

Conforme a lo descrito en el planteamiento del problema se genera las siguientes interrogantes de investigación.

## **1.2. Interrogantes de la Investigación**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Cómo influye la incorporación de tereftalato de polietileno reciclado en las propiedades mecánicas y térmicas del concreto?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

¿Cuál es el comportamiento de la trabajabilidad que existe entre el concreto normal y el concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado respecto al peso de los agregados?

¿Cómo influye la incorporación de tereftalato de polietileno reciclado respecto al peso de los agregados en su peso unitario del concreto?

¿Cuál es la variación en la resistencia de compresión de un concreto normal y el concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado respecto al peso de los agregados?

¿Cómo influye la incorporación de tereftalato de polietileno reciclado respecto al peso de los agregados en su conductividad térmica del concreto?

## **1.3. Objetivo de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo general.**

Evaluar el comportamiento mecánico y térmico del concreto al incorporar tereftalato de polietileno reciclado, mediante pruebas de laboratorio.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

Determinar el comportamiento de la trabajabilidad del concreto patrón y el concreto incorporado 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno reciclado con respecto al peso de los agregados, mediante la prueba de cono de Abrams.

Determinar el peso unitario de un concreto patrón y del concreto incorporando 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno con respecto al peso de los agregados

Determinar la variación de la resistencia a compresión del concreto patrón de 210 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia con el concreto incorporado 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno con respecto al peso de los agregados.

Determinar la conductividad térmica del concreto patrón y el concreto con incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno con respecto al peso de los agregados.

#### **1.4. Justificación**

En la actualidad el uso del concreto viene incrementando debido a la demanda de construcciones en la región de Puno dando uso a la materia prima que es el agregado grueso y agregado fino creando molestia ambiental en los lugares donde es extraído dicho material. Las botellas de PET reciclado pueden ayudar a la disminución del uso del agregado en la elaboración de concreto y así poder minimizar el impacto ambiental en las canteras de la región de Puno. El escaso conocimiento sobre el uso del PET reciclado a partir de envases de botellas provoca el desconocimiento de las características y beneficios que presenta este material como un elemento en la elaboración de concreto, lo cual conlleva al desperdicio, ya que el reciclado en nuestra región de Puno es limitado.

Por ello esta investigación busca estudiar las propiedades mecánicas y térmicas del concreto con la incorporación de hojuelas de PET reciclado teniendo en consideración que el PET tiene alta resistencia frente a esfuerzos permanentes de desgaste, además cuenta con alta rigidez y dureza. Todo esto con la finalidad de dar información técnica como es: trabajabilidad, peso unitario, resistencia a la compresión y conductividad térmica. Con lo cual poder tomar en consideración al PET como un elemento en la elaboración de concreto, y a su vez ayudar a aumentar el reciclaje de botellas de PET en la región de Puno, y minimizando el efecto de los residuos de embaces de botellas de plástico PET en un futuro.

Teniendo presente que el concreto es un material esencial para el sector de la construcción, es necesario hacer investigaciones para poder hallar técnicas, tecnologías y la posible utilización de otros productos no convencionales, en este caso el plástico, y que esto permita mezclas de concreto más adecuadas, eficientes, livianas, ecológicas y económicas.

La Escuela de Ingeniería Civil con caracterización de centro de generación y extensión de conocimiento pone a interés de investigación innovadora y que la región disponga alternativas de solución a problemas de ingeniería motivando a la mejora de materiales innovadores que sea de ayuda a nuestra sociedad.

## Capítulo II. Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

Flores, N. Flores, Hernández y Navacerrada (2017) dando a conocer en este trabajo de investigación titulado “Mechanical and thermal properties of concrete incorporating rubber and fibres from tyre recycling” el estudio de las propiedades térmicas y mecánicas del hormigón añadiendo polvo de neumático (PN) y del acero o plástico fibras recubierta de caucho (FRC). El PN usualmente agregado del hormigón y FRC es un agregado nuevo. FRC consiste de fibras recubiertas con PN extraído del reciclaje de neumáticos, en la granulación y antes de separar al 100% del caucho. Sus propiedades mecánicas del hormigón con caucho es cambiar el 100% de su volumen de su agregado de piedra obteniéndose por medio del ensayo de flexión, impacto, compresión y desgasten la prueba de resistencia de dureza, modulo, índice de tenacidad y absorción de energía de impacto. Concreto agregando FRC da el mismo o mejora el comportamiento mecánico de hormigón cubiertas de goma usualmente. Su conductividad térmica (k) de hormigón con FRC como agregado es similar al hormigón con PN, y es más bajo que el hormigón normal. Por conclusión algunas propuestas de sistemas constructivas del hormigón recubierto con goma para la restauración térmica de edificios se verificarán con un software dando lugar a una reducción significativa de sus propiedades térmicas.

Morales (2016) realizo en su trabajo de investigación titulada “Estudio del comportamiento del concreto incorporando PET reciclado”, informa que su investigación da a conocer las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, variando parcialmente al agregado grueso con el tereftalato de polietileno (PET) reciclado, dando uso de materiales como: cemento Sol tipo I, el agregado fino y grueso, los dos para la mezcla de la muestra patrón, el PET reciclado el cual es proveniente de las botellas plásticas trituradas. En esta investigación se establecieron para el diseño de mezcla de concreto con la norma ACI 211.1 y su metodología del agregado global, así determinando sus propiedades físicas de cada uno de los agregados, en dosificaciones distintas de mezcla de concreto patrón como: la relación agua/cemento (0.70, 0.65 y 0.60) y en remplazo de su peso del agregado grueso con PET reciclado de 5, 10 y 15 %. Haciendo el vaciado de concreto con el plástico PET reciclado y ensayando los testigos en estado endurecido con las normas existentes y vigentes, dando a conocer los resultados en sus estados como: en estado fresco su peso unitario disminuye a mas remplazo con PET

obteniéndose un concreto ligero en la muestra con el 15% de PET reciclado, y en el estado endurecido fue afectado en la resistencia, conociéndose que a mas PET menor resistencia, finalizando se informa que el PET reciclado es un agregado artificial, y que si se da uso de este como agregado ayudaría al medio ambiente.

Parizaca (2015) realizado en su trabajo de investigación titulado “Comportamiento de la trabajabilidad y la resistencia a compresión de un concreto de alta resistencia inicial por adición de polímeros súper absorbentes en la ciudad de Puno”, el objetivo de la investigación fue de determinar el comportamiento de la trabajabilidad y la resistencia a compresión de un Concreto de Alta Resistencia Inicial por adición de polímeros súper absorbentes en la ciudad de Puno, a través de pruebas de laboratorio. Para el logro de sus objetivos se ejecutó el diseño de concreto de  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  por el método del comité 211 del ACI, el cual tuvo incorporación de superplastificante y microsilice. En recomendación del fabricante de superplastificante y microsilice para sus diseños de prueba da dos rangos para cada uno, realizando el ensayo a compresión a sus 7 días. Hallando la alta resistencia sin polímeros súper absorbentes y la alta resistencia añadiendo el polímero súper absorbente de 0.1% del peso de cemento indica el aumento de asentamiento y resistencia a compresión, en cambio añadiendo 0.15% y 0.2% indica un asentamiento mayor, pero una disminución en la resistencia a la compresión, generando que a mayor del 0.1% es malo para el concreto.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. Concreto.**

#### **2.2.1.1. Definición.**

El concreto viene a ser un producto artificial compuesto que sirve como un medio de liga que se le denomina pasta, dentro de la cual se encuentran partículas empaçadas de un medio ligado que se denomina agregado (Rivva, 2004). El concreto tiene propiedades como cohesividad, trabajabilidad, conductividad termica, durabilidad y resistencia, el cual lo convierte en un material idoneo en las construcciones de viviendas, edificios, puentes, represas entre otros.

La palabra concreto deriva del ingles “concrete”; procede del latín y significa “espeso”, “condensado”, empleandos, desde 1834, para designar al material de construccion que tratamos, mientras que la palabra “hormigón” aparece con anterioridad en el Diccionario de las Nobles Artes para instrucción de aficionados y uso de los Profesores, de Diego Antonio Rejón de Silva, fijado en 1788,

definiéndose como: “Argamasa, compuesta de piedrecilas menudas, cal y betún, que dura. También se hace sin betún”. (Fernández, 2013, p.1)

### **2.2.1.2. Componentes del concreto.**

El concreto es un elemento de la construcción heterogéneo que está conformado por varios compuestos, que principalmente lo componen: el agua, cemento, agregado fino y agregado grueso (Rivva, 1992, p.13).

Así también al concreto se le puede añadir opcionalmente aditivos, que al inicio se persive un compuesto plástico y moldeable, que posteriormente adquiere propiedades resistentes y aislantes. (Pasquel, 1998). En la siguiente Figura 1 se muestra las proporciones de los componentes en volumen absoluto del concreto.

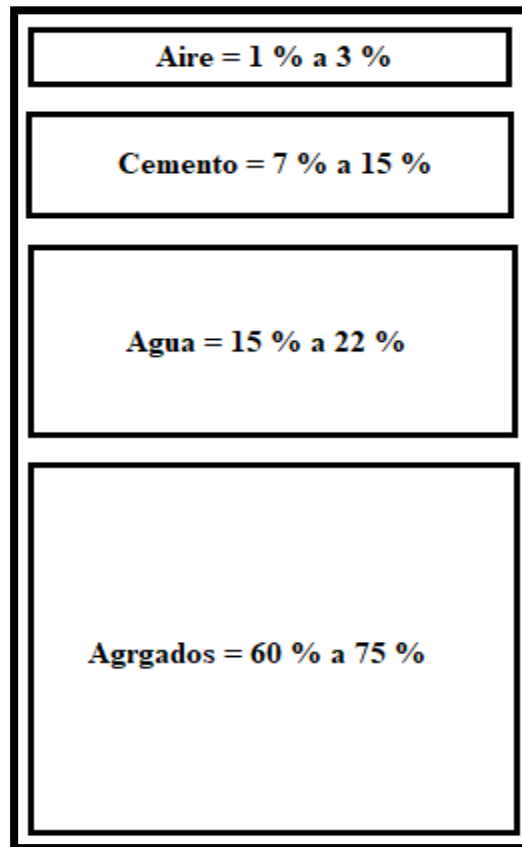


Figura 1. Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto. Adaptado de "Tópicos de tecnología del concreto", por Pasquel E., 1999, p. 1.

### **2.2.1.3. Propiedades del concreto en estado fresco.**

#### **2.2.1.3.1. Trabajabilidad.**

Está definida por la mayor o menor dificultad para el transporte, mezclado, compactación y colocación del concreto. Su evaluación es relativa (...), ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y

compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian. (Pasquel, 1999, p. 131)

La trabajabilidad está influenciada principalmente por el contenido de agua, pasta y el equilibrio adecuado entre el agregado grueso y agregado fino, el cual produce en un caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento de la masa (Pasquel, 1999).

Así también la trabajabilidad es la facilidad que presenta el concreto para ser mezclado, puesto y acabado sin tener segregación ni exudación durante todas las operaciones. Esta propiedad se puede apreciar mediante el ensayo de consistencia. Y para el caso de diseño de mezcla de concreto la trabajabilidad se elegirá mediante un tamaño de slump, en la siguiente Tabla 1 se puede apreciar la relación que hay entre la trabajabilidad y el slump.

Tabla 1  
Clases de mezcla según su asentamiento

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método De Compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Chuseado

Nota: Adaptado de "Tecnología del concreto", por Abanto F., 2013, p. 49. Copyright 2013 por San Marcos.

El equipo para realizar este ensayo consiste en un cono, que consta de dos círculos sus bases paralelos entre ellos midiendo 10 cm y 20 cm los diámetros la altura del equipo es de 30 cm. El molde deberá constituir una base de acero galvanizado, que deberá tener un espesor mínimo de 1.5mm. Para poder realizar el compactado del material se deberá contar también con una barra de acero de longitud de 60 cm y de 5/8" de diámetro y la punta de esta deberá ser semiesférica (Abanto, 2013).

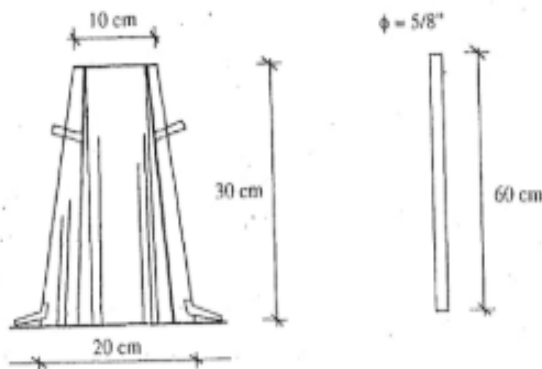


Figura 2. Cono de Abrams. Tomado de "Tecnología del concreto", por Abanto F., 2013, p. 48.



#### *2.2.1.3.2. Peso unitario.*

El peso unitario del concreto depende mucho de la gravedad específica que presenta los agregados, la cantidad de aire que hay en la mezcla y de las propiedades del agregado las cuales determinan la cantidad de agua a emplearse.

El peso unitario del concreto varía con el contenido de humedad. En el agregado grueso el incremento en el contenido de humedad aumenta el peso unitario del concreto, en cambio en el agregado fino incrementos más allá de la condición de saturado superficialmente seco pueden disminuir el peso unitario del concreto esto debido a que en la película superficial de agua origina que las partículas estén juntas facilitando la compactación con incremento de volumen.

“En determinados tipos de obras. La selección de las proporciones de la mezcla de concreto es efectuada fundamentalmente para obtener alta densidad. En estos casos, empleando agregados especiales (...)” (Rivva Lopez, 1992, p. 41).

#### **2.2.1.4. Propiedades del concreto en estado endurecido**

##### *2.2.1.4.1. Resistencia a la compresión*

La resistencia del concreto es la capacidad de esta de soportar cargas, esto debido a las propiedades adherente que presenta la pasta de cemento. Esto depende principalmente de donde este concentrado la pasta de cemento, que se expresa en términos de relación agua y cemento (a/c). La resistencia del concreto también se ve afectado por varios factores que influyen las características resistentes de la pasta como son; la temperatura, el tiempo, cemento y características resistentes del cemento y la calidad de los agregados (Pasquel, 1999).

La resistencia a compresión del concreto se mide ensayando probetas de concreto en el laboratorio. Las probetas cilíndricas que se ensayan son con la finalidad de la aceptación del concreto (que el concreto enviado a obra cumpla con la resistencia especificada) y para poder estimar su resistencia a una edad determinada American Concrete Institute (ACI, 2009).

##### *2.2.1.4.2. Conductividad térmica*

(Nevilla, 2013) Menciona que la conductividad térmica es la que mide la conducción de calor y se da como la relación de flujo de calor en relación del gradiente de temperatura. La conductividad térmica (K) se mide en Joules por segundo por metro cuadrado del área del cuerpo cuando varía la temperatura 1°C por metro de espesor del cuerpo. Su variación de temperatura del concreto es de 1.4 y 3.6 J/m<sup>2</sup>\*s. mostrada en la Tabla 2, se ve el

carácter mineralógico del agregado afectando la conductividad del concreto que tiene. El grado de saturación del concreto es primordial, porque la conductividad del agua es más alta que la conductividad del aire.

Tabla 2  
Valores de conductividad térmica del concreto

Valores de conductividad Térmica de materiales (W/m.K)			
Acero	47-58	Hierro	1.7
Agua	0.58	Ladrillo	0.80
Aire	0.02	Ladrillo refractario	0.47-1.05
Alcohol	0.16	Latón	81-116
Alpaca	29.1	Litio	301.2
Aluminio	237	Madera	0.13
Amianto	0.04	Mercurio	83.7
Bronce	116-186	Mica moscovita	0.72
Cinc	106-140	Níquel	52.3
Cobre	372.1-385.2	Otro	308.2
Concreto <sup>a</sup>	0.80	Parafina	0.21
Corcho	0.04-0.30	Plata	406.1-418.7
Estaño	64.0	Plomo	35.0
Fibra de vidrio	0.03-0.07	Vidrio	0.6-1.0
Glicerina	0.29	Piel humana	0.37

Nota: <sup>a</sup> En la tabla se aprecia la conductividad térmica del concreto en unidades de W/m.K= watt por metro kelvin. Tomado de "Metodos de transferencia de calor", por Rosas E., 2013, p. 12.

### 2.2.2. Cemento.

El cemento es un material pulverizado que contiene propiedades que por el incremento de cantidad adecuada de agua, se obtiene una mezcla homogénea en forma de pasta conglomerante con la capacidad de endurecer tanto bajo la exposición de aire y agua, resultando compuestos uniformes. Quedan fuera de la mencionada definición las cales aéreas, cales hidráulicas y yesos (Rivva, 2004).

#### 2.2.2.1. Compuestos químicos.

Los compuestos químicos del cemento presenta cuatro principales compuestos químicos que lo conforman. Mediante el proceso de la unión de la materia prima se da origen al Clinker formándose aluminatos cálcicos, silicatos cálcicos y ferritos de forma compleja. La fórmula en donde se compone los cuatro compuestos primordiales que conforman el 90% del peso total del cemento, observando de la manera abreviada en la tabla tabla 3.

Tabla 3  
*Compuestos químicos principales del cemento*

COMPUESTO	FÓRMULA
Silicario tricálcico:	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$
Silicato bicálcico:	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico:	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_3 = \text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tricálcico:	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$

Nota: Adaptado de "Naturaleza del concreto", por Rivva E., 2004, p.50. Copyright 2013 por San Marcos.

Los límites aceptables que de los cuatro compuestos que se deberá tomar en consideración en el proceso de la elaboración del cemento son los que se muestran en la Tabla 4 que se aprecia a continuación.

Tabla 4  
*Límites de porcentajes de compuestos del cemento*

FÓRMULA	PORCENTAJE
C3S	30% a 60%
C2S	15% a 37%
C3A	7% a 15%
C4AF	8% a 10%

Nota: Adaptado de "Naturaleza del concreto", por Rivva E., 2004, p.50. Copyright 2013 por San Marcos.

Abanto (2013) Describe que cada uno de los compuestos principales que compone el cemento ayuda en su comportamiento, cuando este pasa del estado plástico al endurecido después del proceso de hidratación como por ejemplo:

- **El silicato tricálcico (C3S).** Este componente es el que produce resistencia inicial al cemento hidratado. La reacción que presenta este componente en relación con el agua es el desprendimiento de gran cantidad de calor que es más conocido por la calor de hidratación. El endurecimiento guarda relación directamente en proporción con el calor de hidratación.
- **El silicato dicálcico (C2S).** Este componente es el principal causal de la resistencia que presenta posteriormente el cemento.
- **El aluminato tricálcico (C3A).** El yeso añadido al cemento durante el proceso de la trituración se mezcla con (C3A) para así poder controlar el proceso de fraguado.
- **La aluminoferrita tricálcica (C4AF).** Este material es muy similar al C3A, debido a la rapidez de hidratación que presenta y que fomenta la baja resistencia.

### **2.2.2.2. Tipos de cemento portland.**

Los tipos de cemento están dados en relación a la variación de las proporciones de los componentes principales, los mismos dan como resultado mejoras en algunas de sus propiedades.

Dentro de los tipos de cemento tenemos el cemento portland el cual es obtenido por medio de la pulverización del Clinker Portland con la adición ocasional de sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), y también el cemento portland puzolánico el que es obtenido por la pulverización en global de la puzolana y clinker con adición ocasional de el sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ). Rivva (2004) menciona “La totalidad de los cementos empleados en el Perú son cementos portland tal como los especifica la Norma ASTM C 150; o cementos combinados, de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM C 595” (p.95).

Los tipos de cemento portland según Pasquel (1999) son:

- **Tipo I.-** De uso general, donde no se requieren propiedades especiales.
- **Tipo II.-** De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Para emplearse en estructuras con ambientes agresivos y/o en vaciados masivos.
- **Tipo III.-** Desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Para uso en clima frío ó en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de las estructuras.
- **Tipo IV.-** De bajo calor de hidratación. Para concreto masivo.
- **Tipo V.-** Alta resistencia a los sulfatos. Para ambientes muy agresivos.

Cuando a los tres primeros tipos de cemento se les adiciona el sufijo A (p.e. Tipo IA) significa que son cementos a los que se les ha añadido incorporadores de aire en su composición, manteniendo las propiedades originales.

- **Tipo IS.-** Cemento al que se ha añadido entre 25% a 70% de escoria de altos hornos referido al peso total.
- **Tipo ISM.-** Cemento al que se ha añadido menos de 25% de escoria de altos hornos referido al peso total.
- **Tipo IP.-** Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila entre el 15% y 40% del peso total.
- **Tipo IPM.-** Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje hasta del 15% del peso total (38).

### 2.2.3. Agua.

El agua es el segundo componente que conforma el concreto, haciendo su uso en el amasado del concreto. Abanto (2013) describe que el agua en la preparación del concreto es un componente muy primordial, el cual está vinculado directamente con la trabajabilidad, resistencia y propiedades del concreto cuando este llega a endurecer.

El agua que se debe usar para la preparación del concreto debe ser limpia sin cantidades de álcalis, material orgánico, aceites, ácidos entre otras sustancias que son perjudiciales tanto al concreto como al acero.

En caso de no estar seguros con el agua a emplearse en la elaboración del concreto, se deberá hacer un análisis químico para luego comparar estos resultados con los límites permitidos que se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5  
*Requisitos que debe cumplir el agua en la preparación del concreto*

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

Nota: donde ppm significa partes por millón o miligramos por litro. Adaptado de "Tecnología del concreto", por Abanto F., 2013, Tecnología del Concreto, p.21. Copyright 2013 por San Marcos.

Por otro lado, con respecto al agua para el curado del concreto, las aguas adecuadas para amasado o mezcla del concreto también lo son para el curado. En tanto el peligro de sustancias nocivas para la mezcla de concreto no resulta muy peligrosas para el curado esto debido principalmente a que en el proceso del curado el agua está en contacto con el concreto un tiempo muy corto. Por otro lado, en curados extendidos y principalmente cuando el curado se realiza por inmersión, en este caso el agua con sustancias nocivas puede ser perjudiciales (Fernández, 2013).

### 2.2.4. Agregados.

Son materiales que pueden ser de origen natural o artificial que forman parte del esqueleto del concreto, se define también como el conjunto partículas pétreas, cuyo uso en el concreto debe estar comprendido bajo parámetros según tamaño mismos que son fijados por las normas técnicas peruanas (NTP).

Los agregados o también llamados áridos, son componentes del concreto inertes que al ser mezclado con algún aglomerante y el agua forman una pasta que son los concretos y morteros (Abanto, 2013).

Pasquel (1999) define que el agregado es un elemento inerte que forma parte del concreto los mismos que son aglomerados por una pasta de cemento logrando formar un elemento estructural consistente. El agregado ocupa aproximadamente el 75% del volumen total del concreto.

Se conoce que el concreto está compuesto por una pasta de cemento y agua en la cual se encuentran mojadas partículas de material conocido como agregado, el cual ocupa aproximadamente del 65% al 80% del volumen de la unidad total del concreto.

Por otro lado, el agregado es el material que aporta más porcentaje a una unidad de volumen de concreto. Los agregados se pueden obtener o pueden ser producidos a partir de las fracturas de las rocas (Rivva, 2000).

#### **2.2.4.1. Agregado fino.**

Se denomina agregado fino a la arena o piedra natural que es triturada, en dimensiones que deben de pasar la malla de 3/8" (9.5mm) los cuales deben de cumplir con los parámetros establecidos según las especificaciones del reglamento para agregados de concreto según la Norma Técnica Peruana (NTP 400.037, 2014).

#### **2.2.4.2. Agregado grueso.**

Se denomina agregado grueso al material que proviene de la fragmentación natural o mecánica y que este debe ser atrapado en la malla N°4 (4.75mm) los cuales deben de cumplir con los parámetros establecidos según las especificaciones del reglamento para agregados de concreto según la Norma Técnica Peruana (NTP 400.037, 2014).

#### **2.2.4.3. Propiedades físicas de los agregados.**

##### **2.2.4.3.1. Granulometría.**

La granulometría es la medición de las partículas por medio de una serie de mallas que van descendiente en cuanto a su tamaño de ranura. Los límites permisibles en relación del porcentaje que pasa acumulado, los cuales deberán cumplir con los límites puestos por cada malla según la norma establecida.

#### *2.2.4.3.2. Módulo de fineza.*

El módulo de Fineza es un índice en donde se aproxima el tamaño medio de los agregados. Y para calcular el módulo de fineza de un agregado se estima haciendo la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N° 50, N°100 y posteriormente es dividida entre 100".

#### *2.2.4.3.3. Tamaño máximo.*

Menciona que el tamaño máximo de agregado esta dado en relación a la abertura de la malla superior inmediata en la que es retenida el 15% del material o más.

#### *2.2.4.3.4. Tamaño máximo nominal.*

Este es considerado como el menor tamaño de una malla por la que pasa la máxima cantidad de agregado que deberá de retener de un 5% a un 15%.

#### *2.2.4.3.5. Absorción.*

Es la capacidad del agregado tiene al poder saturar con agua los vacíos que presentan en su interior. Dicho evento se denomina capilaridad, que no termina de llenar totalmente los vacíos debido a que en estos siempre quedara aire atrapado.

#### *2.2.4.3.6. Peso específico.*

El peso específico del agregado esta o también llamado densidad. Se define como una relación entre la masa de una unidad volumétrica del material referente a la masa del agua.

#### *2.2.4.3.7. Humedad.*

Esta referida a la cantidad de agua superficial que es retenida por el material en un momento dado. Esta característica es muy importante porque ayuda a aumentar la cantidad de agua en el concreto, por ello es que se debe tomar muy en cuenta.

### **2.2.5. Tereftalato de polietileno.**

El tereftalato de polietileno o más conocido como PET, es un material el cual se caracterizan por ser muy ligera, tener alto grado de transparencia, brillo, retiene el sabor, conserva el aroma, es un muro ante la adversidad de los gases, es 100% reciclable y tiene una resistencia mecánica al estrujamiento. Lo que le permite reemplazar a otra materia como el policloruro de vinilo (PVC), el mismo que presenta una demanda muy considerable a nivel mundial. El PET es un material plástico que con él se elaboran las botellas de agua, gaseosa entre otros. Estas botellas son desechables, lo que destina a estas a parar en la

basura, y por ende terminan en, alcantarillados, calles y rellenos sanitarios. (alesmar, Réndon, & Korody, 2008)

El PET su producción comienza partiendo del petróleo crudo, aire y gas. Una unidad de PET expresado en un kilogramo tiene una composición de derivados de petróleo un 64%, aire un 13% y líquidos de gas natural un 23%. Al iniciar con el petróleo en estado crudo se obtiene el paraxileno y ello nos sirve para oxidar el aire poder dar aire al ácido tereftálico. (alesmar, Réndon, & Korody, 2008)

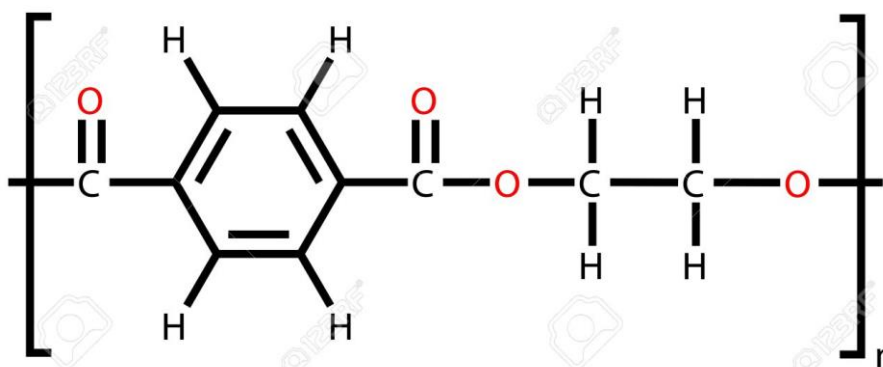


Figura 3. Fórmula química del PET. Adaptado de "Tereftalato de polietileno (poliéster, PET), la fórmula estructural" por leonid, 2019.

#### **2.2.5.1. Ventajas del tereftalato de polietileno.**

Los plásticos tienen una baja densidad, lo que puede resultar óptimo para muchos de sus usos. Una de sus características es que estos plásticos pueden ser aislantes eléctricos, por lo que no se puede conducir corriente eléctrica, también es un buen aislante térmico, pero se debe tener mucho cuidado porque pueden llegar a dañarse si se somete a altas temperaturas. Los plásticos son materiales resistentes, lo que conlleva a ser utilizado en gran cantidad para el consumo humano (WordPress, 2017).

#### **2.2.5.2. Desventajas del tereftalato de polietileno.**

Uno de los principales inconvenientes que presenta es que provocan la contaminación que producen los fabricantes de plásticos. Y a pesar que puede este material puede ser reciclado, una vez que se recicla este material no puede volver a emplearse como empaque de bebidas de consumo humano. Otro dato que se considera como una desventaja es que estos empaques llegan a parar a vertederos, un material que no es natural que al parecer nunca desaparecerá (WordPress, 2017).



### 2.2.5.3. Propiedades del tereftalato de polietileno.

El PET tiene diversas propiedades como mecánicas, eléctricas, termiticas y químicas, con el fin de que cumplan diversas especificaciones técnicas por lo que este material alcanzo un desarrollo significativo en la producción de diversos envases, que principalmente tenemos la producción de botellas, láminas, flejes y bandejas (Morales, 2016).

Las propiedades físicas de los materiales plásticos dependen de la temperatura; el aumento de la movilidad molecular, por temperatura, conduce a cambios en propiedades como: capacidad de calor, densidad, conductividad térmica, propiedades eléctricas, ópticas y entre otras.

Tabla 6  
Propiedades del tereftalato de polietileno PET.

Polietilentereftalato				pet
<b>Propiedades mecánicas a 23°C</b>	<b>unidad</b>	<b>astm</b>	<b>din</b>	<b>valores</b>
Peso específico	gr/cm <sup>3</sup>	d-792	53479	1.39
Resist. a la tracc.(fluencia / rotura)	kg/cm <sup>2</sup>	d-638	53455	900 / --
Res. a la compresión ( 1 y 2 % def)	kg/cm <sup>2</sup>	d-695	53454	260 / 480
Resistencia a la flexión	kg/cm <sup>2</sup>	d-790	53452	1450
Res. al choque sin entalla	kg.cm/cm <sup>2</sup>	d-256	53453	> 50
Alargamiento a la rotura	%	d-638	53455	15
Módulo de elasticidad (tracción)	kg/cm <sup>2</sup>	d-638	53457	37000
Dureza	shore d	d-2240	53505	85 - 87
Coef. de roce estático s/acero		d-1894		--
Coef. de roce dinámico s/acero		d-1894		0.2
Res. al desgaste por roce				muy buena
<b>Propiedades térmicas</b>	<b>unidad</b>	<b>astm</b>	<b>din</b>	<b>valores</b>
calor específico	kcal/kg.°c	c-351		0.25
Temp. de flexión b/carga (18.5kg/cm <sup>2</sup> )	°c	d-648	53461	75
Temp. de uso continuo en aire	°c			-20 a 110
Temp. de fusión	°c			255
Coef. de dilatación lineal de 23 a 100°C	por °c	d-696	52752	0.00008
Coef. de conducción térmica	kcal/m.h.°c	c-177	52612	0.25
<b>Propiedades eléctricas</b>	<b>unidad</b>	<b>astm</b>	<b>din</b>	<b>valores</b>
Constante dieléctrica a 60 hz		d-150	53483	3,4
Constante dieléctrica a 1 khz		d-150	53483	3,3
Constante dieléctrica a 1 mhz		d-150	53483	3,2
Absorción de humedad al aire	%	d-570	53472	0,25
Resistencia superficial	ohm	d-257	53482	> 10 a la 14
Resistencia volumetrica	ohms-cm	d-257	53482	> 10 a la 15
Rigidez dieléctrica	kv/mm	d-149		22
Propiedades químicas			<b>observaciones</b>	
Resistencia a hidrocarburos				buena

Resistencia a ácidos débiles a temp. Ambiente	buena
Resistencia a álcalis débiles a temp. Ambiente	buena
Resistencia a prod. químicos definidos	consultar
Efecto de los rayos solares	algo lo afectan
Aprobado para contacto con alimentos	si
Comportamiento a la combustión	arde con mediana dificultad
Propagación de llama	mantiene la llama
Comportamiento al quemarlo	Gotea
Color de la llama	amarillo anaranjado tiznado
Olor al quemarlo	aromático dulce

Nota: Se puede observar los valores del PET en cada una de sus propiedades. Adaptado de "Industrias JQ", por ISO 9001, 2016.

#### **2.2.5.4. Reciclaje de plástico.**

El reciclaje es un proceso por el cual los productos que fueron desechados son de nuevo utilizados, pudiendo así poder disminuir el empleo de materias primas nuevas. Al poder recuperar los materiales que ya fueron utilizados y poder emplearlo en la fabricación de materiales nuevos ayuda a poder cuidar nuestros recursos naturales logrando el ahorro significativo de energía como son el tiempo y agua que serían usados en su fabricación (Molina, Vizcaino y Ramírez, 2007, p. 49)

Esta existiendo un avance significativo en cuanto a la manera en la cual se recicla los plásticos dándonos varios tipos de reciclado como:

- **Reciclado mecánico.** Este desarrollo es el más económico que el reciclado químico, consisten en la recolección y clasificación de envases, trituración, lavado u extracción del polimérico. Con ello se obtiene hojuelas que por la acción de calor son usadas para poder obtener nuevos materiales, y así mismo estas hojuelas pueden ser empleadas en el uso de la fabricación de concreto al poder sustituir en porcentajes al agregado.
- **Reciclado químico.** Este tipo de reciclado consiste en la trituración de plásticos en fracciones que puedan ser utilizadas para posteriormente poder transformarlas en productos químicos u monómeros.
- **Recuperación energética.** Son materiales que no se puede reciclar de forma económica y que pueda ser medioambiental viable, por ellos es que son generalmente quemadas bajo condiciones muy bien controladas que nos sirve para la obtención de energía.

#### 2.2.5.4.1. *Proceso de reciclado mecánico del tereftalato de polietileno.*

El curso de reciclaje mecánico es básicamente el mismo para los diversos plásticos. Argueta (2006), afirma los cursos en que van son los siguientes:

1. **Acopio.** El acopio viene de recolectores ambulantes, con ello se ayuda a poder limpiar las calles y también poder reducir los rellenos sanitarios. Lo ideal para el acopio debe partir en los consumidores quienes deben separar las botellas de PET para luego llevarlas a los centros en donde se acopia, por falta de una recolección clasificada es que los recolectores son fundamentales.
2. **Compactado.** Para minimizar el volumen se compacta y así se facilita el almacenamiento y transporte. En la compactación las pacas de PET deben ser abiertas y picadas así como llegaron a la planta, en pocas palabras con todo, tapa y etiquetas.
3. **Molido.** Al realizar el molido del PET, nos ayudara a poder a distinguir y separar los diferentes tipos de polímero del material y facilitando su limpieza. Puedo obtener hojuela de medidas requeridas.
4. **Separación.** En este proceso es donde el PET se le separa de varios elementos, como polimeros distintos, metales, vidrio o papel. Su micro separación se da destapando y desetiquetando manualmente. Y la macro separación se realiza mediante la propiedad física como es la densidad o peso.
5. **Limpieza.** El reciclaje hace que se mezclen con otros tipos de compuestos, en este caso las hojuelas de PET se ensucian, por ese motivo es que se realiza el lavado del material con ello se podrá garantizar la eliminación de agentes contaminantes como son el caso de piedras, polvo aceites, solventes, restos de comida y en pocos casos el pegamento.
6. **Secado.** En este proceso es donde se quita la humedad que tiene el material después del lavado. Para lo cual se pueden emplear varios métodos como son secadores de aire, secadores centrifugados y secado mediante la exposición al sol.

## **Capítulo III. Materiales y Métodos**

### **3.1. Metodología de la Investigación**

#### **3.1.1. Tipo de investigación.**

Esta investigación es de tipo CUANTITATIVO, ya que se utiliza la recolección de datos para probar una hipótesis; además de tener un diseño y medir variables; de acuerdo a la definición de enfoques de la investigación dada por Hernández, Fernández y Baptista (2014).

#### **3.1.2. Nivel de investigación.**

Hernández et al. (2014) menciona que dentro del enfoque cuantitativo existen los estudios exploratorios, correlacionales, descriptivos y explicativos.

Por lo tanto, esta investigación corresponde al nivel CORRELACIONAL, ya que esta investigación tiene como finalidad de conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto específico; además, de que permite hacer predicciones. (Hernández, et al. 2014). Explicativo que se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables.

#### **3.1.3. Diseño de investigación.**

Hernández et al (2014), menciona que existen dos tipos de diseños que son : los no experimentales y experimentales. Por la naturaleza de esta investigación se define como un estudio de DISEÑO EXPERIMENTAL, ya que durante proceso de ejecución se buscan obtener datos a partir de pruebas de laboratorio (pp 90-93).

Creswell (2013) y Reichardt (2004) llaman a los experimentos estudios de intervención, porque un investigador genera una situación para tratar de explicar cómo afecta a quienes participan en ella en comparación con quienes no lo hacen. Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables

(las dependientes) en una situación de control. En el siguiente grafico se representa un esquema sobre el diseño experimental con un grupo control y el grupo experimental.

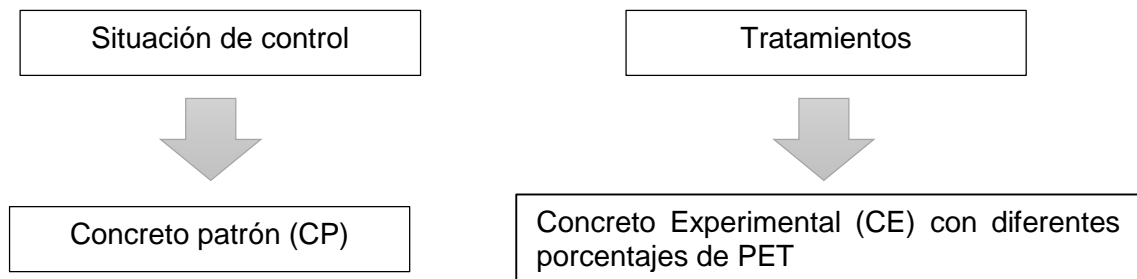


Figura 4. Esquema del diseño experimental

Se lleva a cabo un experimento para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes. En un experimento, la variable independiente resulta de interés para el investigador, ya que hipotéticamente será una de las causas que producen el efecto supuesto.

En siguiente esquema se representa gráficamente el flujograma a seguir en esta investigación.

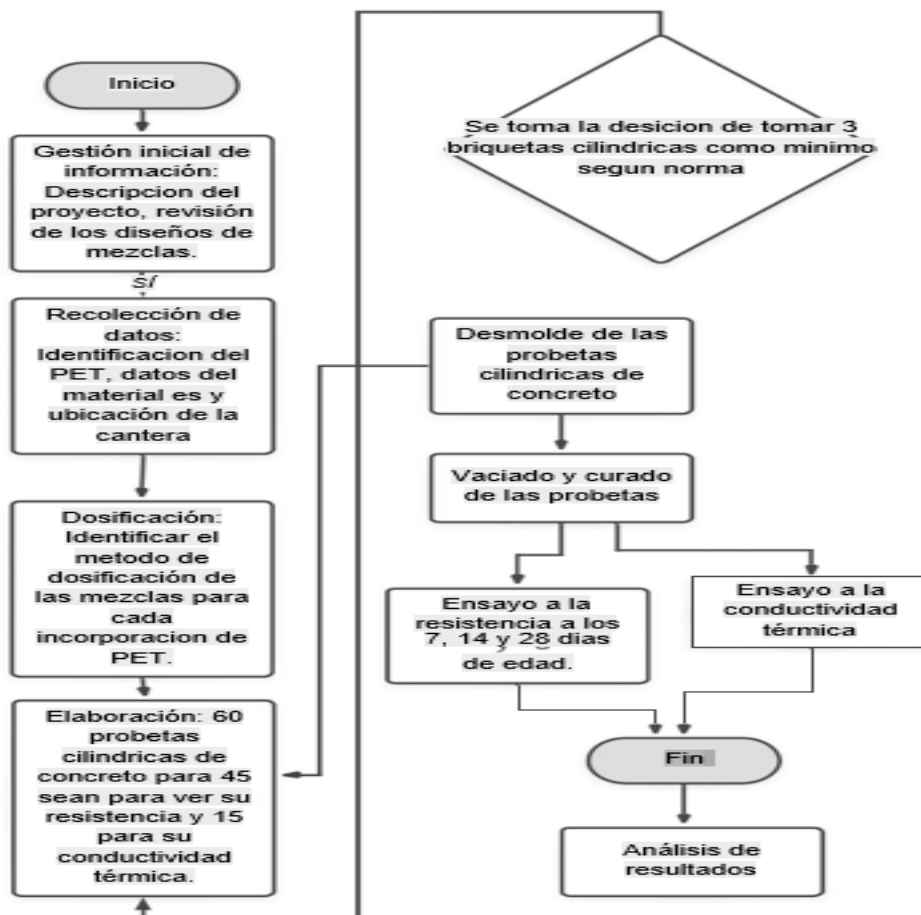


Figura 5. Flujograma de la investigación.

## 3.2. Formulación de la Hipótesis

### 3.2.1. Hipótesis General.

La incorporación de tereftalato de polietileno reciclado en el concreto altera el comportamiento mecánico y térmico del concreto.

### 3.2.2. Hipótesis específicas.

H<sub>1</sub>: La incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno respecto al peso de los agregados, disminuye la trabajabilidad en el concreto.

H<sub>2</sub>: La incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno respecto al peso de los agregados, aligerar el peso del concreto, disminuyendo su peso unitario.

H<sub>3</sub>: La incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno respecto al peso de los agregados, disminuye la resistencia a compresión del concreto 210 kg/cm<sup>2</sup>.

H<sub>4</sub>: La incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno respecto al peso de los agregados mejora su comportamiento térmico, disminuyendo su conductividad térmica del concreto.

## 3.3. Prueba de Hipótesis

“Las hipótesis se someten a pruebas empíricas para determinar si son apoyadas o refutadas. En el enfoque cuantitativo, las hipótesis se someten a pruebas al tener un diseño de investigación, recolectar datos con instrumentos de medición y al analizar e interpretar tales datos” (Hernández, et al 2014).

De acuerdo a lo mencionado por Supo (2014), en donde propone cinco pasos para la prueba de hipótesis se tiene la siguiente Tabla 7:

Tabla 7  
*Procedimiento para la validación de la hipótesis*

<b>Pasos</b>	<b>Descripción</b>
Paso I	Formulación de hipótesis H <sub>0</sub> y H <sub>i</sub> (Hipótesis de la investigación)
Paso II	Nivel de significancia $\alpha = 0.05$ , con un 95% de confianza y un 5% de error.
Paso III	Estadístico de Prueba ANOVA Ver Tabla 8
Paso IV	p-valor Mediante el software IBM SPSS Statistics 22.

Paso V

Decisión Estadística

- Si  $p\text{-valor} < \alpha$ , entonces se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ .
- Si  $p\text{-valor} < \alpha$ , entonces se acepta  $H_0$ .

Nota: Elaboración propia.

Existen las pruebas de análisis paramétricas y no paramétricas, teniendo cada una sus características y presuposiciones. Sabiendo que las pruebas paramétricas tienen que tener una distribución normal, un nivel de variables por intervalo o razón, además, de tener una varianza homogénea, requisitos con los que cuentan los datos de esta investigación.

Para definir el paso III referido a la elección del estadístico de prueba de hipótesis, se formula la siguiente tabla teniendo en cuenta los objetivos del estudio, el tipo de muestra y variable.

Tabla 8  
*Elección de la prueba estadística*

Objetivos del estudio	Tipo de muestra	Tipo de variable	Prueba paramétrica
Comparara más de 3 grupos Evaluación del concreto experimental y convencional. Cuatro medidas en diferentes porcentajes de incorporación PET.	Muestras relacionadas	Variable numérica - Trabajabilidad - Peso unitario - resistencia - temperatura	Análisis de varianza (ANOVA)

Nota: Elaboración propia

“El análisis de varianza (ANOVA), es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas”. (Hernández et al 2014).

Por lo tanto, en el siguiente esquema se representan los grupos de estudio que corresponden a esta investigación, analizando si los grupos control (concreto patrón), y grupo de los cuatro tratamientos difieren significativamente entre sí.

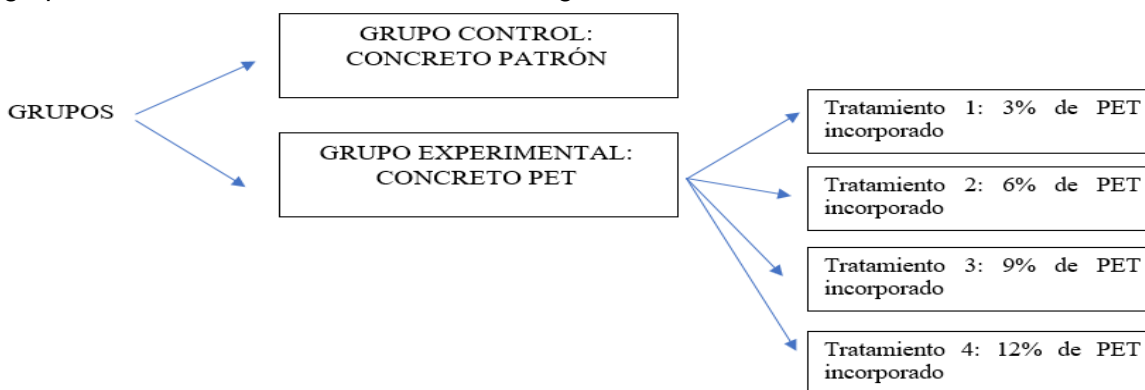


Figura 6. Esquema de representación de grupos

Luego de procesar los datos con el estadístico de prueba ANOVA, se obtiene un p-valor, que será contrastado con el nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ), este valor se tomará en cuenta para los siguientes CRITERIOS DE DECISIÓN:

- a. Si la probabilidad obtenida p-valor  $< \alpha$ , se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$
- b. Si la probabilidad obtenida p-valor  $> \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_1$ .

Al aceptar el criterio “a” se procede con la prueba de comparaciones múltiples denominada prueba de Dunnett análisis que realiza el contraste entre el grupo control con cada uno de los tratamientos. Para comparar el concreto de control con los tratamientos utilizamos la prueba de contraste de hipótesis Dunnett, denotada con la siguiente fórmula:

$$CV = d_r \sqrt{\frac{2 \times CM_{\text{intragrupos}}}{n}}$$

El nivel de confianza se define como alfa, el valor alfa es denominada zona crítica o zona de rechazo, además de ser el nivel de significancia, este valor es dado por el investigador. Un valor de confianza más alto otorgara un p-valor más bajo. Valores más exigentes para alfa como 0,01, provocaran tamaños de muestras más exigentes.

Por lo tanto, el nivel de significancia estará relacionado con el tamaño de muestra con el que se desea trabajar. En esta investigación se trabajará con un alfa igual a 0.05, o 5 % de error con un 95% de confianza.

### 3.4. Identificación de Variables

Sampieri (2006) menciona que los experimentos son aquellos donde se manipula tratamientos, influencia, estímulos o intervenciones a las variables independientes para poder ver los efectos que causa sobre otras variables que vienen a ser estas las variables dependientes, en una situación controlada.

Así también la variable independiente es aquella que logra modificar a la variable con la cual se relaciona. Es aquella característica, circunstancia o propiedad que provoca causa directa en la modificación del comportamiento del fenómeno que se estudia que en una investigación experimental es la variable que se puede manipular.

A su vez la variable dependiente es la que llega a sufrir modificaciones esto se da siempre en cuando la variable independiente cambia, la cual provoca una repercusión en la variable dependiente.



A continuación, en la siguiente Tabla 9 se mostrará las variables independientes y dependientes identificadas por el tesista.

*Tabla 9*  
*Cuadro de operación de variables*

<b>Variable Independiente</b>		
<b>Variable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores finales</b>
Tereftalato de polietileno reciclado	Elaboración de mezcla con tereftalato de polietileno reciclado.	% de tereftalato de polietileno reciclado
<b>Variables Dependientes</b>		
<b>Variable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valores finales</b>
Trabajabilidad	Cono de Abrahams.	cm
Peso unitario	Balanza.	%
Resistencia a la compresión	Máquina de ensayo a la compresión uniaxial.	Kg/cm <sup>2</sup>
Conductividad térmica	Equipo en base a la ley de Foulner.	W/m <sup>°K</sup>

Nota: W/m<sup>°K</sup> que viene a ser el coeficiente de conductividad térmica, W = whats que es la equivalencia de joule por segundos y °k = que viene a ser grados kelvin. Fuente: Elaboración propia.

### **3.5. Población y Muestra**

#### **3.5.1. Población.**

Para el presente estudio se considera básicamente las probetas cilíndricas de concreto que lo conforman el concreto patrón y el concreto experimental. A su vez toda población será estudiada mediante ensayos que determinen su comportamiento mecánico y térmico.

#### **3.5.2 Muestra.**

##### **3.5.2.1. Descripción de la muestra**

La muestra está constituida por los cinco tipos de concreto que son: Concreto Patrón, Concreto adicionado con PET al 3%, Concreto adicionado con PET 6%, Concreto adicionado con PET al 9% y Concreto adicionado con PET al 12%.

##### **3.5.2.2. Cuantificación de la muestra**

La cuantificación de la muestra estará dada por un límite de tamaño de población de 60 probetas cilíndricas de concreto, al concreto se irá incorporando tereftalato de polietileno en porcentajes de volumen de 3, 6, 9 y 12% en relación del peso de los agregados fino y grueso.

### **3.5.2.3. Método del muestreo**

El método de muestra que se dará en esta investigación es no probabilístico según Hernández et al (2006), ya que se considera la cantidad de probetas cilíndricas en función del criterio de los investigadores. Por ello para este propósito se valoró las recomendaciones del ACI 318-08 “requisitos y de reglamento para concreto estructural”, que en el inciso 5.6.2.4. Nos da entender literalmente: que para el uso de briquetas 6” (150 mm) x 12” (300 mm) al menos 02 probetas y para la biqueta 4” (100 mm) x 8” (200 mm) al menos 03 probetas, preparadas de la misma muestra de concreto.

### **3.5.2.4. Criterios de valoración de la muestra**

Tomando 45 probetas cilíndricas de concreto para la resistencia a compresión: concreto patrón (3 probetas ensayadas a 7 días, 3 probetas ensayadas a 14 días, 3 probetas ensayadas a los 28 días), concreto con 3% PET reciclado (3 probetas ensayadas a 7 días, 3 probetas ensayadas a 14 días, 3 probetas ensayadas a los 28 días), concreto con 6% PET reciclado (3 probetas ensayadas a 7 días, 3 probetas ensayadas a 14 días, 3 probetas ensayadas a los 28 días), concreto con 9% PET reciclado (3 probetas ensayadas a 7 días, 3 probetas ensayadas a 14 días, 3 probetas ensayadas a los 28 días), concreto con 12% PET reciclado (3 probetas ensayadas a 7 días, 3 probetas ensayadas a 14 días, 3 probetas ensayadas a los 28 días).

Tomando 60 probetas cilíndricas de concreto para su trabajabilidad (concreto patrón 12 probetas, concreto con incorporación de PET reciclado con 3%, 6% 9% y 12% cada uno a 12 probetas), su peso unitario se tomó 60 probetas cilíndricas de concreto (concreto patrón 12 probetas, concreto con incorporación de PET reciclado con 3%, 6% 9% y 12% a cada uno a 12 probetas) y para su conductividad térmica se tomó 15 probetas cilíndricas de concreto (concreto patrón 3 probetas, concreto con incorporación de PET reciclado con 3%, 6% 9% y 12% cada uno a 3 probetas) y para su calor específico se tomó 15 probetas cilíndricas de concreto (concreto patrón 3 probetas, concreto con incorporación de PET reciclado con 3%, 6% 9% y 12% cada uno a 3 probetas)

## **3.6. Materiales**

### **3.6.1. Cemento.**

Para desarrollar la presente investigación se usó el cemento portland puzolánico IP, marca Rumi con peso específico  $2.82 \text{ gr/cm}^3$  elaborada por la empresa YURA S.A. cuya ficha técnica se muestra en el Anexo C.

### 3.6.2. Agua.

Se usó agua potable de la red pública que es suministrada por la empresa prestadora de servicios SEDAJULIACA S.A. La cual cumple con los parámetros estipulados para el uso del agua en la mezcla de concreto.

### 3.6.3. Agregados.

#### 3.6.3.1. Cantera

Los agregados fueron obtenidos de la cantera Isla la misma que está ubicada en la carretera Juliaca – Isla Km. 17 en el centro poblado Isla para la ubicación geográfica se muestra en la Figura 5.

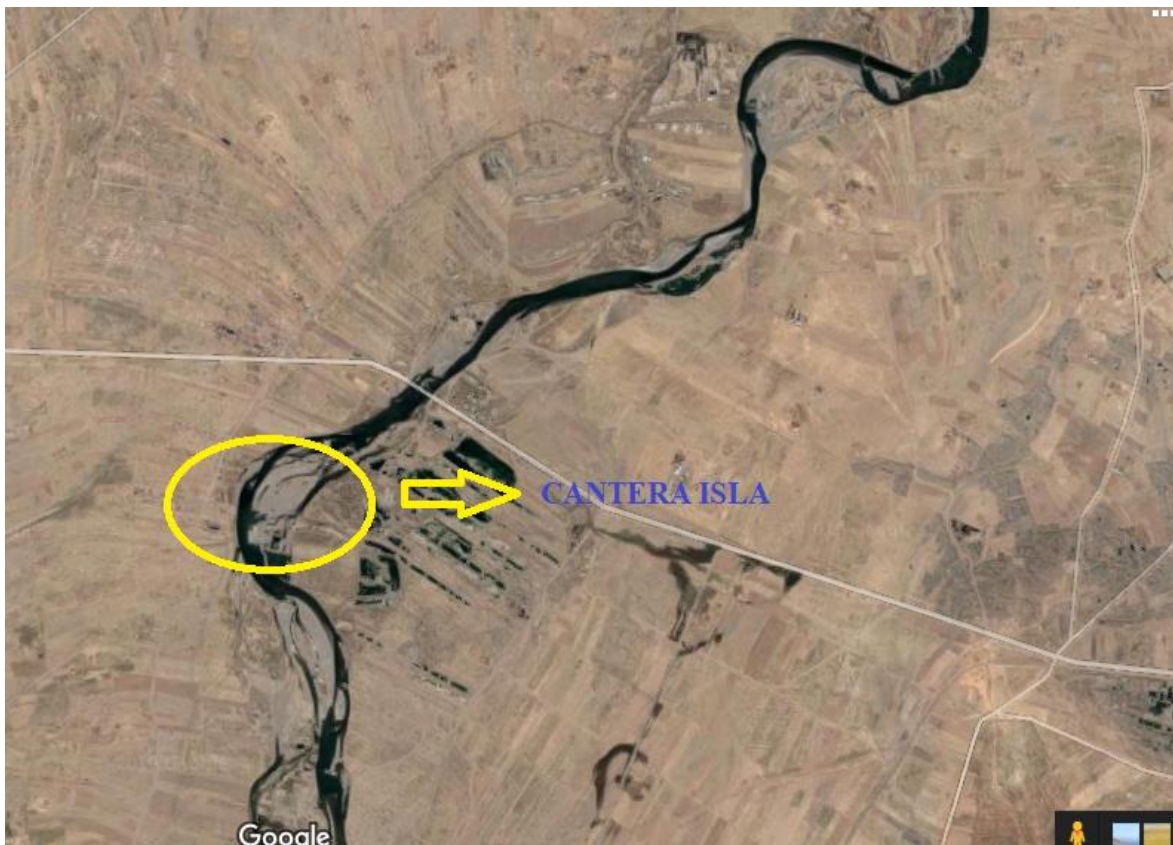


Figura 7. Fotografía área de la cantera isla. Elaboración: Fuente propia con ayuda de Google Maps.

#### 3.6.3.2. Agregado Fino

El agregado fino usado para la presente investigación fue obtenido de la cantera Isla. Los ensayos referidos para encontrar las propiedades físicas para poder realizar el diseño de mezcla y la elaboración del concreto, se realizó en el laboratorio de tecnología del concreto y ensayos de materiales de la Universidad Peruana Unión bajo la supervisión del personal técnico, Cuyos resultados se puede apreciar en el Anexo A.

### 3.6.3.2.1. Análisis granulometría para el agregado fino

#### Norma

- NTP 400.012
- ASTM C136

#### Procedimiento

- Se cuartea la muestra y el tamaño de la misma no debe ser menor de 500 gr, para posteriormente secarlo hasta tener un peso constante, dejando al aire libre para sí enfriamiento.
- Limpiar los tamices y luego colocarlos de manera decreciente respecto al tamaño de su abertura la misma que se dará en el siguiente orden: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.
- Después se introducción el material y se procede a mover circularmente, lo cual genera que los materiales vayan descendiendo y reteniéndose en cada malla de acuerdo a su tamaño.
- Se da finalizado el movimiento circular cuando ya la muestra no tiene modificación de cantidad, a un promedio de un minuto.
- Al concluir se pasa a pesar cada una de las muestras que se encuentran retenidos en cada tamiz.
- Se hace los cálculos respectivos para su interpretación y verificar que cumpla con los límites establecidos.

El error que debe existir entre el peso inicial y el peso final debe ser  $\pm 1$  %. El resultado obtenido se aprecia en el Anexo A, donde se aprecia que el agregado fino está dentro de los límites permitidos por la NTP 400.037.

Tabla 10  
*Límites de granulometría según el A.S.T.M.*

	Malla	Porcentaje que pasa (acumulado)		
3/8"	9.8 mm			100
N°4	4.75 mm	95	a	100
N°8	2.36 mm	80	a	100
N°16	1.15 mm	50	a	85
N°30	600 $\mu$ m	25	a	60
N°50	300 $\mu$ m	10	a	30
N°100	150 $\mu$ m	2	a	10

Nota: Adaptado de "Tecnología del concreto", por Abanto F., 2013, Tecnología del Concreto, p.24. Copyright 2013 por San Marcos.

Y en cuanto a la presentación de la curva granulométrica del agregado fino que está dentro de los límites establecidos por las normas, es posible apreciarlo en las tablas del Anexo A.

#### 3.6.3.2.2. *Contenido de humedad del agregado fino*

##### **Norma**

- NTP 339.185
- ASTM C556

##### **Procedimiento**

- Realizar el cuarteo para luego seleccionar una cantidad de muestra representativa.
- El tamaño de la muestra será aproximadamente de 500gr.
- Luego se pasa a secar la muestra en un horno a una temperatura de  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta poder obtener un peso constante, sacar del horno y dejar enfriar la muestra para poder pesarlo.
- Y por último se procede a calcular el contenido de humedad con la ecuación 1 que se detalla a continuación:

$$\text{CH} = \frac{(\text{Peso humedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

CH = Contenido de humedad

#### 3.6.3.2.3. *Peso específico y absorción del agregado fino*

##### **Norma**

- NTP 400.022
- ASTM C128

##### **Procedimiento**

- Cuartear la muestra y pesar aproximadamente 1500gr de agregado fino el mismo que debe estar seco.
- Dar en remojo o saturar el material por 24 horas.
- Después de las 24 horas retirar del agua y poner en una bandeja y dejar secando al aire libre.

- Luego comprobar si la muestra esta superficialmente seca (SSS), y para su comprobación se usa el cono de absorción, apisonando con 25 golpes sin compactar y si al retirar la muestra se desmorona parcialmente y de punta esto quiere decir que la muestra esta superficialmente seca y si de lo contrario se mantiene la forma del cono eso significa que aún falta secar.
- Pesarse la muestra superficialmente seca (SSS) una cantidad de 500 gramos y luego introducirlo en un frasco de vidrio.
- Luego de poner la muestra en el frasco, llenamos con agua hasta alcanzar el nivel en el que se nos permita poder agitar el frasco sin derramar el agua.
- Agitamos el frasco por un tiempo de 15 a 20 minutos, esto con el fin de poder eliminar las burbujas.
- Luego se debe colocar la fiola en baño María e ir rodando cada 10 min, aproximadamente, hasta haber eliminado las burbujas.
- Dejamos la muestra a temperatura de ambiente para que enfrié el frasco con la muestra en su interior.
- Pesarse el frasco más la muestra y el agua.
- Con cuidado se saca el agregado fino del frasco, para llevarlo a una cocina a temperatura constante de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  para que seque hasta que tenga una masa constante.
- Llenamos el frasco hasta su máxima capacidad con agua, para pesarlo. Y luego pesarse el frasco vacío.
- Y por último para calcular el peso específico de la masa, peso específico de la masa superficialmente seca, peso específico aparente y absorción. se calculará usando las ecuaciones 2, ecuación 3, ecuación 4 y ecuación 5 respectivamente.

$$P. E. M. = \frac{\text{Peso de la arena cocinada}}{\text{Volumen del frasco} - \text{Volumen del agua en el frasco}} \quad (2)$$

$$P. E. M. ss = \frac{500}{(\text{Vol. frasco} - \text{Vol. agua del frasco})} \quad (3)$$

$$P. E. A. = \frac{\text{Peso arena seca}}{(\text{Vol. frasco} - \text{Vol. agua del frasco}) - (500 - \text{Peso arena seca})} \quad (4)$$

$$\%Abs = \frac{500 - \text{Peso arena seca}}{\text{Peso arena fresca}} \quad (5)$$

Donde:

P.E.M. = Peso específico de la masa.

P.E.M. ss. = Peso específico de masa saturada superficialmente seca.

P.E.A. = Peso específico aparente.

%Abs = Porcentaje de absorción.

#### 3.6.3.2.4. *Peso unitario del agregado fino*

##### **Norma**

- NTP 400.017
- ASTM C-29

##### **Procedimiento**

- La muestra de ensayo será 150% o 200% de la muestra requerida con respecto al recipiente.
- Coger un recipiente limpio y seco
- Tomar datos del recipiente como son el peso y su volumen de la capacidad que tiene.
- Para el Peso Unitario Suelto, llena el recipiente hasta que rebose, ese procedimiento se realiza dejando caer el agregado a una altura no mayor de 50 mm o 2" por encima de la parte superior del recipiente.
- Para el Peso Unitario Compactado, se llena el recipiente en tres capas la primera la tercera parte, la segunda las dos terceras parte y la última hasta rebosar el material. Golpeando levemente en cada capa con el martillo de goma y aplicando apisonando cada capa con 25 golpes con una varilla de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud que tiene una punta redondeada.
- Luego pasamos a enrasar cuidadosamente el agregado sobrante con una regla y limpiar el recipiente con una brocha.
- Por último, pasamos a pesar el recipiente con el agregado en su interior y por calculamos el peso unitario suelto y compactado mediante las siguientes ecuaciones ecuación 6 y ecuación 7.

$$P. U. Suelto = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del material}} \quad (6)$$

$$P.U. \text{ Compactado} = \frac{\text{Peso material compactado}}{\text{Volumen del material compactado}} \quad (7)$$

Donde:

P.U. Suelto = Peso Unitario Suelto.

P.U. Compactado = Peso unitario compactado

Los datos y resultados obtenidos en el laboratorio se aprecian en las tablas del Anexo A.

#### 3.6.3.2.5. Contenido de material que pasa la Malla N°200

##### **Norma**

- ASTM C-117
- NTP 400.018

##### **Procedimiento**

- Obtener una muestra seca mínima de 300 gr.
- Luego colocar la muestra en el tamiz N°200 y lavar la muestra en chorro de agua hasta poder percibir que el agua saliente del lavado este cristalina.
- Sacar la muestra en un recipiente y dejar que la muestra seque a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Sacar la muestra del horno y pesarla. Para proceder calcular el porcentaje que pasante tamiz N°200 mediante la ecuación 8.

$$N^{\circ}200\% = \frac{(MSMO - MSML) \times 100}{MSMO} \quad (8)$$

Donde:

N°200% = Porcentaje de muestra que pasa tamiz N°200.

MSMO = Masa seca de la muestra original.

MSML = Masa seca de la muestra lavada.

En donde nuestro resultado salió 2.5 el mismo que cumple con el límite que estipula la norma ASTM C-33, en donde indica que el porcentaje de finos para el agregado fino debe ser inferior a 5%.



### **3.6.3.3. Agregado Grueso**

Para el agregado grueso se utilizó las mallas de 1" para zarandearlo y así eliminar los tamaños que exceden de la misma.

Los ensayos referidos para poder obtener las propiedades físicas, se realizó en elaboración del concreto, se realizó en el laboratorio de tecnología del concreto y ensayos de materiales de la Universidad Peruana Unión bajo la supervisión del personal técnico. Y cuyos resultados se aprecia en el Anexo A.

#### *3.6.3.3.1. Análisis granulometría para el agregado grueso*

##### **Norma**

- NTP 400.012
- ASTM C136

##### **Procedimiento**

- Cuarteamos la muestra y obtenemos una cantidad mínima 5 kilogramos ya que tomamos el tamaño máximo nominal de 3/4" que de acuerdo a la norma ese es la cantidad de muestra mínima que le corresponde.
- Verificación de tamices para su uso.
- Tener recipientes para colocar el material de cada tamiz.
- Iniciamos introduciendo el material en los tamices de acuerdo a su orden de tamaño descendente y mover circularmente.
- Pasamos a limpiar los tamices y lo colocamos de forma decreciente en el siguiente orden: 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y N°4.
- Después se introducción el material y se procede a mover circularmente, lo cual genera que los materiales vayan descendiendo y reteniéndose en cada malla de acuerdo a su tamaño.
- Se da por concluido el desarrollo del tamizado al ver que su 1% no pase el material.
- Se procede a extraer de cada tamiz el agregado que es retenido, para luego pasar a su pesado y desarrollar el cálculo.

El error que debe existir entre el peso inicial y el peso final debe ser  $\pm 1 \%$ . El resultado obtenido se puede ver que cumple con los límites establecidos en el huso 6, puesto estos se acomodan mejor a la curva granulométrica calculada.

Tabla 11  
Límites granulométricos para el agregado grueso

N° ASTM	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100mm (4 Pulg)	90mm (3 1/2 pulg)	75mm (3 Pulg)	63 mm (2 1/2 Pulg)	50 mm (2 Pulg)	37.5mm (1 1/2 Pulg)	25mm (1 Pulg)	19mm (3/4 Pulg)	12.5mm (1/2 Pulg)	9.5mm (3/8 Pulg)	4.75 mm (N° 4)	2.36m m (N° 8)	1.18mm (N° 16)	4.75um (N° 50)
1	90mm a 37.5mm (3 1/2 Pulg a 1 1/2 Pulg)	100	90 a 100	0	25 a 50	0	0 a 15	0	0 a 5	0	0	0	0	0	0
2	63mm a 37.5mm (2 1/2 Pulg a 1 1/2 Pulg)	0	0	100	9 a 100	35 a 70	0 a 15	0	0 a 5	0	0	0	0	0	0
3	50mm a 25mm (2 Pulg a 1 Pulg)	0	0	0	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0	0 a 5	0	0	0	0	0
357	50mm a 4.75mm (2 pulg a N° 4)	0	0	0	100	95 a 100	0	35 a 70	0	10 a 30	0	0 a 5	0	0	0
4	37.5mm a 19mm (1 1/2 pulg a 3/4 Pulg)	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0	0 a 5	0	0	0	0
467	37.5mm a 4.75mm (1 1/2 pulg a N° 4)	0	0	0	0	100	95 a 100	0	35 a 70	0	10 a 30	0 a 5	0	0	0
5	25mm a 12.5mm (1 Pulg a 1/2 Pulg)	0	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	0	0	0	0
56	25mm a 9.5mm (1 Pulg a 3/8 Pulg)	0	0	0	0	0	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	0	0	0
57	25mm a 4.75mm (1 Pulg a N° 4)	0	0	0	0	0	100	95 a 100	0	25 a 60	0	0 a 10	0 a 5	0	0
6	19mm a 9.5mm (3/4 Pulg a 3/8 Pulg)	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	0	0	0
67	19mm a 4.75mm (3/4 Pulg a N° 4)	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	0	20 a 55	0 a 10	0 a 5	0	0
7	12.5mm a 4.75mm (1/2 Pulg a N° 4)	0	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	0	0
8	9.5mm a 2.36mm (3/8 pulg a N° 8)	0	0	0	0	0	0	0	0	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	0
89	9.5mm a 1.18mm (3/8 pulg a N° 16)	0	0	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75mm a 1.18mm (N° 4 a N° 16)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

### 3.6.3.3.2. *Contenido de humedad del agregado grueso*

#### **Norma**

- NTP 339.185
- ASTM C-556

#### **Procedimiento**

- El procedimiento es similar a la del agregado fino, se tomará una muestra de agregado.
- Luego se pasa a secar la muestra en un horno a una temperatura de  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta poder obtener un peso constante, sacar del horno y dejar enfriar la muestra para poder pesarlo.
- Y por último se procede a calcular el contenido de humedad con la ecuación 1.

### 3.6.3.3.3. *Peso específico y absorción del agregado grueso*

#### **Norma**

- NTP 400.021
- ASTM C 127

#### **Procedimiento**

- Pesar una muestra representativa de aproximadamente 5 kg.
- Lavar la muestra para luego sumergirlo en agua durante 24 horas.
- Pasado las 24 horas escurrir el agua y luego poner el material sobre una franela para luego secarla con la misma. Esto con el objetivo de tener la muestra superficialmente seca.
- Calibramos la balanza con una canastilla que está sumergida en el agua.
- Se procede a colocar el material en la canastilla sumergida y se lectura el peso de la balanza.
- Una vez pesado el material, sacarlo en un recipiente y llevarlo al horno durante 24 horas.
- Pasada las 24 horas se saca la muestra del horno y se procede a obtener dicho peso.
- Y por último para calcular el peso específico de la masa, peso específico de la masa superficialmente seca, peso específico aparente y absorción. se calculará usando las ecuaciones 2, ecuación 3, ecuación 4 y ecuación 5 respectivamente. Que se mostraron anteriormente.

#### 3.6.3.3.4. Peso unitario del agregado grueso

##### Norma

- NTP 400.017
- ASTM C-29

##### Procedimiento

- La muestra de ensayo será 150% o 200% de la muestra requerida con respecto al recipiente.
- Coger un recipiente limpio y seco
- Tomar datos del recipiente como son el peso y su volumen de la capacidad que tiene.
- Para el Peso Unitario Suelto, llena el recipiente hasta que rebose, ese procedimiento se realiza dejando caer el agregado a una altura no mayor de 50 mm o 2" por encima de la parte superior del recipiente.
- Para el Peso Unitario Compactado, se llena el recipiente en tres capas la primera la tercera parte, la segunda las dos terceras parte y la última hasta rebosar el material. Golpeando levemente en cada capa con el martillo de goma y aplicando apisonando cada capa con 25 golpes con una varilla de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud que tiene una punta redondeada.
- Luego pasamos a enrasar cuidadosamente el agregado sobrante con una regla y limpiar el recipiente con una brocha.
- Por último, pasamos a pesar el recipiente con el agregado en su interior, calculamos el peso unitario suelto y compactado mediante las siguientes ecuaciones 9, ecuación 10, ecuación 11 y ecuación 12.

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100 \quad (9)$$

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} \times 100 \quad (10)$$

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} \times 100 \quad (11)$$

$$Ab\% = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (12)$$

Donde:

$P_{em}$  = peso específico de la masa.

$P_{eSSS}$  = peso específico de la masa superficialmente seca.

$P_{ea}$  = peso específico aparente.

$Ab\%$  = porcentaje de absorción.

A: Peso de la muestra seca en el aire gramos

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire gramos

C: Peso del agua de la muestra saturada

#### 3.6.3.3.5. *Contenido de material que pasa la Malla N°200*

##### **Norma**

- ASTM C117
- NTP 400.018

##### **Procedimiento**

- Obtener una muestra representativa mínima 2500 gr.
- Luego colocar la muestra en el tamiz N°200 y lavar la muestra en chorro de agua hasta poder percibir que el agua saliente del lavado este cristalina.
- Sacar la muestra en un recipiente y dejar que la muestra seque a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Sacar la muestra del horno y pesarla. Para proceder calcular el porcentaje que pasante tamiz N°200 mediante la ecuación 8.

En donde nuestro resultado salió 0.3% el mismo que si cumple con el límite que pone la norma ASTM C33, en donde indica que el porcentaje de finos para el agregado grueso debe ser inferior a 1% (ver Anexo A)

#### **3.6.4. PET utilizado**

El PET usado para la presente investigación fue obtenido por medio del reciclaje mecánico ya que se usó los mismos procedimientos los cuales son:

- Primero se acopio botellas de plásticos provenientes de recicladores clasificando para la investigación solo envases de la marca Coca-Cola y Inca Kola. Debido a que los dos embaces tiene un espesor similar.

- Luego se almaceno en sacos.
- Posteriormente se llevó las botellas de PET a un molino donde se trituro hasta obtener hojuelas de PET de 3/8”.



*Figura 8. Saco con hojuelas de PET (fuente propia).*

- Las hojuelas de PET se separaron de sus etiquetas y suciedad que pudo adherirse a ellas, se sumergió en un cilindro con agua, que por medio de su densidad el PET queda en la base y el resto de elementos flota, con la ayuda de un colador fueron extraídas.



*Figura 9. Lavado de la muestra (fuente propia).*

- Y por último se procedió a secar las hojuelas de PET extendiéndolo al sol sobre una malla mosquitera.



Figura 10. Secado de las hojuelas de PET (fuente propia).

### **3.7. Diseño de la Mezcla del Concreto.**

Para la presente investigación se realizó el diseño de concreto por el método del comité 211 del American Concrete Institute (ACI) este método tiene un procedimiento de mezclas que están basadas en tablas, las mismas que determinan una dosificación óptima de los agregados, agua y cemento.

### 3.7.1. Diseño del concreto patrón.

Tabla 12

*Característica de los agregados para el diseño de mezcla*

DESCRIPCIÓN	Agregado Fino		Agregad Grueso	
Perfil del agregado	-		angular	
Peso Específico de masa seca (Kg/m <sup>3</sup> )	2423.495	kg/m <sup>3</sup>	2502.684	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1808.011	kg/m <sup>3</sup>	1630.262	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1763.383	kg/m <sup>3</sup>	1596.314	kg/m <sup>3</sup>
Tamaño Máximo (Pulg)	N°4		1"	
Tamaño Máximo Nominal (Pulg)	N°8		3/4"	
Módulo de Fineza	2.8		----	
Absorción (%)	3.31	%	1.44	%
Contenido de Humedad (%)	5.93	%	0.94	%

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

*Datos para realizar el diseño de mezcla*

DATOS DE DISEÑO		
Tipo de cemento	Rumi	IP
Peso específico del Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	2850	Kg/m <sup>3</sup>
Resistencia a la compresión de Diseño (F'c)	210	Kg/cm <sup>2</sup>
Colocar aire incorporado [s/aire (N) o c/aire (S)]:		S
Slump	3 a 4	Pulg
peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>
Agua		Potable
Consistencia		Plástica

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el diseño de concreto se siguió el siguiente procedimiento:

#### 1) Calcular la resistencia requerida (F'cr)

Esto se realizó mediante el uso de la siguiente tabla 9 que nos indica cuando es lo que se debe sumar a nuestra resistencia de diseño para poder calcular F'cr cuando no se tiene algún registro anterior sobre la resistencia a la compresión, por ello no se puede usar la desviación estándar.



Tabla 14  
Resistencia a la compresión promedio

$F^c$	$F^{cr}$
Menor de 210	$F^c + 70$
210 a 350	$F^c + 84$
Sobre 350	$F^c + 98$

Nota: Tomado de "Diseño de mezclas" por Rivva E., 1992, p. 57.

Teniendo como el factor de 84 debido a que nuestra resistencia de diseño es de 210 kg/cm<sup>2</sup> y teniendo como resultado  $F^{cr} = 294$  kg/cm<sup>2</sup> que vendría a ser nuestra resistencia promedio requerida.

## 2) Cálculo del contenido de agua.

Para el cálculo del contenido de volumen unitario de agua se tomó la siguiente Tabla 15 elaborada por el comité 211 del ACI.

Tabla 15  
Volumen unitario de agua

Agua en l/m <sup>3</sup> para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicada								
asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concreto sin aire incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	153	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-----
<b>Concreto con aire incorporado</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	143	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-----

Nota: Tomado de "diseño de mezclas", por Rivva E., 1992, p. 78.

Para nuestro diseño el volumen unitario de agua que se obtuvo fue de 205 lt debido a que el asentamiento requerido es de 3" a 4" y el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 3/4".

## 3) Cálculo del contenido de aire atrapado.

Las burbujas de aire están presentes en la pasta esto como resultado de las operaciones propias del proceso de puesta en obra del concreto, cuyo caso se le conoce

como aire atrapado o aire natural; o pueden encontrarse en la mezcla debido a que la incorporación de aire fue intencional, en ese caso se le conoce como aire incorporado.

Ya que en el diseño de concreto no se ha considerado la incorporación de aire, se obtiene mediante la siguiente Tabla 16:

Tabla 16  
Contenido de aire atrapado.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Aire atrapado
3/8"	3.0 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2.0 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1.0 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %

Nota: Tomado de "diseño de mezclas", por Rivva E., 1992, p. 78.

Debido a que nuestro tamaño máximo nominal de agregado grueso es de 3/4" el porcentaje de aire atrapado en la mezcla será de un 2%.

#### 4) Selección de relación agua – cemento (a/c).

La selección de la relación agua - cemento está basada en relación a la resistencia requerida. La relación agua – cemento disminuye conforme al aumento de la resistencia requerida.

Tabla 17  
Relación agua - cemento por resistencia

F'cr (kg/cm2)	Relación agua – cemento (a/c) en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	----
450	0.38	----

Nota: Tomado de "diseño de mezclas", por Rivva E., 1992, p. 91.

La resistencia promedio requerida es de 294 kg/cm<sup>2</sup>, debido a que esta resistencia no se encuentra en la tabla se procede a interpolar para calcular la relación a/c. Teniendo como resultado 0.56.

### 5) Cálculo del contenido de cemento.

La determinación de la cantidad de cemento se dará en relación a la cantidad de agua que se obtuvo por el factor de la relación a/c = 0.56, teniendo una cantidad de 366.07 kg/m<sup>3</sup> o 8.61 bolsas/m<sup>3</sup> de cemento.

### 6) Cálculo del peso del agregado grueso.

Para la selección del contenido del agregado grueso, se calculará mediante la Tabla 18 que está dada en función del módulo de fineza del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Obteniendo de la tabla el coeficiente b/b<sub>o</sub> que viene a ser el peso unitario suelto y el peso unitario compactado.

Tabla 18  
Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino (b/b <sub>o</sub> )			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Tomado de "diseño de mezclas", por Rivva E., 1992, p. 118.

Teniendo un módulo de fineza 2.78 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4" se calculó el valor de la relación b/b<sub>o</sub>, que sería 0.62 m<sup>3</sup>; por lo tanto, el peso del agregado grueso será de 1010.76 kg.

## 7) Volumen absoluto de los elementos del concreto.

Tabla 19  
Volúmenes absoluto por metro cúbico

Descripción	Cantidad	Peso específico	Unidad por m <sup>3</sup>
Cemento	366.07 kg	2850kg/m <sup>3</sup>	0.128 m <sup>3</sup>
Agua	205 lt	1000 lt/m <sup>3</sup>	0.205 m <sup>3</sup>
Aire	2 %	----	0.02 m <sup>3</sup>
Agregado grueso	1010.76 kg	2502.684 kg/m <sup>3</sup>	0.4 m <sup>3</sup>
Agregado Fino	598.60 kg <sup>a</sup>	2423.495 kg/m <sup>3</sup>	0.247 m <sup>3</sup> <sup>b</sup>

Nota.: Elaboración propia.

<sup>a</sup> Es el peso seco del agregado fino en kg que se obtuvo mediante la multiplicación de 0.215 m<sup>3</sup> por el peso específico del agregado fino.

<sup>b</sup> El valor de 0.247 m<sup>3</sup> que corresponde a la unidad por metro cúbico del agregado fino que es el resultado de la diferencia por unidad de los demás elementos del concreto.

## 8) Corrección por humedad de los agregados.

Para la corrección de humedad de los agregados se usará la siguiente ecuación 13:

$$\text{Corrección} = \text{peso seco} * \left( \frac{W\%}{100} + 1 \right) \quad (13)$$

Donde:

W% = Porcentaje del contenido de humedad del agregado.

Usando la ecuación se obtuvo que el peso húmedo del agregado fino es de 634.097 kg y del agregado grueso de 1020.261 kg.

## 9) Cálculo del aporte de agua de los agregados a la mezcla y agua efectiva.

Se calculará usando la siguiente ecuación:

$$\text{Aporte de agua} = \frac{(w\% - abs\%) * \text{peso del agregado seco}}{100} \quad (14)$$

Donde:

W% = Porcentaje de contenido de humedad del agregado.

Abs% = Porcentaje de absorción del agregado.

Haciendo el cálculo respectivo se obtuvo un aporte de agua para la mezcla del agregado fino y grueso es de 15.68 lt y -5.05 lt respectivamente.

Por tanto, el agua efectiva viene a ser la diferencia entre el agua calculada y la sumatoria de los aportes de agua de los agregados, teniendo como resultado 194.37 lt.

### 10) Proporciones corregidas de la mezcla de concreto.

Tabla 20  
*Proporción del diseño para un metro cubico*

Descripción	Cantidad
Cemento	366.07 kg
Agua	194.37 lt
Agregado grueso húmedo	1020.261 kg
Agregado Fino húmedo	634.097 kg

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21  
*Proporción del diseño para una bolsa de cemento*

Descripción	Cantidad
Cemento	1 bls
Agua	23.81 lt
Agregado grueso	118.45 kg
Agregado Fino	73.62 kg

Nota: Fuente: Elaboración propia.

### 3.7.2. Diseño del concreto experimental

Para el diseño del concreto experimental las cantidades de cemento y agua continuaron siendo las mismas que la del diseño del concreto patrón, se incorporó porcentajes de hojuelas PET reciclado con respecto al peso de los agregados, sustituyendo el peso de los agregados en 3%, 6%, 9% y 12% por las hojuelas de PET teniendo como proporción para el diseño experimental lo siguiente:

Tabla 22  
*Proporciones de diseño del concreto experimental (CE) para un metro cubico*

Descripción	3% PET	6% PET	9% PET	12% PET
Cemento (kg)	366.070	366.070	366.070	366.070
Agua (lt)	194.370	194.370	194.370	194.370
Agregado grueso húmedo (kg)	989.653	959.045	928.438	897.830
Agregado Fino húmedo (kg)	615.074	596.051	577.028	558.005
PET (kg)	49.631	99.261	148.892	198.523

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23

*Proporciones de diseño del concreto experimental (CE) para una bolsa de cemento*

<b>Descripción</b>	<b>3% PET</b>	<b>6% PET</b>	<b>9% PET</b>	<b>12% PET</b>
Cemento (bls)	1	1	1	1
Agua (lt)	23.81	23.81	23.81	23.81
Agregado grueso húmedo (kg)	114.8965	111.343	107.7895	104.236
Agregado Fino húmedo (kg)	71.4114	69.2028	66.9942	64.7856
PET (kg)	5.7621	11.5242	17.2863	23.0484

Nota: Fuente: Elaboración propia.

### **3.8. Procedimiento de la Investigación**

#### **3.8.1. Elaboración de probetas cilíndricas.**

El concreto patrón fue desarrollado para su diseño de mezcla según el orden de agregado grueso luego el agregado fino y prosiguiendo con cemento para así finalizar con agua y dejando por dos minutos y medio el trompo en funcionamiento. Guiándonos en el reglamento nacional de edificaciones (RNE) de la norma E.060 inciso 5.3.4. El cual nos indica literalmente: que la mezcla no debe ser retirada con el mínimo de tiempo que debe cumplir, este periodo no debe ser menor de 90 segundos, contando el tiempo después de que todos los materiales estén dentro de la mezcladora, una vez mezclado se retira la muestra en un recipiente para posteriormente colocarlo en probetas cilíndricas que anticipadamente se untaron con petróleo para facilitar su desmoldado. Para el inicio de llenado de las probetas cilíndricas se llenó en tres capas de 25 golpes (apisonado) por capa uniformemente ya en la tercera capa se procede a enrasar y dejarlo fraguar, al mismo tiempo con la mezcla obtenida se procedió a sacar su Slump mediante el ensayo de cono de Abrams.

#### **3.8.2. Curado.**

Transcurrido 24 horas de que la mezcla está dentro de las probetas cilíndricas se procede a desmoldar y registrar datos, enseguida se procede a sumergir en agua al 100% las probetas cilíndricas de concreto a edades de 7, 14 y 28 días para ser ensayadas.

Posteriormente se retira las probetas cilíndricas de concreto se procede a ensayos: resistencia a la compresión, conductividad térmica.

### 3.9. Pruebas

#### 3.9.1. Pruebas en estado fresco.

Este estado se da inicio en el momento que se hace el vaciado del concreto en las probetas cilíndricas, se halla el Slump y su peso unitario.

##### 3.9.1.1. Ensayo de revenimiento.

El ensayo del revenimiento o asentamiento se usa para poder medir la consistencia del concreto. El asentamiento que se calcula en este ensayo nos indica la manejabilidad, plasticidad de flujo de concreto (American Concrete Institute [ACI], 2009). El ensayo de revenimiento o asentamiento se realizó según la NTP 339.035 (2009) y ASTM C-143 siendo el procedimiento el siguiente:

- 1) Humedeciendo el molde y colocando en un suelo plano.
- 2) Colocando la muestra de concreto dentro del cono.
- 3) Apisonando en tres capas equitativamente a 25 varilladas.
- 4) Luego se procede a enrazar.
- 5) Quitando el cono de forma vertical.
- 6) Se procede a medir y sacar el slump con la ayuda de un flexómetro.

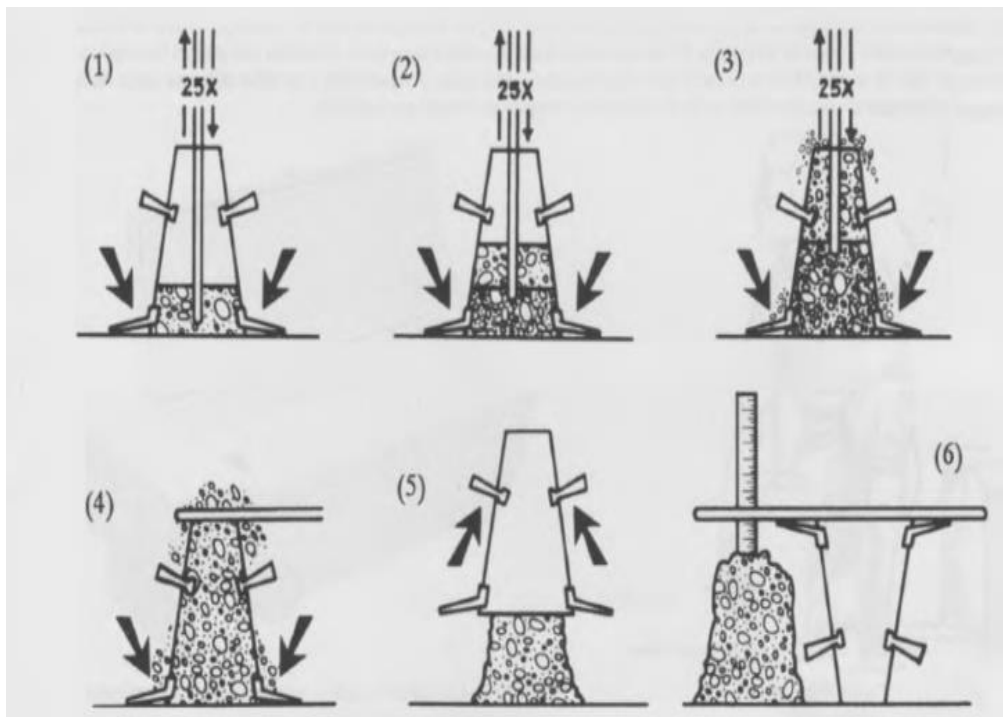


Figura 11. Medición del asentamiento del concreto fresco. Tomado de "Guía del contratista para la construcción en concreto de calidad" ACI, 2013, p. 15. Copyright 2011 por American Institute Concrete.

### 3.9.1.2. *Peso unitario.*

Este ensayo se realizó tomando en consideración las normas NTP 339.046 y ASTM C-138. Que menciona que el peso unitario se determina compactando en tres capas del mismo volumen de una muestra de concreto en un recipiente de medidas conocidas, el mismo que luego se procede a dividir el peso de la muestra entre el volumen recipiente que lo alberga.

### 3.9.2. *Pruebas en estado endurecido.*

En este estado se da cuando la probeta cilíndrica de concreto alcanza la capacidad de mantenerse unida y rígida.

#### 3.9.2.1. *Ensayo a la compresión.*

Según la NTP 339.034 (2008) nos indica que el ensayo consiste en comprimir axialmente a la probeta cilíndrica de concreto a una velocidad estandarizada de 14 a 34 MPa/s, en un rango dado hasta la falla del testigo. Para posteriormente calcular la resistencia a la compresión de la probeta cilíndrica del concreto por la división de la carga máxima que fue realizado durante el ensayo sobre el área de la sección recta de la probeta cilíndrica de concreto. Lo cual para la presente investigación se realizaron a las edades de: 7, 14 y 28 días del moldeado.

#### 3.9.2.2. *Ensayo de conductividad térmica.*

Tomando en consideración algunos criterios de la norma ASTM C-177 y tomando la ley de Fourier transferencia de calor. Se realizó el ensayo para determinar la conductividad térmica de una muestra de material por medio de un material de referencia por una técnica de estado permanente que se conoce como el método de las barras concéntricas o transferencia de calor por conducción, que consiste en poner el material debajo de otro material cuya conductividad térmica se conoce, usando la siguiente ecuación 15.

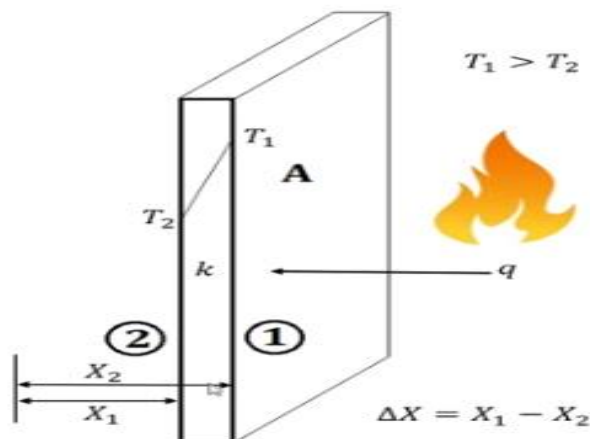


Figura 12. Transferencia de calor que se da desde el punto 1 hasta el punto 2.



$$q = KA \frac{T1 - T2}{X2 - X1} \quad (15)$$

Donde:

q = Potencia de calor

T1 = Temperatura inicial

T2 = Temperatura final

X2-X1 = Espesor de bloque

K = Conductividad térmica

A = Área del bloque

El cálculo de la conductividad térmica del concreto se realizó de manera indirecta con el uso de un material cuya conductividad térmica se conoce y llevando al equilibrio de calor y logrando así que la potencia de calor de ambos cuerpos sea igual para luego emplear el método de transferencia de calor usando la ley de Fourier para así poder calcular la conductividad térmica del concreto cuyo procedimiento se describe a continuación:

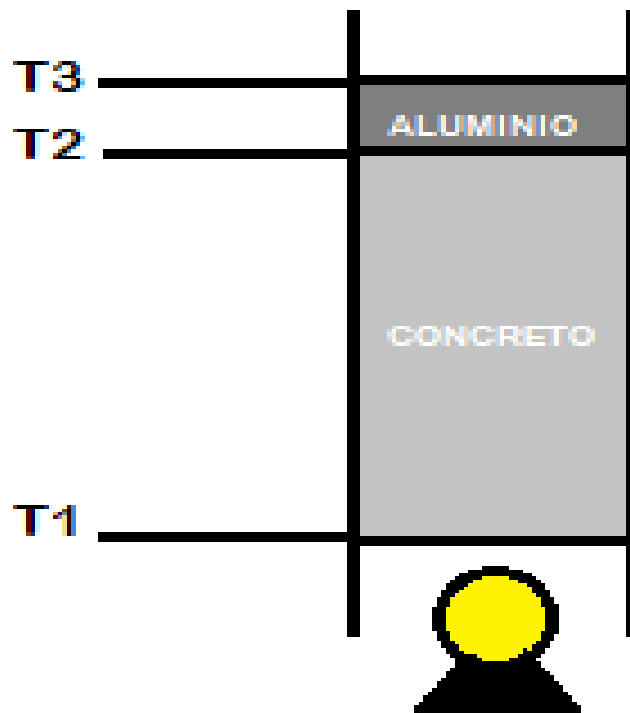


Figura 13. Descripción gráfica del ensayo realizado.

- Primero en un molde cilíndrico se coloca la muestra de concreto y encima de ella una barra cilíndrica de aluminio.
- Posteriormente debajo de ellas se coloca una fuente de calor constante.
- Luego esperar que las temperaturas entre los tres puntos se mantengan constante y así poder obtener su potencia de calor equilibrada e igual una de la otra, esto lo comprobaremos con la ayuda de un termómetro.
- Se procede a lectura las temperaturas en los tres puntos.
- Usamos la ecuación 15 tanto para el concreto como para el aluminio y igualamos. Para obtener la conductividad térmica del concreto.

## Capítulo IV. Resultados y Discusión

### 4.1. Presentación de Resultados

#### 4.1.1. Trabajabilidad.

La trabajabilidad de la mezcla es afectada por la incorporación de PET reciclado respecto a los agregados, cabe precisar que el slump de diseño que se planteo fue de 3" a 4". El ensayo se realizó siguiendo las siguientes normas NTP 339.035 y ASTM C-143 obteniendo los resultados que se aprecian a continuación:

Tabla 24  
Medición de slump del concreto patrón y experimental

Muestra	% Agregados	% PET	SLUMP				% disminución trabajabilidad
			Cm	pulg	Promedio cm	Promedio pulg	
Concreto patrón (CP)	100%	0%	8.7	3.4	8.8	3.5	0%
			9	3.5			
			8.8	3.5			
Concreto experimental (CE1)	97%	3%	7.4	2.9	7.3	2.9	17.14%
			7.5	3			
			7.1	2.8			
Concreto experimental (CE2)	94%	6%	5.4	2.1	5.4	2.1	40%
			5.3	2.1			
			5.6	2.2			
Concreto experimental (CE3)	91%	9%	2.5	1	2.4	1	71.43%
			2.5	1			
			2.3	0.9			
Concreto experimental (CE4)	88%	12%	0.8	0.3	0.6	0.2	94.29%
			0.4	0.2			
			0.5	0.2			

Nota: Elaboración: Fuente propia.

#### 4.1.2. Peso unitario.

Se determinó el peso unitario del concreto patrón y de las muestras experimentales que contienen 3%, 6% 9% y 12% de PET siguiendo la NTP 339.046. Las unidades de medidas del peso unitario estarán expresadas en  $\text{kg/m}^3$  y cuyos resultados se aprecian en las siguientes tablas:

Tabla 25  
Peso unitario del concreto patrón

<b>MUESTRA</b>	<b>Volumen del molde (m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso del concreto (kg)</b>	<b>peso unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso unitario promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CP	0.00177	4.242	2396.61	
CP	0.00184	4.265	2317.93	
CP	0.00178	4.273	2400.56	
CP	0.00178	4.259	2392.70	
CP	0.00182	4.262	2341.76	
CP	0.00182	4.265	2343.41	
CP	0.00178	4.269	2398.31	
CP	0.00174	4.268	2452.87	2381.07
CP	0.00182	4.254	2337.36	
CP	0.00177	4.260	2406.78	
CP	0.00177	4.238	2394.35	
CP	0.00178	4.262	2394.38	
CP	0.00178	4.267	2397.19	
CP	0.00184	4.269	2320.11	
CP	0.00175	4.238	2421.71	

Nota: CP = concreto sin incorporación de PET. Elaboración: Fuente propia.

Tabla 26  
Peso unitario del concreto experimental (CE1)

<b>MUESTRA</b>	<b>Volumen del molde (m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso del concreto (kg)</b>	<b>peso unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso unitario promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CE1	0.00174	4.058	2332.18	
CE1	0.00180	4.152	2306.67	
CE1	0.00184	4.185	2274.46	
CE1	0.00178	4.201	2360.11	
CE1	0.00174	4.120	2367.82	2324.66
CE1	0.00174	4.104	2358.62	
CE1	0.00175	4.126	2357.71	
CE1	0.00172	3.984	2316.28	
CE1	0.00174	4.102	2357.47	
CE1	0.00174	4.093	2352.30	

CE1	0.00180	4.152	2306.67
CE1	0.00178	4.176	2346.07
CP1	0.00184	4.185	2274.46
CE1	0.00185	4.168	2252.97
CE1	0.00180	4.151	2306.11

Nota: CE1 = concreto con incorporación de PET en un 3% respecto al peso de los agregados. Elaboración: Fuente propia.

Tabla 27  
*Peso unitario del concreto experimental (CE2)*

<b>MUESTRA</b>	<b>Volumen del molde (m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso del concreto (kg)</b>	<b>peso unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso unitario promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CE2	0.00173	4.002	2313.29	
CE2	0.00179	4.008	2239.11	
CE2	0.00178	4.017	2256.74	
CE2	0.00178	4.014	2255.06	
CE2	0.00174	3.992	2294.25	
CE2	0.00175	4.014	2293.71	
CE2	0.00183	4.012	2192.35	
CE2	0.00178	4.014	2255.06	2267.01
CE2	0.00178	4.034	2266.29	
CE2	0.00173	4.020	2323.70	
CE2	0.00165	3.869	2344.85	
CE2	0.00179	4.014	2242.46	
CE2	0.00183	4.034	2204.37	
CE2	0.00175	4.101	2343.43	
CE2	0.00184	4.012	2180.43	

Nota: CE2 = concreto con incorporación de PET en un 6% respecto al peso de los agregados. Elaboración: Fuente propia.

Tabla 28  
*Peso unitario del concreto experimental (CE3)*

<b>MUESTRA</b>	<b>Volumen del molde (m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso del concreto (kg)</b>	<b>peso unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso unitario promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CE3	0.00173	3.722	2151.45	
CE3	0.00172	3.784	2200.00	2119.75
CE3	0.00180	3.794	2107.78	
CE3	0.00173	3.758	2172.25	

CE3	0.00182	3.814	2095.60
CE3	0.00182	3.802	2089.01
CE3	0.00180	3.784	2102.22
CE3	0.00178	3.699	2078.09
CE3	0.00180	3.801	2111.67
CE3	0.00172	3.692	2146.51
CE3	0.00173	3.669	2120.81
CE3	0.00173	3.760	2173.41
CE3	0.00178	3.710	2084.27
CE3	0.00182	3.794	2084.62
CE3	0.00182	3.783	2078.57

Nota: CE3 = concreto con incorporación de PET en un 9% respecto al peso de los agregados. Elaboración: Fuente propia.

Tabla 29  
*Peso unitario del concreto experimental (CE4)*

<b>MUESTRA</b>	<b>Volumen del molde (m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso del concreto (kg)</b>	<b>peso unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>peso unitario promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CE4	0.00178	3.663	2057.87	
CE4	0.00178	3.658	2055.06	
CE4	0.00178	3.664	2058.43	
CE4	0.00175	3.668	2096.00	
CE4	0.00182	3.689	2026.92	
CE4	0.00182	3.673	2018.13	
CE4	0.00178	3.661	2056.74	
CE4	0.00174	3.586	2060.92	2060.39
CE4	0.00178	3.659	2055.39	
CE4	0.00176	3.670	2085.23	
CE4	0.00178	3.694	2075.28	
CE4	0.00183	3.783	2067.21	
CE4	0.00174	3.625	2083.33	
CE4	0.00172	3.564	2072.33	
CE4	0.00178	3.626	2037.08	

Nota: CE4 = concreto con incorporación de PET en un 12% respecto al peso de los agregados. Elaboración: Fuente propia.

### 4.1.3. Resistencia a la compresión.

Tabla 30

Resistencia a la compresión del concreto a una edad de 7 días

Muestra	%		Área	Fuerza	Resistencia		% de resistencia	% promedio resistencia	promedio (u)
	Agregados	PET			rotura kg/cm <sup>2</sup>	diseño kg/cm <sup>2</sup>			
CP-1	100%	0%	86.588	12004.6	138.64	210	66.02		
CP-2	100%	0%	84.947	11968.1	140.89	210	67.09	66.27	139.16
CP-3	100%	0%	88.578	12218.5	137.94	210	65.69		
CE1-1	97%	3%	85.601	10843.1	126.67	210	60.32		
CE1-2	97%	3%	83.321	10480.1	125.78	210	59.90	59.89	125.78
CE1-3	97%	3%	84.947	10608.1	124.88	210	59.47		
CE2-1	94%	6%	88.912	8854.8	99.59	210	47.42		
CE2-2	94%	6%	86.588	8977.4	103.68	210	49.37	48.31	101.45
CE2-3	94%	6%	86.588	8752.3	101.08	210	48.13		
CE3-1	91%	9%	88.245	7800.9	88.40	210	42.10		
CE3-2	91%	9%	86.588	7528.0	86.94	210	41.40	41.91	88.01
CE3-3	91%	9%	88.245	7826.5	88.69	210	42.23		
CE4-1	88%	12%	88.245	5525.9	62.62	210	29.82		
CE4-2	88%	12%	84.947	5389.9	63.45	210	30.21	30.15	63.32
CE4-3	88%	12%	86.588	5533.0	63.90	210	30.43		

Nota: CP = Concreto patrón, CE1 = Concreto experimental con 3% de PET, CE2 = Concreto experimental con 6% de PET, CE3 = Concreto experimental con 9% de PET y CE4 = Concreto experimental con 12% de PET. Elabotación: Fuente Propia.

Tabla 31

Resistencia a la compresión del concreto a una edad de 14 días

Muestra	%		Área	Fuerza	Resistencia		% de resistencia	% promedio resistencia	promedio (u)
	Agregados	PET			rotura kg/cm <sup>2</sup>	diseño kg/cm <sup>2</sup>			
CP-4	100%	0%	86.588	15990.2	184.67	210	87.94		
CP-5	100%	0%	81.711	15266.9	186.84	210	88.97	89.21	187.35
CP-6	100%	0%	86.588	16498.5	190.54	210	90.73		
CE1-4	97%	3%	84.947	13663.7	160.85	210	76.60		
CE1-5	97%	3%	88.245	14053.0	159.25	210	75.83	75.73	159.04
CE1-6	97%	3%	86.588	13596.1	157.02	210	74.77		
CE2-4	94%	6%	84.947	10243.7	120.59	210	57.42		
CE2-5	94%	6%	81.711	9710.5	118.84	210	56.59	56.84	119.36

CE2-6	94%	6%	86.588	10273.7	118.65	210	56.50		
CE3-4	91%	9%	83.321	8627.9	103.55	210	49.31		
CE3-5	91%	9%	84.947	8543.9	100.58	210	47.90	48.54	101.94
CE3-6	91%	9%	84.947	8638.2	101.69	210	48.42		
CE4-4	88%	12%	84.947	6852.6	80.67	210	38.41		
CE4-5	88%	12%	86.588	7211.1	83.28	210	39.66	38.50	80.86
CE4-6	88%	12%	89.918	7069.4	78.62	210	37.44		

Nota: CP = Concreto patrón, CE1 = Concreto experimental con 3% de PET, CE2 = Concreto experimental con 6% de PET, CE3 = Concreto experimental con 9% de PET y CE4 = Concreto experimental con 12% de PET. Elabotación: Fuente Propia.

Tabla 32

*Resistencia a la compresión del concreto a una edad de 28 días*

Muestra	% Agregados	% PET	Área	Fuerza	Resistencia		% de resistencia	% promedio resistencia	promedio (u)
					rotura kg/cm <sup>2</sup>	diseño kg/cm <sup>2</sup>			
CP-7	100%	0%	86.588	19794.0	228.60	210	108.86		
CP-8	100%	0%	88.912	20177.8	226.94	210	108.07	107.92	226.63
CP-9	100%	0%	85.765	19241.5	224.35	210	106.83		
CE1-7	97%	3%	89.918	17584.4	195.56	210	93.12		
CE1-8	97%	3%	91.098	17747.8	194.82	210	92.77	94.73	198.92
CE1-9	97%	3%	84.947	17532.1	206.39	210	98.28		
CE2-7	94%	6%	89.080	12887.2	144.67	210	68.89		
CE2-8	94%	6%	85.601	12566.3	146.80	210	69.90	68.73	144.34
CE2-9	94%	6%	89.918	12727.0	141.54	210	67.40		
CE3-7	91%	9%	86.588	11104.0	128.24	210	61.07		
CE3-8	91%	9%	88.245	11085.4	125.62	210	59.82	60.51	127.07
CE3-9	91%	9%	88.245	11237.1	127.34	210	60.64		
CE4-7	88%	12%	84.947	8426.7	99.20	210	47.24		
CE4-8	88%	12%	84.947	8289.1	97.58	210	46.47	47.38	99.49
CE4-9	88%	12%	86.588	8805.1	101.69	210	48.42		

Nota: CP = Concreto patrón, CE1 = Concreto experimental con 3% de PET, CE2 = Concreto experimental con 6% de PET, CE3 = Concreto experimental con 9% de PET y CE4 = Concreto experimental con 12% de PET. Elabotación: Fuente Propia.



#### 4.1.4. Conductividad térmica.

Tabla 33  
Resultados del ensayo de conductividad térmica

MUESTRA	T1 (°k)	T2 (°k)	T3 (°k)	Área (m <sup>2</sup> )	altura de probeta (m)	Conductividad térmica W/km	Promedio
CP-10	478.15	315.55	315.25	0.008758	0.206	0.9008	0.90
CP-11	477.65	315.55	315.25	0.008659	0.205	0.8992	
CP-12	478.35	315.85	315.55	0.008659	0.206	0.9013	
CE1-10	488.15	311.65	311.35	0.008659	0.204	0.8218	0.83
CE1-11	488.35	312.05	311.75	0.008659	0.207	0.8348	
CE1-12	487.95	311.25	310.95	0.008725	0.205	0.8249	
CE2-10	507.65	308.55	308.25	0.008703	0.206	0.7356	0.73
CE2-11	508.05	308.35	308.05	0.008698	0.206	0.7334	
CE2-12	507.95	308.45	308.15	0.008693	0.205	0.7306	
CE3-10	520.15	305.95	305.65	0.008689	0.204	0.6771	0.68
CE3-11	519.65	305.65	305.35	0.008684	0.206	0.6844	
CE3-12	520.47	305.35	305.05	0.008679	0.204	0.6742	
CE4-10	534.65	302.65	302.35	0.008674	0.207	0.6344	0.63
CE4-11	533.62	302.55	302.25	0.008670	0.205	0.6308	
CE4-12	532.95	302.55	302.25	0.008665	0.205	0.6326	

Nota: CP = Concreto patrón, CE1 = Concreto experimental con 3% de PET, CE2 = Concreto experimental con 6% de PET, CE3 = Concreto experimental con 9% de PET y CE4 = Concreto experimental con 12% de PET. Elabotación: Fuente Propia.

#### 4.2. Interpretación de Resultados

Analizando los resultados adquiridos en cada ensayo ejecutado en esta investigación y siendo una parte vital, realizando una aportación informativa del concreto patrón con incorporación de PET reciclado:

Los materiales utilizados en esta investigación son:

- Agregado fino, adquirido de la cantera Isla.
- Agregado grueso, adquirido de la cantera Isla.
- Cemento portland Rumi Tipo IP.
- PET reciclado, adquirido de trituradoras de Juliaca.
- Agua, distribución Seda Juliaca.

## Ensayos preliminares

- Se desarrolló ensayos al agregado fino y grueso, obteniendo sus propiedades físicas.
- En el concreto patrón se le añadió en porcentajes de agregado fino y grueso, guiándonos de las tablas existentes en el método de diseño de mezclas según el ACI.
- Para la incorporación del PET se disminuyó al agregado en porcentajes, guiándonos en conclusiones de las investigaciones similares y su ejecución de anteriores tesis.
- El diseño dado en esta investigación fue según los métodos de diseño de mezclas del ACI, con una relación a/c para el concreto patrón y para el concreto con PET en sus diferentes porcentajes.
- Para el curado se dio según norma del ASTM C 31, que describe a temperatura de 23°C y 25°C, indicando que esta temperatura es la del agua y está dada dentro de una vivienda en la zona.

### **4.2.1. Agregados.**

#### **4.2.1.1. Agregado fino.**

En la presente investigación se dio uso del agregado fino proveniente de la cantera Isla, y que está dentro del rango mostrado en el Anexo A de aceptación según la NTP 400.012. Su módulo de fineza nos dio 2.8 que de acuerdo a la norma está dentro del rango permisible.

#### **4.2.1.2. Agregado grueso.**

En la investigación dimos uso del agregado grueso de la cantera Isla, y que está dentro del rango admitido según la NTP 400.037, mostrado en el Anexo A. La granulometría fue tomada de la muestra del agregado grueso, dando su comodidad con el Huso 6, para su conformidad de este Huso se tomó en cada tamiz de acuerdo al Huso 6.

## **4.3. Propiedades del Concreto en Estado Fresco**

### **4.3.1. Trabajabilidad.**

En el diseño para su asentamiento tomo el rango de 3" a 4", considerando como un concreto trabajable, e indicando que se trabajó con las mismas medidas de agua tanto para el concreto patrón como para los concretos experimentales. Se examinó su trabajabilidad en referencia a cada incorporación en porcentajes de PET.

Tabla 34  
Resumen de resultados de los ensayos de trabajabilidad

Muestra	Slump pulg.	% de trabajabilidad diseño	% de disminución de trabajabilidad
Concreto patrón (CP)	3.5	100.00	0.00
Concreto experimental (CE1)	2.9	82.86	17.14
Concreto experimental (CE2)	2.1	60.00	40.00
Concreto experimental (CE3)	1	28.57	71.43
Concreto experimental (CE4)	0.2	5.71	94.29

Nota: CP = Concreto patrón, CE1 = Concreto experimental con 3% de PET, CE2 = Concreto experimental con 6% de PET, CE3 = Concreto experimental con 9% de PET y CE4 = Concreto experimental con 12% de PET. Elabotación: Fuente Propia.

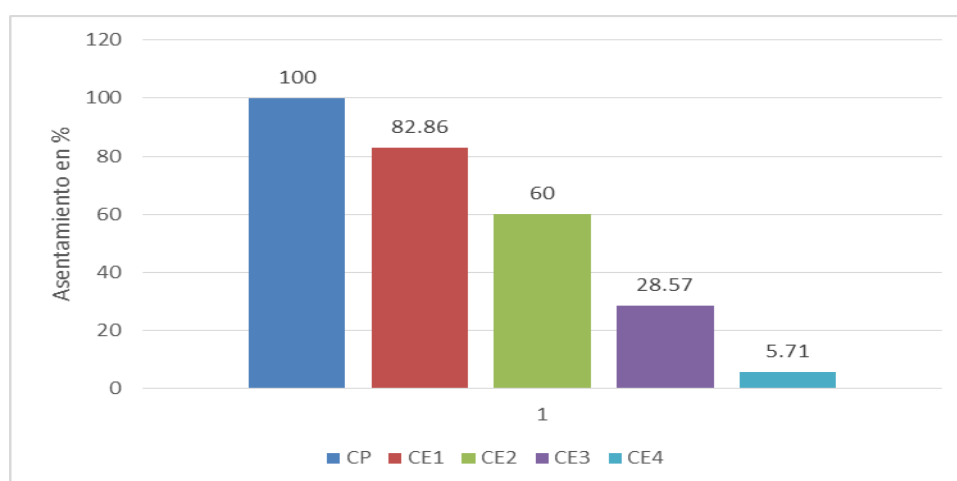


Figura 14. Comparativa de asentamiento en porcentajes del concreto patrón - concretos experimentales.

Según muestra los resultados de ensayo de revenimiento o trabajabilidad del concreto se observa que, a medida del incremento de la incorporación de PET al concreto con respecto al peso de los agregados, la trabajabilidad disminuye considerablemente.

Teniendo que para la incorporación de 3% de PET disminuyo un 17.14% con respecto al concreto patrón, teniendo un slump de 2.9" que según a la Tabla 1 se considera como un concreto trabajable con una consistencia plástica.

Al incorporar 6% de PET se observa una disminución en la trabajabilidad de un 40% con respecto al concreto patrón, teniendo un slump de 2.1" que según la Tabla 1 se considera como concreto poco trabajable ya que cuenta con una consistencia seca.

Al incorporar 9% de PET se observa una disminución en la trabajabilidad de un 71.46% con respecto al concreto patrón, teniendo un slump de 1" que según la Tabla 1 se considera como concreto poco trabajable ya que cuenta con una consistencia seca.

Al incorporar 12% de PET se observa una disminución en la trabajabilidad de un 94.29% con respecto al concreto patrón, teniendo un slump de 0.2" que según la Tabla 1 se considera como concreto poco trabajable ya que cuenta con una consistencia seca.

#### 4.3.2. Peso unitario.

Al establecer una comparativa entre el concreto patrón y el concreto con incorporación de PET reciclado, da a conocer que el concreto patrón tiene un mayor peso unitario que se aprecia a continuación:

Tabla 35  
Resumen de los resultados de Peso unitario del concreto

MUESTRA	% agregados	% PET	Peso unitario promedio (kg/m <sup>3</sup> )	% Referente al CP	% de disminución Peso unitario
CP	100%	0%	2381.07	100.00	0.00
CE1	97%	3%	2324.66	97.63	2.37
CE2	94%	6%	2267.01	95.21	4.79
CE3	91%	9%	2119.75	89.03	10.97
CE4	88%	12%	2060.39	86.53	13.47

Nota: CP = Concreto patrón, CE1 = Concreto experimental con 3% de PET, CE2 = Concreto experimental con 6% de PET, CE3 = Concreto experimental con 9% de PET y CE4 = Concreto experimental con 12% de PET. Elabotación: Fuente Propia.

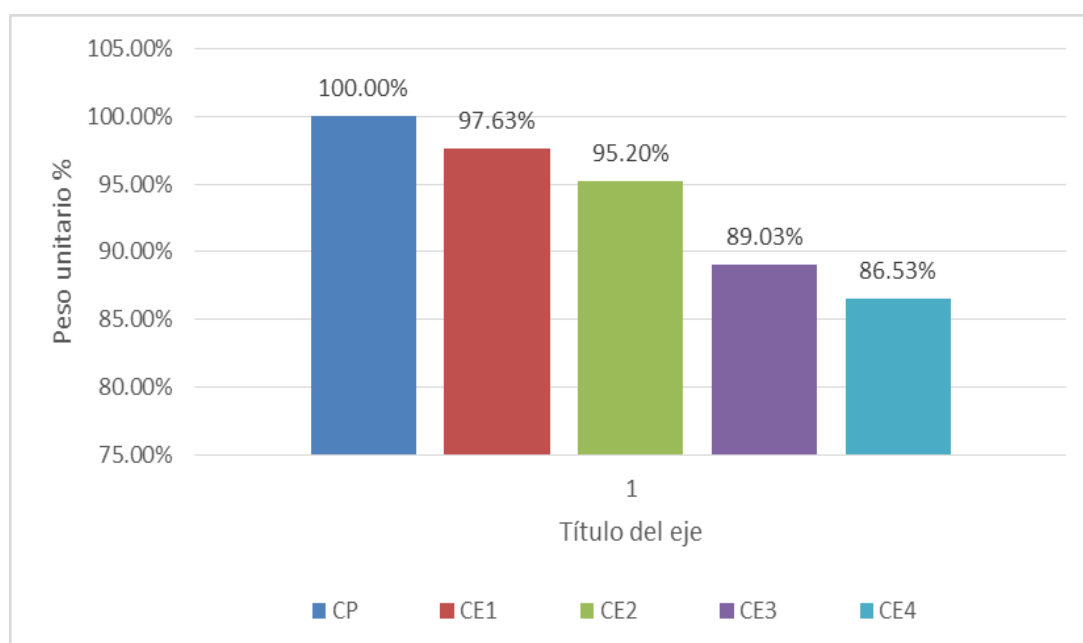


Figura 15. Comparativa de peso unitario en porcentajes del concreto patrón - concretos experimentales.

En los resultados se observa, que la mezcla con 3%PET, 6%PET, 9%PET y 12%PET reciclado. Se obtuvo un promedio de reducción de peso unitario de 2.37%, 4.79, 10.97 y 13.47% respectivamente como se aprecia en la Tabla 35. Por ello, se puede precisar que la disminución del peso unitario del concreto va en relación al incremento de PET debido a que el peso de las hojuelas de PET es menor a las del agregado; por otro lado, también se puede ver que el PET en el concreto genera poros durante el proceso de mezclado, debido a que los plásticos tienen propiedades de elongación, elasticidad y estabilidad dimensional.

También cabe precisar que los concretos con incorporación de 3% y 6% que tuvieron un peso unitario de 2381.07 y 2267.01 Kg/m<sup>3</sup> respectivamente, no disminuyen considerablemente su peso como para poderlo considerar como concreto liviano. En cuanto a los concretos con incorporación de 9% y 12% que tuvieron un peso unitario de 2119.75 y 2060.39 Kg/m<sup>3</sup> lo cual es una disminución de peso unitario considerable lo que si podemos considerarlo dentro de los concretos livianos. Según National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA 210) considera como concreto liviano a aquellos cuyo peso unitario es de 1440 a 1840 Kg/m<sup>3</sup> y concreto normal de 2240 a 2400 Kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.4. Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

##### 4.4.1. Resistencia a la compresión.

Este procedimiento se lleva después del desmoldado de las probetas cilíndricas en edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 36  
Resumen de la resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días

Muestra	% Agregados	% PET	7 Días		14 Días		28 Días	
			kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%
CP	100	0	145.82	69.44	187.35	89.21	226.63	107.92
CE1	97	3	125.78	59.89	159.04	75.73	198.92	94.73
CE2	94	6	101.45	48.31	119.36	56.84	144.34	68.73
CE3	91	9	88.01	41.91	101.94	48.54	127.07	60.51
CE4	88	12	63.32	30.15	80.86	38.50	99.49	47.38

Nota: CP = Concreto patrón, CE1 = Concreto experimental con 3% de PET, CE2 = Concreto experimental con 6% de PET, CE3 = Concreto experimental con 9% de PET y CE4 = Concreto experimental con 12% de PET. Elabotación: Fuente Propia.

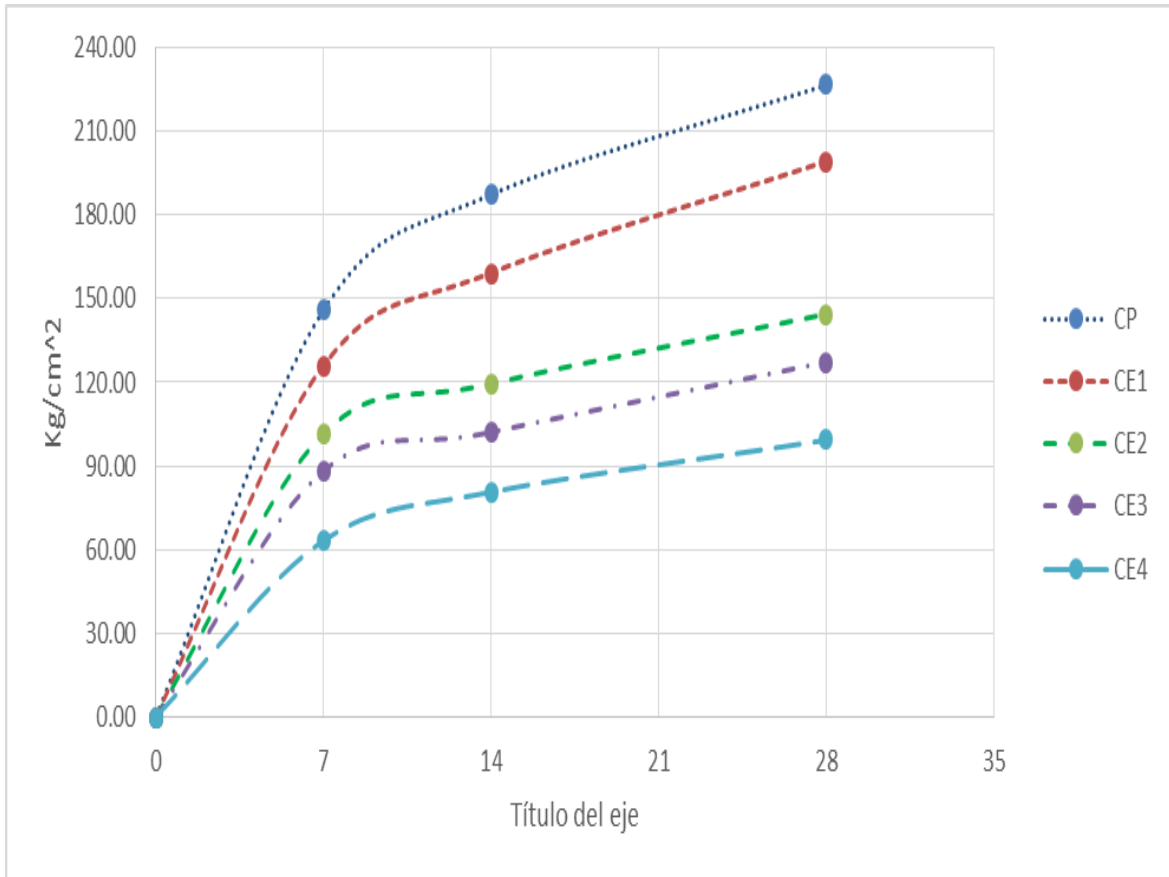


Figura 16. Comparación de resultados a la compresión del diseño de concreto 210 kg/cm<sup>2</sup>

Como se observa los resultados para un concreto con 3%PET, 6%PET, 9%PET y 12%PET reciclado. Se aprecia la disminución de porcentaje de resistencia a la compresión respecto al concreto patrón de 9.55%, 21.13%, 27.53 y 39.29% a los 7 días; 13.48%, 32.37%, 40.67% y 50.71% a los 14 días y 13.19%, 39.19%, 47.41% y 60.54 a los 28 días. Esto implica una considerable reducción de resistencia del concreto en cuanto al incremento de la incorporación de PET reciclado.

Como también se puede observar en la Tabla 36 que la resistencia del concreto con incorporación de PET que más se asemeja a la de diseño (210 Kg/cm<sup>2</sup>) es el con incorporación de 3% de PET debido a que su resistencia alcanzada al 100% a los 28 días fue de 198.83 Kg/cm<sup>2</sup> obteniendo una diferencia de 11.08Kg/cm<sup>2</sup> con respecto a la resistencia de diseño.

#### 4.4.2. Conductividad Térmica

Tabla 37

Resumen de resultados del ensayo de conductividad térmica

MUESTRA	% Agregados	% PET	Conductividad térmica W/km	% respecto al patrón	% que disminuye
CP	100%	0%	0.90	100%	0.00%
CE1	97%	3%	0.83	91.86%	8.14%
CE2	94%	6%	0.73	81.43%	18.57%
CE3	91%	9%	0.68	75.36%	24.64%
CE4	88%	12%	0.63	70.26%	29.74%

Nota: CP = Concreto patrón, CE1 = Concreto experimental con 3% de PET, CE2 = Concreto experimental con 6% de PET, CE3 = Concreto experimental con 9% de PET, CE4 = Concreto experimental con 12% de PET. Elabotación: Fuente Propia.

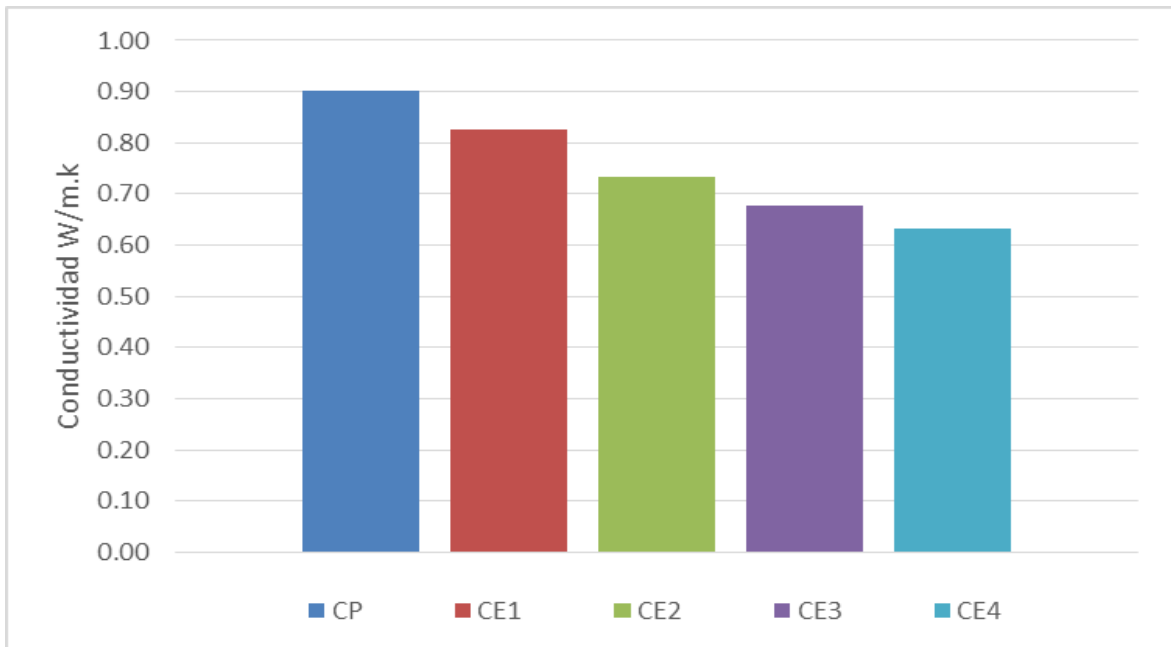


Figura 17. Diagrama de conductividad térmica de las muestras de concreto.

Como se pudo apreciar las conductividades térmica que nos dio para el concreto patrón (CP) y concreto experimental (CE) con incorporación de 3%PET, 6%PET, 9%PET y 12%PET respecto al peso de los agregados fueron: 0.9, 0.83, 0.73, 0.68 y 0.63 W/m.k respectivamente. Lo cual implica una disminución considerable en la conducción térmica del concreto esto debido a las propiedades que presenta el PET. Pudiéndose asemejar a la conductividad térmica del adobe en un ladrillo de barro que presenta conductividad térmica de 0.45.

Se precisa que mediante el incremento continuo de un 3% de PET al concreto se logra una disminución en la conductividad térmica de 5 a 10% o 0.045 a 0.09 W/m<sup>2</sup>k, lo que

lo convierte en un mejor aislante térmico a medida que el porcentaje de incorporación de PET aumenta.

#### **4.5. Prueba de Hipótesis de Investigación**

Hernández et al. (2014) definen: "Las hipótesis, en el enfoque cuantitativo, se someten a prueba en la 'realidad' cuando se implementa un diseño de investigación, se recolectan datos con uno o varios instrumentos de medición, y se analizan e interpretan esos mismos datos" (p. 117).

El análisis estadístico es de gran importancia en cuanto a la evaluación de los resultados obtenidos en una investigación, esto porque nos permite tener la veracidad de la confiabilidad de los datos obtenidos mediante las pruebas. Tomando en consideración el factor  $\alpha = 0.05$  por criterio del investigador basándonos en factores económicos y tiempo. Y a su vez tomando en consideración investigaciones anteriores.

##### **4.5.1. Prueba de hipótesis específica de investigación (Trabajabilidad del concreto).**

La trabajabilidad de la mezcla es afectada por incorporación de PET reciclado respecto a los agregados, cabe precisar que el slump de diseño que se planteo fue de 3" a 4". El ensayo se realizó de acuerdo a las normas NTP 339.035 y ASTM C-143 obteniendo los resultados que se aprecian en la Tabla 24.

##### **Paso 1: Formulación de hipótesis**

Formulamos las siguientes hipótesis para responder a la pregunta: ¿Cuál es el comportamiento de la trabajabilidad que existe entre el concreto normal y el concreto con incorporación de tereftalato e polietileno reciclado respecto al peso de los agregados?

$H_0$  = No existen diferencias significativas que indican que a mayor porcentaje de PET incorporado al diseño de mezcla del concreto la trabajabilidad aumenta.

$H_1$  = Existen diferencias significativas que indican que a mayor porcentaje de PET incorporado al diseño de mezcla del concreto la trabajabilidad disminuye.

##### **Paso 2: Nivel de Significancia**

$$\alpha = 0.05$$

##### **Paso 3: Elección de la prueba estadística**

ANOVA



#### Paso 4: Estimación del p-valor

Al procesar los datos de los 4 tratamientos en relación al concreto patrón, se tienen los siguientes resultados estadísticos descriptivos, en donde se observa las diferencias entre los promedios de cada tratamiento, para verificar la significancia de estos datos es necesario realizar la prueba ANOVA:

Tabla 38  
*Estadísticos descriptivos de la trabajabilidad*

	Media	Desv. estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mín.	Máx.
				Límite inferior	Límite superior		
				Tratamiento 1	2.900000		
Tratamiento 2	2.133333	.0577350	.0333333	1.989912	2.276755	.1000	.2000
Tratamiento 3	.966667	.0577350	.0333333	.823245	1.110088	9000	.0000
Tratamiento 4	.233333	.0577350	.0333333	.089912	.376755	2000	3000
Concreto Patrón	3.466667	.0577350	.0333333	3.323245	3.610088	.4000	.5000
Total	1.940000	1.2391241	.3199405	1.253796	2.626204	2000	.5000

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Se observa que el slump del concreto patrón es de 3.5 pulgadas, además, de ver que el slump que más ha disminuido ha sido el tratamiento 4, cuyo porcentaje de agregado es de 88% y de PET 12%, lo que indica que este tratamiento es el menos eficiente en cuanto a la trabajabilidad. Sin embargo, el tratamiento que funciona de mejor manera es el tratamiento 1, con un porcentaje de agregado de 97% y PET del 3%, ya que tiene un slump de 3 pulgadas aproximadas.

Tabla 39  
Prueba estadística ANOVA para la trabajabilidad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	21,449	4	5,362	1149,071	,0001
Dentro de grupos	,047	10	,005		
Total	21,496	14			

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Al realizar la prueba Dunnett para observar la comparación del concreto patrón, con los cuatro tratamientos, se tiene la siguiente Tabla:

Tabla 40  
Comparaciones múltiples de Dunnett para la trabajabilidad

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	ig.	S 95% de intervalo de confianza Límite superior
Tratamiento 1	Concreto Patrón	-.5666667*	.0557773	,0001	-.429143
Tratamiento 2	Concreto Patrón	-1.3333333*	.0557773	,0001	-1.195810
Tratamiento 3	Concreto Patrón	-2.5000000*	.0557773	,0001	-2.362476
Tratamiento 4	Concreto Patrón	-3.2333333*	.0557773	,0001	-3.095810

Nota: La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05 , Variable dependiente: Trabajabilidad prueba T de Dunnett Elaboración: Fuente Propia.

En la tabla de resultados ANOVA, se tiene un p-valor de 0,0001 haciendo el contraste con el nivel de significancia dado en el paso 2 se tiene:

**p-valor de la prueba ANOVA**

$$p\text{-valor} = 0.0001 < \alpha = 0.05$$

Nota: p-valor: probabilidad obtenida de la prueba.  $\alpha$ : porcentaje de error (5%), nivel de significancia.

### **Paso 5: toma de decisión**

- Si la probabilidad obtenida p-valor  $< \alpha$ , se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$
- Si la probabilidad obtenida p-valor  $> \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_0$ .

Entonces tenemos la tabla 38 que da la relación existente entre el p-valor y  $\alpha$ .

Teniendo las siguientes hipótesis:

$H_0$  = No existen diferencias significativas que mejoran la trabajabilidad del concreto según los tratamientos con PET evaluados respecto al concreto convencional o patrón.

$H_1$  = Existen diferencias significativas que indican la disminución de la trabajabilidad de el concreto.

Entonces se acepta  $H_1$ , concluyendo que existen disminución en la trabajabilidad del concreto experimental con respecto al concreto patrón a diferentes porcentajes. Teniendo en cuenta que el tratamiento con 3% de PET incorporado se asemeja más al concreto patrón.

#### **4.5.2. Prueba de hipótesis específica de investigación (Peso unitario).**

La incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de PET respecto al peso de los agregados, aligerar el peso del concreto, disminuyendo su peso unitario.

#### **PASO 1: Formulación de hipótesis**

- $H_0$  = No existe diferencia significativa en las medias del peso unitario del concreto patrón y concreto PET respecto al peso de los agregados.
- $H_2$  = Existe diferencia significativa entre las medias del concreto patrón y el concreto PET respecto al peso de los agregados.

#### **PASO 2: Nivel de significancia:**

$$\alpha = 0.05$$

#### **PASO 3: Elección de la prueba estadística:**

ANOVA

#### **PASO 4: Estimación del p-valor**

Con el programa SPSS, obtenemos los estadísticos de las muestras evaluadas:

Se tiene la tabla de los valores estadísticos para los 4 tratamientos, y el concreto patrón, se quiere ver si existen diferencias entre las medias, por lo que se realiza la prueba ANOVA de un factor:

Tabla 41  
*Datos estadísticos descriptivos del peso unitario*

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo Máximo	
CE1	15	2,324.6600	36.80219	9.50229	2,304.2796	2,345.0404	2,252.97	2,367.82
CE2	15	2,267.0067	51.73854	13.35883	2,238.3548	2,295.6585	2,180.43	2,344.85
CE3	15	2,119.7507	39.43000	10.18078	2,097.9151	2,141.5863	2,078.09	2,200.00
CE4	15	2,060.3947	21.29527	5.49841	2,048.6017	2,072.1876	2,018.13	2,096.00
CP	15	2,381.0687	39.38087	10.16810	2,359.2603	2,402.8771	2,317.93	2,452.87
Total	75	2,230.5761	128.25911	14.81009	2,201.0664	2,260.0859	2,018.13	2,452.87

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Se observa que el slump del concreto patrón es de 3.5 pulgadas, además, de ver que el slump que más ha disminuido ha sido el tratamiento 4, cuyo porcentaje de agregado es de 88% y de PET 12%, lo que indica que este tratamiento es el menos eficiente en cuanto a la trabajabilidad. Sin embargo, el tratamiento que funciona de mejor manera es el tratamiento 1, con un porcentaje de agregado de 97% y PET del 3%, ya que tiene un slump de 3 pulgadas aproximadas.

Tabla 42  
*Prueba estadística ANOVA para el peso unitario*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1111064,640	4	277766,160	182,973	,0001
Dentro de grupos	106264,831	70	1518,069		
Total	1217329,470	74			

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Al realizar la prueba Dunnett para observar la comparación del concreto patrón, con los cuatro tratamientos, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 43  
*Comparaciones múltiples de Dunnett para la trabajabilidad*

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza Límite superior
Tratamiento 1	Concreto Patrón	-56.4086667*	14.2270588	,0001	-25.110564
Tratamiento 2	Concreto Patrón	-114.0620000*	14.2270588	,0001	-82.763897

Tratamiento 3	Concreto Patrón	-261.3180000*	14.2270588	,0001	-230.019897
Tratamiento 4	Concreto Patrón	-320.6740000*	14.2270588	,0001	-289.375897

Nota: La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05 , Variable dependiente: Peso unitario prueba T de Dunnett Elaboración: Fuente Propia.

En la tabla de resultados ANOVA, se tiene un p-valor de 0,0001 haciendo el contraste con el nivel de significancia dado en el paso 2 se tiene:

### **p-valor de la Prueba ANOVA**

$$\text{p-valor} = 0.0001 \quad < \quad \alpha = 0.05$$

#### **PASO 5: Toma de decisión**

- Si la probabilidad obtenida  $p\text{-valor} < \alpha$ , se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_2$
- Si la probabilidad obtenida  $p\text{-valor} > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_0$ .

Entonces se acepta la  $H_2$ , concluyendo que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos y el concreto patrón. Al realizar las comparaciones múltiples mediante el estadístico de Dunnett, se tiene para la comparación del concreto patrón CP y los tratamientos 1, 2,3 y 4 nos da un p-valor menor al nivel de significancia lo que indica aceptar  $H_2$ .

#### **4.5.3. Prueba de hipótesis específica de investigación (Resistencia a la compresión).**

Teniendo como referencia la aseveración que indica que la incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de PET sustituido en el agregado global disminuye la resistencia a compresión del concreto 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Para la resistencia evaluada a los 7 días, teniendo 3 muestras para cada tratamiento y 3 para el concreto patrón que será l muestra de control, se tienen los siguientes resultados que serán analizados de acuerdo a la prueba estadística correspondiente:

#### **Paso 1: Formulación de Hipótesis**

Formulamos las siguientes hipótesis para responder a la pregunta: ¿Existe una disminución significativa en la resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días, para los tratamientos con PET?

$H_0$  = No Existen diferencias significativas que indican que la incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de PET sustituido en el agregado global disminuye la resistencia a compresión del concreto 210 kg/cm<sup>2</sup>.

H<sub>1</sub>: La incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno respecto al peso de los agregados, disminuye la trabajabilidad en el concreto.

### Paso 2: Nivel de Significancia

$$\alpha = 0.05$$

### PASO 3: Elección de la prueba estadística

ANOVA

### Paso 4: Estimación del p-valor

Teniendo las resistencias de los 4 tratamientos experimentales y del tratamiento control, se tienen los resultados a los 7 días, observando, según los estadísticos descriptivos que las medias varían; teniendo que el tratamiento 1 es la resistencia más aproximada al tratamiento control.

Tabla 44

*Datos estadísticos descriptivos de la resistencia a los 7 días.*

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Tratamiento 1	3	125.7767	.89500	.51673	123.5534	128.0000	124.88	126.67
Tratamiento 2	3	101.4500	2.06995	1.19509	96.3080	106.5920	99.59	103.68
Tratamiento 3	3	88.0100	.93792	.54151	85.6801	90.3399	86.94	88.69
tratamiento 4	3	63.3233	.64933	.37489	61.7103	64.9364	62.62	63.90
Concreto Patrón	3	139.1567	1.54137	.88991	135.3277	142.9857	137.94	140.89
Total	15	103.5433	27.89696	7.20296	88.0945	118.9922	62.62	140.89

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Al realizar el análisis de varianza de un factor, obtenemos un nivel de significancia de 0.05, dato necesario para elegir la hipótesis que se debe aceptar o rechazar.

Tabla 45

*Prueba estadística ANOVA para resistencia a los 7 días.*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10877,837	4	2719,459	1551,689	,0001

Dentro de grupos	17,526	10	1,753
Total	10895,362	14	

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Al realizar la prueba Dunnett para observar las comparaciones entre el concreto patrón y los 4 tratamientos, se aprecia lo siguiente:

Tabla46

*Comparaciones múltiples de Dunnett para Resistencia a la compresión a los 7 días*

(I) indicador	(J) indicador	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza Límite superior
Tratamiento 1	Concreto Patrón	-13.38000*	1.08092	,0001	-10.7149
Tratamiento 2	Concreto Patrón	-37.70667*	1.08092	,0001	-35.0416
Tratamiento 3	Concreto Patrón	-51.14667*	1.08092	,0001	-48.4816
tratamiento 4	Concreto Patrón	-75.83333*	1.08092	,0001	-73.1682

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

#### Resistencia 14 días:

Como se sabe, la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto se realiza en tres etapas, mostrando a continuación el análisis de los datos de resistencia a los 14 días siendo la segunda etapa.

Tabla 47

*Datos estadísticos descriptivos de Resistencia a la compresión a los 14 días*

	N	Media	Desv. Estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mín.	Máx.
					Límite inferior	Límite superior		
Tratamiento 1	3	159.0400	1.92362	1.11060	154.2615	163.8185	157.02	160.85
Tratamiento 2	3	119.3600	1.06944	.61744	116.7034	122.0166	118.65	120.59
Tratamiento 3	3	101.9400	1.50070	.86643	98.2121	105.6679	100.58	103.55
Tratamiento 4	3	80.8567	2.33560	1.34846	75.0547	86.6586	78.62	83.28
Concreto Patrón	3	187.3500	2.96805	1.71360	179.9770	194.7230	184.67	190.54
Total	15	129.7093	39.98697	10.32459	107.5653	151.8534	78.62	190.54

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Tabla 48

Prueba estadística ANOVA para la resistencia a la compresión a los 14 días

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	22342,686	4	5585,672	1307,481	,0001
Dentro de grupos	42,721	10	4,272		
Total	22385,407	14			

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Tabla 49

Comparaciones múltiples de Dunnett para la resistencia a compresión a los 14 días

(I) Indicador	(J) Indicador	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza Límite superior
Tratamiento 1	Concreto Patrón	-28.31000*	1.68762	,0001	-24.1490
Tratamiento 2	Concreto Patrón	-67.99000*	1.68762	,0001	-63.8290
Tratamiento 3	Concreto Patrón	-85.41000*	1.68762	,0001	-81.2490
tratamiento 4	Concreto Patrón	-106.49333*	1.68762	,0001	-102.3324

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

### Resistencia a los 28 días:

Tabla 50

Datos estadísticos descriptivos de Resistencia a la compresión a los 28 días

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Tratamiento 1	3	198.9233	6.47690	3.73944	182.8338	215.0128	194.82	206.39
Tratamiento 2	3	144.3367	2.64580	1.52755	137.7641	150.9092	141.54	146.80
Tratamiento 3	3	127.0667	1.33121	.76858	123.7597	130.3736	125.62	128.24
Tratamiento 4	3	99.4900	2.07029	1.19528	94.3471	104.6329	97.58	101.69



Concreto Patrón	3	226.6300	2.14189	1.23662	221.3092	231.9508	224.35	228.60
Total	15	159.2893	48.51331	12.52608	132.4236	186.1551	97.58	228.60

Nota: Elaboración: Fuente Propia

**Tabla 51**

*Prueba estadística ANOVA para la resistencia a la compresión a los 28 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	32830,386	4	8207,597	688,598	,0001
Dentro de grupos	119,193	10	11,919		
Total	32949,579	14			

Nota: Elaboración: Fuente Propia

**Tabla 52**

*Datos estadísticos descriptivos de resistencia a la compresión a los 28 días*

(I) Indicador	(J) Indicador	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza Límite superior
Tratamiento 1	Concreto	-	2.81	,	-
	Patrón	27.70667*	890	0001	20.7564
Tratamiento 2	Concreto	-	2.81	,	-
	Patrón	82.29333*	890	0001	75.3431
Tratamiento 3	Concreto	-	2.81	,	-
	Patrón	99.56333*	890	0001	92.6131
Tratamiento 4	Concreto	-	2.81	,	-
	Patrón	127.14000*	890	0001	120.1898

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

### Paso 5: toma de decisión

- Si la probabilidad obtenida p-valor  $< \alpha$ , se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$
- Si la probabilidad obtenida p-valor  $> \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_0$ .
- Entonces tenemos la tabla. 38 que da la relación existente entre el p-valor y  $\alpha$ .

### p-valor de la prueba t para muestras relacionadas

p-valor = 0.0001 <  $\alpha=0.05$

Teniendo las siguientes hipótesis:

- $H_0$  = No Existen diferencias significativas que indican que la incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de PET sustituido en el agregado global disminuye la resistencia a compresión del concreto 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- $H_2$ : La incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno respecto al peso de los agregados, aligerar el peso del concreto, disminuyendo su peso unitario.
- Si la probabilidad obtenida p-valor <  $\alpha$ , se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$
- Si la probabilidad obtenida p-valor >  $\alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_0$ .

Entonces se acepta la  $H_1$ , concluyendo que existen diferencias significativas que indican que la incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de PET sustituido en el agregado global disminuye la resistencia a compresión del concreto 210 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.5.4. Prueba de hipótesis específica de investigación (Conductividad térmica).**

Teniendo como hipótesis de la investigación que la incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de PET, como sustituto del agregado global, existe una mejora del comportamiento térmico, disminuyendo la conductividad térmica del concreto.

##### **Paso 1: Formulación de hipótesis**

Formulamos las siguientes hipótesis para responder a la pregunta: ¿Existe una disminución de la conductividad térmica del concreto al realizar los tratamientos de 3%,6%,9% y 12% de sustitución del agregado global con PET?

$H_0$  = No existe una disminución de la conductividad térmica del concreto al realizar los tratamientos de 3%,6%,9% y 12% de sustitución del agregado global con PET

$H_3$ : La incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno respecto al peso de los agregados, disminuye la resistencia a compresión del concreto 210 kg/cm<sup>2</sup>.

##### **Paso 2: Nivel de Significancia**

$$\alpha = 0.05$$

##### **Paso 3: Elección de la prueba estadística**

ANOVA

#### Paso 4: Estimación del p-valor

Al procesar los datos de los 4 tratamientos en relación al concreto patrón, se tienen los siguientes resultados estadísticos descriptivos, en donde se observa las diferencias entre los promedios de cada tratamiento, para verificar la significancia de estos datos es necesario realizar la prueba ANOVA:

Tabla 53  
Datos estadísticos descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Tratamiento 1	3	.827167	.0067899	.0039202	.810300	.844034	.8218	.8348
Tratamiento 2	3	.733200	.0025060	.0014468	.726975	.739425	.7306	.7356
Tratamiento 3	3	.678567	.0052558	.0030344	.665511	.691623	.6742	.6844
Tratamiento 4	3	.632600	.0018000	.0010392	.628129	.637071	.6308	.6344
Concreto Patrón	3	.900433	.0010970	.0006333	.897708	.903158	.8992	.9013
Total	15	.754393	.1011142	.0261076	.698398	.810389	.6308	.9013

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Tabla 54  
Prueba estadística ANOVA para la conductividad térmica

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,143	4	,036	2116,168	,0001
Dentro de grupos	,000	10	,000		
Total	,143	14			

Nota: Elaboración: Fuente Propia

Tabla 55  
Comparaciones múltiples de Dunnett para conductividad termina

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza Límite superior
Tratamiento 1	Concreto Patrón	-.0732667*	.0033556	,0001	-.064993
Tratamiento 2	Concreto Patrón	-.1672333*	.0033556	,0001	-.158960
Tratamiento 3	Concreto Patrón	-.2218667*	.0033556	,0001	-.213593
Tratamiento 4	Concreto Patrón	-.2678333*	.0033556	,0001	-.259560

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Las pruebas t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

### **Paso 5: toma de decisión**

- Si la probabilidad obtenida  $p\text{-valor} < \alpha$ , se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$
- Si la probabilidad obtenida  $p\text{-valor} > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_0$ .

Entonces tenemos la tabla. 38 que da la relación existente entre el  $p\text{-valor}$  y  $\alpha$ .

### **p-valor de la prueba t para muestras relacionadas**

$$p\text{-valor} = 0.0001 \quad < \quad \alpha = 0.05$$

Teniendo las siguientes hipótesis:

- $H_0$  = No existe una disminución de la conductividad térmica del concreto al realizar los tratamientos de 3%, 6%, 9% y 12% de sustitución del agregado global con PET
- $H_4$ : La incorporación de 3%, 6%, 9% y 12% de tereftalato de polietileno respecto al peso de los agregados mejora su comportamiento térmico, disminuyendo su conductividad térmica del concreto.
- Si la probabilidad obtenida  $p\text{-valor} < \alpha$ , se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$
- Si la probabilidad obtenida  $p\text{-valor} > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$ , y se acepta  $H_0$ .
- Entonces se acepta la  $H_1$ , concluyendo que Existe una disminución de la conductividad térmica del concreto al realizar los tratamientos de 3%, 6%, 9% y 12% de sustitución del agregado global con PET

## Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

#### 5.1.1. Conclusión general.

La incorporación de PET reciclado afecto claramente al comportamiento mecánico y térmico del concreto de acuerdo a la incorporación de: 3%, 6%, 9% y 12%.

#### 5.1.2. Conclusiones específicas.

Se desarrolló el diseño experimental para obtener las diferencias de los tratamientos con el concreto PET a diferentes porcentajes de sustitución, como son de 3%, 6%, 9% y 12%, obteniendo así el comportamiento térmico y mecánico en el concreto.

La trabajabilidad para el concreto fresco, posee una variación significativa, en los porcentajes de 6%, 9% y 12% obteniendo un concreto poco trabajable de consistencia seca; por otro lado, el concreto con incorporación de 3 % de PET no presenta una variación significativa en cuanto a la trabajabilidad ya que se obtuvo un concreto trabajable de consistencia plástica pudiendo ser empleado en los mismos elementos de concreto que el concreto patrón, debido a que en esta propiedad son similares.

En los resultados de pesos unitarios del concreto para los cuatro tratamientos y el concreto patrón, luego de realizar los análisis respectivos, se define que en al menos un grupo de los tratamientos existen variaciones significativas respecto al grupo control (concreto patrón), indicando que la influencia que se halló por la incorporación de PET reciclado, ayudo a que el concreto sea liviano, demostrándose que el concreto del tratamiento 1 es el más cercano a ser optimo respecto al concreto patrón como se aprecia en la tabla 43. En cuanto a los concretos con incorporación de 9% y 12% que tuvieron un peso unitario de 2119.75 y 2060.39 Kg/m<sup>3</sup> como se muestra en la tabla 35, lo cual es una disminución de peso unitario considerable lo que si podemos considerarlo dentro de los concretos livianos. Ya que, según National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA 210) considera como concreto liviano a aquellos cuyo peso unitario es de 1440 a 1840 Kg/m<sup>3</sup> y concreto normal de 2240 a 2400 Kg/m<sup>3</sup>.

Se ha evidenciado la variación de la resistencia mediante las comparaciones múltiples obtenidas por la prueba Dunnett, indicando en la tabla 49 que el concreto del tratamiento 1 tiene una resistencia cercana a la óptima comparada con el concreto patrón.

Indicando así las diferencias estadísticas entre los demás tratamientos, esto con un 95% de probabilidad. Por lo que el concreto con incorporación de 3% de PET se puede considerar como material en elementos estructurales.

Finalmente se observa que el PET reciclado disminuyó la conductividad térmica en cada uno de los tratamientos, concluyendo que existen diferencias entre todos los tratamientos respecto al concreto patrón con un 95% de probabilidad, este dato es un valor de entrada que aporta a un futuro investigaciones relacionadas al confort térmico. Debido a que se alcanzó a tener una similar conductividad térmica en el tratamiento 4 que concreto con incorporación de 12 % de PET logrando una conductividad térmica de 0.63 W/m<sup>0</sup>K que es una conductividad térmica similar a la del ladrillo refractario que tiene una conductividad térmica de 0.47 W/m<sup>0</sup>K como se muestra en la tabla 2. Pudiendo lograr obtener un concreto que sea un buen aislante térmico pudiendo ser de gran utilidad en nuestra región debido a que según Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI 2018) la temperatura promedio en la región Puno es de 18.2 °C, lo que nos lleva a buscar viviendas con un mejor confort térmico.

## **5.2. Recomendaciones**

La recomendación, es poder proseguir con esta investigación, realizando todas las pruebas experimentales con la mezcla diseñada con PET, dando un aditivo plastificante para mejorar su trabajabilidad sin modificar su relación a/c provocando la reducción de su resistencia en cada mezcla.

Al diseño de mezcla con el 3%, 6%, 9% y 12% de incorporación de PET reciclado, beneficiando al peso del material y su precio de la mezcla, reduciendo al agregado fino y grueso. La resistencia disminuye secuencialmente conforme a la incorporación del PET, pero siendo aceptable para elementos de concreto según la solicitud, ya sean concretos ciclópeos y sobrecimiento.

Haciendo las mezclas con PET reciclado da características competentes para el uso en el concreto no estructural y tener como una de sus ventajas la mitigación para la ayuda al ambiente, producidas por el no reciclaje y que las constructoras utilizarían.

Ya conocido esta investigación, en las futuras investigaciones ver la cantidad de cemento, agua y aditivos para que ayude a su mejora en la trabajabilidad y su resistencia, aprovechando como un beneficio.

Recomendando hacer ensayos con la incorporación del PET reciclado en el concreto para poder ver el porcentaje más exacto que debe incorporarse.

Ver tecnologías nuevas que reemplacen al agregado para las mezclas de concreto y que de una fabricación de nuevos materiales. Creación de plantas que procesen al triturado del PET reciclado en Puno y también una planta que fabrique estos nuevos materiales que es el concreto con incorporación de PET.

Se recomienda emplear este tipo de materiales dentro del concreto para realizar unidades de albañilería, que es un aislante térmico debido a mayor incorporación de PET menor conductividad térmica que conlleva a mayor confort térmico.

## Referencias

- Abanto Castillo, F. (2013). *Tecnología del concreto*. Lima: San Marcos E.I.R.L.
- alesmar, I., Réndon, n., & Korody, M. (febrero de 2008). CEMENTO, DISEÑOS DE MEZCLA DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) – CEMENTO. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.*, 10. Obtenido de [revistadelaacademiadeingenieria.com/index.php/ingenieria/article/download/444/444](http://revistadelaacademiadeingenieria.com/index.php/ingenieria/article/download/444/444)
- American Concrete Institute. (2015). *Guía del contratista para la construcción en concreto de calidad*. Lima: American Concrete Institute.
- Fernández cánovas, M. (2013). *Hormigón* (10a Edición ed.). España: IBERGARCETA PUBLICACIONES, S.L.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. Del P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6a ed.). México D.F.: MCGRAW-HILL.
- leonid. (02 de Enero de 2019). *123RF*. Obtenido de 123RF: [https://es.123rf.com/photo\\_12416415\\_tereftalato-de-poli%C3%A9ster-pet-la-f%C3%B3rmula-estructural.html](https://es.123rf.com/photo_12416415_tereftalato-de-poli%C3%A9ster-pet-la-f%C3%B3rmula-estructural.html)
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2009). *INFORME ANUAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL PERÚ, GESTIÓN 2008*. LIMA: Innovation S.A.C. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/informe-anual-residuos-solidos-municipales-peru-gestion-2008>
- Molina Restrepo, S. A., VIZCAINO CAGÜEÑO , A. M., & RAMÍREZ SANTAMARÍA , F. D. (2007). *ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO - MECÁNICAS*. Bogotá: UNIVERSIDAD DE LA SALLE FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL BOGOTÁ D. C. Obtenido de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15143/40002085.pdf;jsessionid=C0BC486579929ABAB1FA9C23260483FA?sequence=2>
- Morales, R. (2016). *Estudio comportamiento del concreto incorporando PET reciclado* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- Nevilla, A. (2013). *Tecnología del concreto*. Mexico: M. en A. Soledad Moliné Venanzi .
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Temas de tecnología del concreto en el Perú* (Segunda Edición ed.). Lima: Colegio de Ingenieros del Perú. Obtenido de



<https://es.scribd.com/doc/145311372/TOPICOS-DE-TECNOLOGIA-DE-CONCRETO-EN-EL-PERU-pdf>

- Pasquel Carbajal, E. (1999). *Temas de la tecnología del concreto*. Lima: Colegio de ingenieros del Perú.
- Parizaca, R. (2015). Comportamiento de la trabajabilidad y la resistencia a compresión de un concreto de alta resistencia inicial por adición de polímeros súperabsorbentes en la ciudad de Puno (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- Rivva Lopez, E. (1992). *Diseño de mezclas*. Lima: HOZLO S.CR.L. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/312204742/Diseno-de-Mezclas-Enrique-Rivva-Lopez-pdf>
- Rivva López, E. (2004). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima: Instituto de la construcción y gerencia.
- Rosas, J. J. (26 de Septiembre de 2011). *Micropilotes y recalces*. Obtenido de Micropilotes y recalces: <https://micropilotes.wordpress.com/2011/09/26/los-pilotes-tipo-cpi-8-iii/>
- Sutlz, Ronald. 2004. *Appropriate Building Materials*. St. Gallen, CH. Ed. SKAT Publications.
- Ruiz, a. (04 de Diciembre de 2014). La COP20 inundará la ciudad de botellas de plástico. *El Comercio*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/economia/peru/cop20-inundara-ciudad-botellas-plastico-181395>
- Supo, J. (16 de marzo de 2012). Prueba de hipótesis: metodología de la investigación científica [Archivo de Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=R-8V3UZj6G4&t=26s>
- WordPress. (29 de mayo de 2017). *Botellas de PET*. Obtenido de Botellas de PET: <https://botespet.wordpress.com/2017/05/29/las-ventajas-y-desventajas-de-las-botellas-pet/>

## **Anexos**

### **Anexo A. Propiedades de los componentes del concreto.**



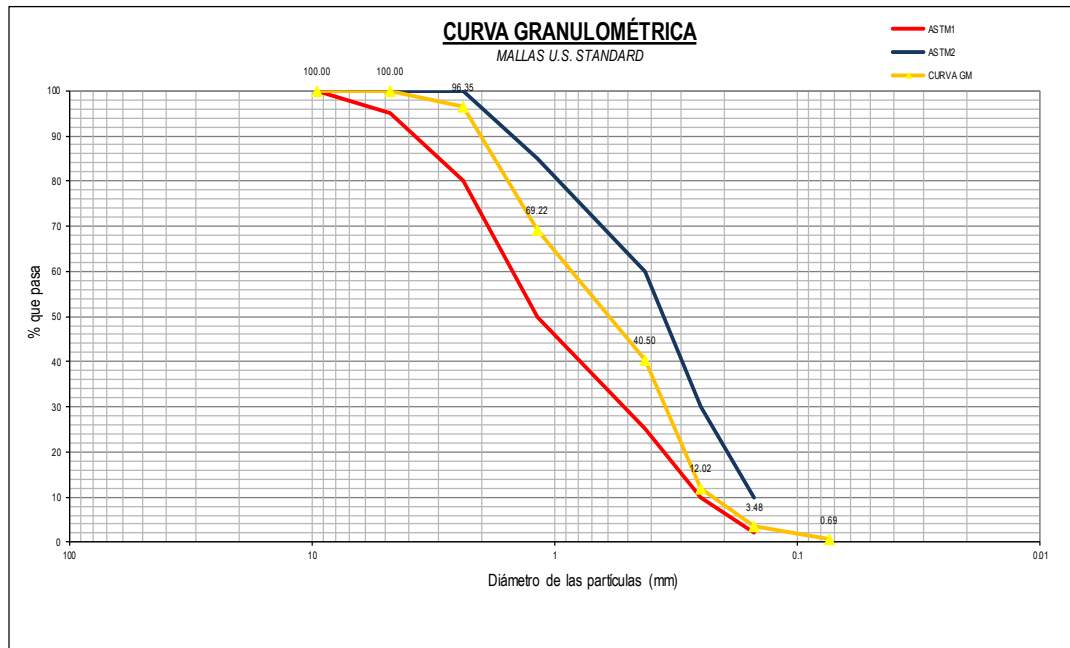
**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y**  
**MATERIALES**



<b>TESIS:</b>	Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno		
<b>RESPONSABLES:</b>	Bach. Yhulio Anderson Mendoza Ccate & Bach. Neder Zanabria Sanchez		
<b>ASESOR:</b>	Ing. Ruben Fitzgerald Sosa Aquisé		
<b>MUESTRA:</b>	Agregado fino	<b>ENCARGADO</b>	Ing. Yesenia Apasa Pinto
<b>UBICACIÓN:</b>	Juliaca	<b>FECHA:</b>	Octubre-2018

<b>ENSAYO</b>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> <i>NTP 400.012, ASTM C 136</i>
---------------	--

AGREGADO FINO							
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	OBSERVACIONES	tamaño máximo: descripción de la muestra
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		PS 900 gr
Nº4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00		PL 892 gr
Nº8	2.380	32.52	3.65	3.65	96.35		PP 8 gr
Nº16	1.180	242.08	27.14	30.78	69.22		tamaño máximo:
Nº30	0.425	256.13	28.71	59.50	40.50		Nº4
Nº50	0.250	254.06	28.48	87.98	12.02		tamaño máximo nominal:
Nº100	0.150	76.13	8.53	96.52	3.48		Nº8
Nº200	0.074	24.90	2.79	99.31	0.69		modulo de finura:
<b>BASE</b>		6.18	0.69	100.00	0.00		2.8
<b>TOTAL</b>		892.00	100.00				





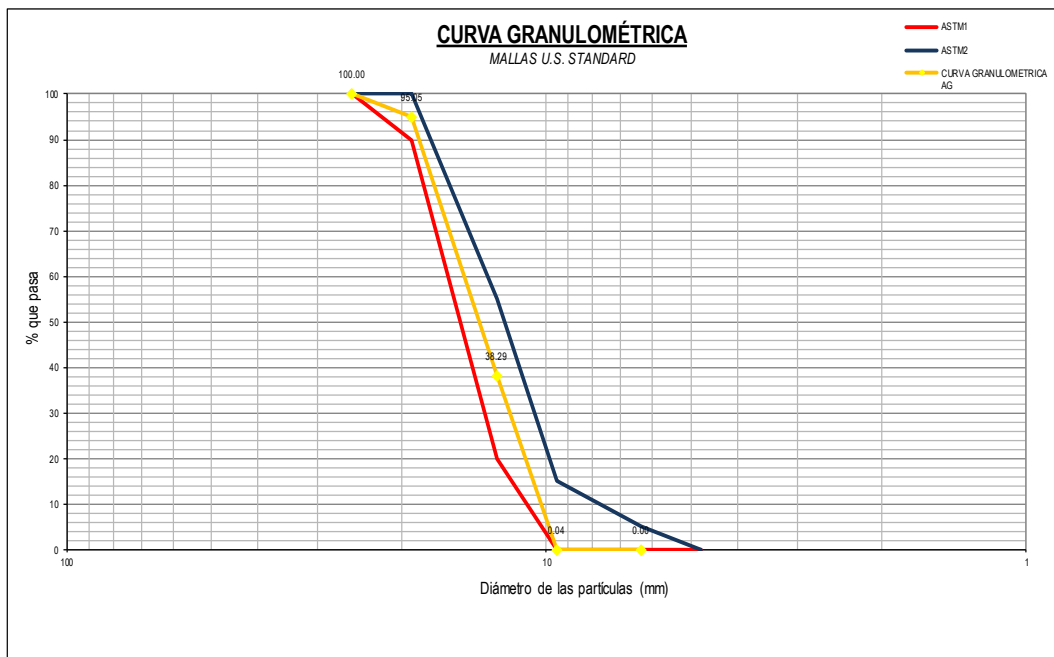
**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y**  
**MATERIALES**



<b>TESIS:</b>	Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno		
<b>RESPONSABLES:</b>	Bach. Yhulio Anderson Mendoza Ccate & Bach. Neder Zanabria Sanchez		
<b>ASESOR:</b>	Ing. Ruben Fitzgerald Sosa Aquisé		
<b>MUESTRA:</b>	Agregado grueso	<b>ENCARGADO</b>	Ing. Yesenia Apasa Pinto
<b>UBICACIÓN:</b>	Juliaca	<b>FECHA:</b>	Octubre-2018

<b>ENSAYO</b>	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> <i>NTP 400.012, ASTM C 136</i>
---------------	--

AGREGADO GRUESO							
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (kg)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	OBSERVACIONES	tamaño máximo: descripción de la muestra
3"	76.200	0.000	0.00	0.00	100.00		PS 5.6 kg
2 1/2"	63.500	0.000	0.00	0.00	100.00		PL 5.6 kg
2"	50.800	0.000	0.00	0.00	100.00		PP 0.00 kg
1 1/2"	38.100	0.000	0.00	0.00	100.00		tamaño máximo:
1"	25.400	0.000	0.00	0.00	100.00		1"
3/4"	19.050	0.277	4.95	4.95	95.05		tamaño máximo nominal:
1/2"	12.700	3.179	56.77	61.71	38.29		3/4"
3/8"	9.525	2.142	38.25	99.96	0.04		modulo de finura:
1/4"	6.350	0.000	0.00	0.00	0.00		6.05
Nº 4	4.760	0.000	0.00	0.00	0.00		Huso
<b>BASE</b>		0.002	0.04	100.00	0.00		6
<b>TOTAL</b>		5.600	100.00				





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y**  
**MATERIALES**





<b>TESIS:</b>	Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno		
<b>RESPONSABLES:</b>	Bach. Yhulio Anderson Mendoza Ccate & Bach. Neder Zanabria Sanchez		
<b>ASESOR:</b>	Ing. Ruben Fitzgerald Sosa Aquisé		
<b>MUESTRA:</b>	Agregados fino y grueso	<b>ENCARGADO</b>	Ing. Yesenia Apasa Pinto
<b>UBICACIÓN:</b>	Julíaca	<b>FECHA:</b>	Octubre-2018

<b>ENSAYO</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b> <i>NTP 339.185, ASTM C 556</i>
---------------	---

<b>AGREGADO FINO</b>			
N° DE ENSAYO	1	2	3
N° de tara	T-01	T-02	T-03
Peso de tara (gr)	272	276	292
Peso de tara + Muestra húmeda (gr)	772	776	792
Peso de tara+ Muestra seca (gr)	742	748	766
Peso de Muestra húmeda (gr)	500	500	500
Peso de agua (gr)	30	28	26
Peso de Muestra seca (gr)	470	472	474
Contenido de humedad (%)	6.383	5.932	5.485
Contenido de humedad promedio (%)	5.93		

<b>AGREGADO GRUESO</b>			
N° DE ENSAYO	1	2	3
N° de tara	T-01	T-02	T-03
Peso de tara (gr)	272	276	292
Peso de tara + Muestra húmeda (gr)	772	776	792
Peso de tara+ Muestra seca (gr)	769	771	786
Peso de Muestra húmeda (gr)	500	500	500
Peso de agua (gr)	3	5	6
Peso de Muestra seca (gr)	497	495	494
Contenido de humedad (%)	0.604	1.010	1.215
Contenido de humedad promedio (%)	0.94		

	<b>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>E.P. INGENIERIA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y MATERIALES</b>	
---	--	---

<b>TESIS:</b>	Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno		
<b>RESPONSABLE:</b>	Bach. Yhulio Anderson Mendoza Ccate & Bach. Neder Zanabria Sanchez		
<b>ASESOR:</b>	Ing. Ruben Fitzgerald Sosa Aquise		
<b>MUESTRA:</b>	Agregado - cantera Isla	<b>ENCARGADO:</b>	Ing. Yesenia Apasa Pinto
<b>UBICACIÓN:</b>	Juliaca	<b>FECHA:</b>	Octubre-2018

<b>ENSAYO</b>	<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN</b> <i>NTP 400.021, ASTM C 127 - NTP 400.022, ASTM C 128</i>
---------------	--

PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO			
N° de ensayo	1	2	3
Peso de muestra SSS (gr)	500	500	500
Peso de Fiola (gr)	163.38	163.38	163.38
Peso de Muestra SSS + Peso de Fiola + Peso de Agua (gr)	964	963	964
Peso de Agua (gr)	300.62	299.62	300.62
Volumen del Agua (cm <sup>3</sup> )	300.62	299.62	300.62
Peso de Muestra Seca (gr)	484	483	485
Volumen de la Fiola (cm <sup>3</sup> )	500	500	500
P. E. Masa	2.43	2.41	2.43
P. E. Masa Promedio	2.42		
P.E. Masa SSS	2.51	2.50	2.51
P. E. Masa SSS Promedio	2.50		
P. E. Aparente	2.64	2.63	2.63
P. E. Aparente promedio	2.63		
Absorción (%)	3.31	3.52	3.09
Absorción Promedio (%)	3.31		

RESULTADOS	
Peso específico de la masa	2.42 gr/cm <sup>3</sup>
peso específico sss	2.50 gr/cm <sup>3</sup>
peso específico aparente	2.63 gr/cm <sup>3</sup>
absorción	3.31%

RESULTADOS	
Peso específico de la masa	2423,495 kg/m <sup>3</sup>
peso específico sss	2503,602 kg/m <sup>3</sup>
peso específico aparente	2634,547 kg/m <sup>3</sup>
absorción	3,31%

PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO			
N° de ensayo	1	2	3
Peso de muestra Seca (gr)	6236	6230	6234
Peso de Muestra SSS (gr)	6324	6322	6324
Peso de la Canastilla en el agua (gr)	5072	5072	5072
Peso de Muestra Saturada en Agua + Peso de Canastilla (gr)	8908	8898	8908
Peso de Muestra Saturado en Agua	3836	3826	3836
P. E. Masa	2.51	2.50	2.51
P. E. Masa Promedio	2.50		
P.E. Masa SSS	2.542	2.533	2.542
P. E. Masa SSS Promedio	2.54		
P. E. Aparente	2.6	2.6	2.6
P. E. Aparente promedio	2.60		
Absorción %	1.41	1.48	1.44
Absorción Promedio %	1.44		

RESULTADOS	
Peso específico de la masa	2.50 gr/cm <sup>3</sup>
peso específico sss	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
peso específico aparente	2.60 gr/cm <sup>3</sup>
absorción	1.44%

RESULTADOS	
Peso específico de la masa	2502,684 kg/m <sup>3</sup>
peso específico sss	2538,818 kg/m <sup>3</sup>
peso específico aparente	2596,505 kg/m <sup>3</sup>
absorción	1,44%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
 E.P. INGENIERIA CIVIL  
**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y**  
**MATERIALES**





<b>TESIS:</b>	Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno		
<b>RESPONSABLES:</b>	Bach. Yhulio Anderson Mendoza Ccate & Bach. Neder Zanabria Sanchez		
<b>ASESOR:</b>	Ing. Ruben Fitzgerald Sosa Aquisé		
<b>MUESTRA:</b>	Agregado fino	<b>ENCARGADO</b>	Ing. Yesenia Apasa Pinto
<b>UBICACIÓN:</b>	Juliaca	<b>FECHA:</b>	Octubre-2018

<b>ENSAYO</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO</b> <i>NTP 400.017, ASTM C 29</i>
---------------	---

<b>AGREGADO FINO SUELTO</b>			
Número de ensayo	1	2	3
Volumen de molde (cm <sup>3</sup> )	5243.33	5243.33	5243.33
Peso de molde (kg)	3.876	3.876	3.876
Peso de molde + agregado (kg)	13.122	13.122	13.122
Peso del agregado (kg)	9.246	9.246	9.246
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1763.383	1763.3832	1763.383
Peso unitario suelto promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1763.383		

<b>AGREGADO FINO COMPACTADO</b>			
Número de ensayo	1	2	3
Volumen de molde (cm <sup>3</sup> )	5243.33	5243.33	5243.33
Peso de molde (kg)	3.876	3.876	3.876
Peso de molde + agregado (kg)	13.356	13.356	13.356
Peso del agregado (kg)	9.48	9.48	9.48
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1808.011	1808.0113	1808.011
Peso unitario compactado promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1808.011		

	<b>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>E.P. INGENIERIA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE CONCRETO DE</b> <b>MATERIALES</b>	
---	--	---

<b>TESIS:</b>	Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno		
<b>RESPONSABLES:</b>	Bach. Yhulio Anderson Mendoza Ccate & Bach. Neder Zanabria Sanchez		
<b>ASESOR:</b>	Ing. Ruben Fitzgerald Sosa Aquisé		
<b>MUESTRA:</b>	Agregado grueso	<b>ENCARGADO</b>	Ing. Yesenia Apaza Pinto
<b>UBICACIÓN:</b>	Juliaca	<b>FECHA:</b>	Octubre-2018

<b>ENSAYO</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO</b> <i>NTP 400.017, ASTM C 29</i>
---------------	---

<b>AGREGADO GRUESO SUELTO</b>			
Número de ensayo	1	2	3
Volumen de molde (cm <sup>3</sup> )	5243.33	5243.33	5243.33
Peso de molde (kg)	3.876	3.876	3.876
Peso de molde + agregado (kg)	12.246	12.246	12.246
Peso del agregado (kg)	8.37	8.37	8.37
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1596.314	1596.3138	1596.314
Peso unitario suelto promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1596.314		

<b>AGREGADO GRUESO COMPACTADO</b>			
Número de ensayo	1	2	3
Volumen de molde (cm <sup>3</sup> )	5243.33	5243.33	5243.33
Peso de molde (kg)	3.876	3.876	3.876
Peso de molde + agregado (kg)	12.424	12.424	12.424
Peso del agregado (kg)	8.548	8.548	8.548
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1630.262	1630.2617	1630.262
Peso unitario compactado promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1630.262		





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**E.P. INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y**  
**MATERIALES**



<b>TESIS:</b>	Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno		
<b>RESPONSABLES:</b>	Bach. Yhulio Anderson Mendoza Ccate & Bach. Neder Zanabria Sanchez		
<b>ASESOR:</b>	Ing. Ruben Fitzgerald Sosa Aquise		
<b>MUESTRA:</b>	Agregados cantera isla	<b>ENCARGADO</b>	Ing. Yesenia Apaza Pinto
<b>UBICACIÓN:</b>	Juliaca	<b>FECHA:</b>	Octubre-2018

<b>ENSAYO</b>	<b>PASANTE TAMIZ N°200</b> <i>NTP 400.018, ASTM C 117</i>
---------------	--

<b>AGREGADO FINO</b>			
Numero de Recipiente	T-1	T-2	T-3
Peso de Recipiente (gr)	273.00	273.00	273.00
Peso de recipiente + muestra seca natural (gr)	1273.00	1273.00	1273.00
Peso de recipiente + muestra lavado seco (gr)	1248.00	1250.00	1246.00
Peso muestra seca natural (gr)	1000.00	1000.00	1000.00
Peso muestra seca lavada (gr)	975.00	977.00	973.00
Material pasante del Tamiz N°200 (%)	2.50	2.30	2.70
Promedio de material pasante Tamiz N°200 (%)	2.50		

<b>AGREGADO GRUESO</b>			
Numero de Recipiente	T-1	T-2	T-3
Peso de Recipiente (gr)	273.00	273.00	273.00
Peso de recipiente + muestra seca natural (gr)	2773.00	2773.00	2773.00
Peso de recipiente + muestra lavado seco (gr)	2770.00	2769.00	2770.00
Peso muestra seca natural (gr)	2500.00	2500.00	2500.00
Peso muestra seca lavada (gr)	2497.00	2496.00	2497.00
Material pasante del Tamiz N°200 (%)	0.12	0.16	0.12
Promedio de material pasante Tamiz N°200 (%)	0.13		

**Anexo B. Ficha técnica del cemento.**



## CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO RUMI IP – ALTA RESISTENCIA

### DESCRIPCIÓN

El Cemento Portland Puzolánico Rumi IP, ALTA RESISTENCIA, es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el Cemento Portland Puzolánico Rumi IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA RESISTENCIA, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

### LA DURABILIDAD

“Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil”.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS QUÍMICOS	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO RUMI TIPO IP	Requisitos Norma NTP 334.090 ASTM C-595
MgO (%)	1.99	6.00 Máx.
SO <sub>3</sub> (%)	1.75	4.00 Máx.
Pérdida por ignición (%)	2.14	5.00 Máx.

REQUISITOS FÍSICOS	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO RUMI TIPO IP		Norma NTP 334.090 ASTM C-595		Comparativo con Norma Tipo I y Tipo V Requisitos Norma Técnica NTP 334.009 / ASTM C 150	
	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	Cemento Tipo I Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.85		-		-	-
Expansión en autoclave (%)	0		0.80 Máx.		-	-
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170		45 Mín.		-	-
Fraguado Vicat final (minutos)	270		420 Máx.		-	-
Resistencia a la compresión						
1 días	104	10	-	-	-	-
3 días	199	20	133 Mín.	13	122	12
7 días	247	24	204 Mín.	20	194	19
28 días	342	34	255 Mín.	25	-	-
60 días	397	39	-	-	-	-
Resistencia a los sulfatos	Cemento IP				Cemento Tipo V	
% Expansión a los 14 días	0.018				0.04 Máx.	

VERSIÓN NOVIEMBRE 2014

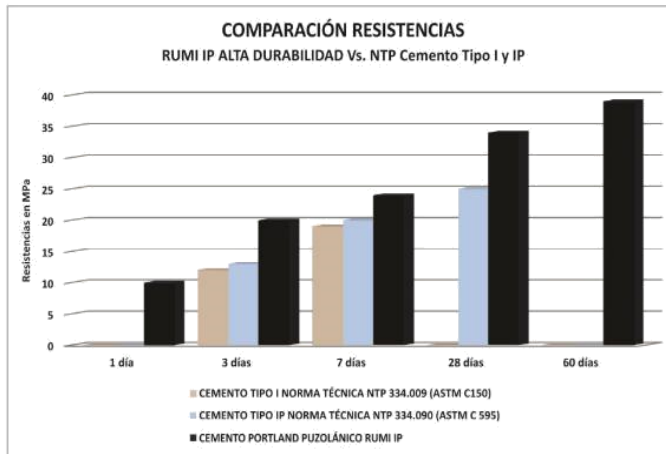
PLANTA: Carretera Juliaca - Puno Km 11 - Caracoto  
OFICINA COMERCIAL: Av. General Diez Canseco N° 527 - Arequipa  
TELÉFONO: (054) 495060 - 225000 - FAX: (054) 220650  
www.grupogloria.com.pe



# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO RUMI IP – ALTA DURABILIDAD

COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA DE NORMAS TÉCNICAS

TIPO IP – ALTA RESISTENCIA



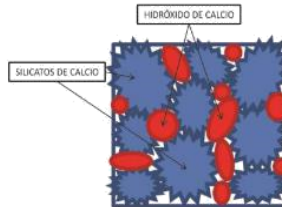
PROPIEDADES

**1 MAYOR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:**

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolana, hacen que el cemento Rumi IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

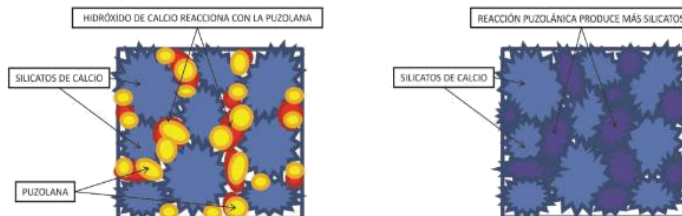
Los aluminosilicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

**CON CEMENTO TIPO I**



El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

**CON CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO RUMI IP**



La puzolana que contiene el cemento RUMI IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.

VERSIÓN NOVIEMBRE 2014

PLANTA: Carretera Juliaca - Puno Km 11 - Caracoto  
 OFICINA COMERCIAL: Av. General Diez Canseco N° 527 - Arequipa  
 TELÉFONO: (054) 495060 - 225000 - FAX: (054) 220650  
 www.grupogloria.com.pe



# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO RUMI IP – ALTA DURABILIDAD

PROPIEDADES

**5 MENOR CALOR DE HIDRATACION:**

**2 RESISTENCIA A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS:** El hidróxido de calcio liberado en la hidratación del cemento, con el aluminato tricálcico (C3A) presente en el cemento, genera gran calor de hidratación. La puzolana al reaccionar con el hidróxido de calcio inhibe esta reacción, generando menor calor de hidratación, reduciendo las tensiones y sulfato de las concreciones que afectan la calidad del concreto, principalmente en obras de gran volumen restringida que es el compuesto causante de la fisuración del concreto. Debido a la menor generación de calor de hidratación, el cemento Rumi IP cumple con el requisito de menor calor de hidratación, el cemento Rumi IP puede utilizarse al igual que el cemento Portland tipo V que químicamente es agresivo. Resultados de laboratorio demuestran que el cemento Portland Tipo IP, tiene mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Tipo V.

Menor consumo energético.

Resistencia a los sulfatos	Resultado Cemento RUMI IP	Resultado Cemento Tipo V	Requisitos de Norma NTP 334.009 Tipo V
Máximo 10% de expansión a los 14 días	0.025	0.025	0.040 Max.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.   
 \* La expansión del cemento Rumi IP al contacto con la piel, es mucho menor al exigido en la norma.   
 Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:

**3 MAYOR IMPERMEABILIDAD:**

El cemento portland puzolánico Rumi IP, produce menor cantidad de hidróxido de calcio, debido a la reacción de los aluminosilicatos de la puzolana con el hidróxido de calcio, disminuyendo la porosidad del concreto, reduciendo así el coeficiente de absorción de agua y la estructura metálica de la corrosión.



Guantes Impermeables, Protección Ocular, Botas Impermeables, Protección Respiratoria

**4 INHIBE LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO:**

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda almacenarlo en bolsas de 42.5 kg o en bombonas de 1.5 TM, protegiéndolo contra la humedad o corriente de aire húmedo. La puzolana de Rumi IP remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados, evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali-agregado, ante la presencia de agregados alcali reactivos. El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados alcali reactivos. El cemento Rumi IP cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.   
 - Bolsas 42.5 Kg Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.   
 - Big Bag 1.5 TM Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.   
 - Big Bag 1.5 TM Para proyectos menores y de gran construcción, siguiendo la utilización de equipos de carga.   
 - Granel Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

BENEFICIOS AMBIENTALES

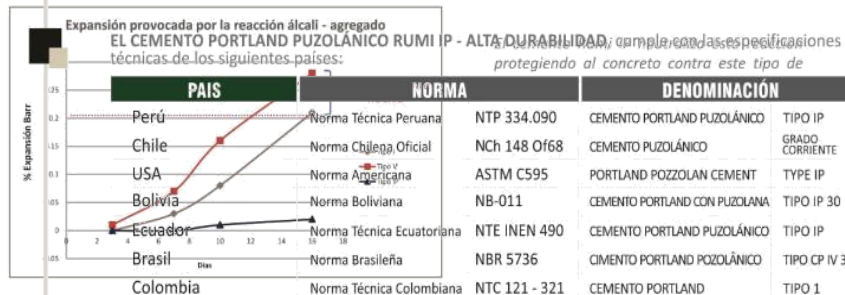
RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

ALMACENAMIENTO

PRESENTACIONES DISPONIBLES

NORMAS TÉCNICAS

DURACIÓN



Días	% Expansión Barr
3 días	0
7 días	0.03
10 días	0.08
14 días	0.21*

\* Los cementos tipo I y V presentan un porcentaje de expansión de 0.20 a los 14 días lo cual se les considera dentro de la norma.

\*\* Bajo riesgo de expansión en condiciones de campo.

VERSIÓN NOVIEMBRE 2014

## **Anexo C. Diseño de mezcla.**

➤ **Diseño de mezcla de concreto patrón**

Se diseñó el concreto según el método del comité 211 del ACI.

Especificaciones para el diseño

- Resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>
- Slump 3"
- TMN (tamaño máximo nominal) de ¾"

Materiales

- Cemento
- Agua
- Agregados

Tabla 1  
Características de los agregados

<b>CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Agreg. Fino</b>	<b>Agreg. Grueso</b>
perfil del agregado	-	angular
Peso Específico de masa seca (Kg/m <sup>3</sup> )	2423.495 kg/m <sup>3</sup>	2502.684 kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1808.011 kg/m <sup>3</sup>	1630.262 kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1763.383 kg/m <sup>3</sup>	1596.314 kg/m <sup>3</sup>
Tamaño Máximo (pulg)	N°4	1"
Tamaño Máximo Nominal (Pulg)	N°8	¾"
Módulo de Fineza	2.8	6.05
Absorción (%)	3.31 %	1.44 %
Contenido de Humedad (%)	5.93 %	0.94 %

Nota: fuente propia

Tabla 2  
Diseño de mezcla

<b>DATOS DE DISEÑO</b>		
tipo de cemento	Rumi	IP
Resistencia a la compresión de Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	210	kg/cm <sup>2</sup>
Peso Específico del Cemento ( Kg/m <sup>3</sup> )	2850	kg/m <sup>3</sup>
Colocar aire incorporado[s/aire (N) o c/aire (S)] :	S	
Slump (pulg)	3 a 4	pulg
peso específico del agua (kg/m <sup>3</sup> )	1000	kg/m <sup>3</sup>
Agua Potable,	Potable	
Consistencia	plástica	

Nota: fuente propia

## 1. Determinación de resistencia promedio

De acuerdo con la tabla 3 y nuestro diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup> nos dan un aumento de 85 a la resistencia en lo que crea la sumatoria a ejecutar es de 294 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 3  
Calculo de f'cr

F'cr específico	F'cr (Kg/cm <sup>2</sup> )
210 a 350	F'c + 84

Nota: Enrique Pasquel Carbajal, 1993 pagina 164, libro: tópicos de tecnología del concreto en el Perú Empleando formula:

$$f'cr = 210 \frac{kg}{cm^2} + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

### 3.6.5. Contenido de agua

De acuerdo a la tabla el volumen de agua con concreto sin aire atrapado es de 205 lt/m<sup>3</sup>, por que el asentamiento nos dio un resultado de 3/4", en una trabajabilidad de 3" a 4".

Tabla 10

Volumen unitario d agua.

	Agua en l/m <sup>3</sup> para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicada							
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	153	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	143	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-----

### 3. Calculo del Contenido de aire atrapado

Según su tamaño máximo nominal del agregado grueso que es de 3/4" el aire a tratar se de 2.0 % según la tabla.

Tabla  
Contenido de aire atrapado



Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Aire atrapado
3/8"	3.0 %
1/2"	2.5 %
3/4"	2.0 %
1"	1.5 %
1 1/2"	1.0 %
2"	0.5 %
3"	0.3 %

#### 4. Relación agua/cemento

Al darnos nuestro cálculo de  $f'_{cr}$  de 294 kg/m<sup>2</sup> en la tabla nos da una relación a/c, al no hallarse se interpolo y hallo 0.56.

Tabla 6

Relación agua/cemento por resistencia

F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento en peso
	Concreto sin aire incorporado
150	0.80
200	0.70
250	0.62
294	0.56
300	0.55
350	0.48
400	0.43
450	0.38

#### 5. Contenido de cemento

Ya obteniendo agua y relación a/c se determinó que la cantidad de cemento es de 366.071 que es igual a 8.6134 bolsas, y se halló de la siguiente formula.

$$\frac{205}{0.56} = 366.071$$

#### 6. Peso del agregado grueso

Lo obtenido de los datos anteriores y la tabla nos da una respuesta del peso del agregado grueso de 1010.76 kg.

Teniendo en cuenta la formula siguiente:

Interpolando:  $b/b_o = 0.62$  m<sup>3</sup>

Para luego hallar el peso agregado grueso:

$$1010.76 = 0.62 * 1630.262.$$

Tabla 7

Volumen del agregado grueso

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino (b/bo)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

## 7. Volumen absoluto

Seda a cada uno un volumen en m<sup>3</sup> el cual se muestra:

$$0.128 \text{ (m}^3\text{)} = \frac{366.071 \text{ kg}}{2850 \text{ kg/m}^3}$$

$$0.205 \text{ (m}^3\text{)} = \frac{205 \text{ (kg)}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$0.02 = \frac{2(\%)}{100}$$

$$0.4 \text{ (m}^3\text{)} = \frac{1027.065 \text{ (kg)}}{2502.684 \text{ (kg/m}^3\text{)}}$$

$$0.247 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 - 0.753 \text{ m}^3$$

### 3.6.10. Calculo del peso agregado fino

El cual el peso del agregado fino nos da 572.353 kg, hallado con la siguiente formula:

$$598.60 \text{ kg} = 0.247 \text{ m}^3 * 2423.495 \text{ kg/m}^3$$

### 3.6.11. Presentación de diseño en seco kg por un metro cubico

Tabla 8

Presentación del diseño en seco

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	366.07	kg
Agregado fino	598.60	Kg
Agregado grueso	1010.76	Kg
Agua	205	Lt

Nota: fuente propia

### 8. Corrección por humedad de los agregados

Corrigiendo al agregado fino se obtuvo 572.353 kg, y para el agregado grueso es de 1027.065, se obtuvo con la siguiente formula:

$$A. F. = 634.097 = 598.60 * \left(\frac{5.93}{100} + 1\right)$$

$$A. G. = 1020.261 = 1010.76 * \left(\frac{0.94}{100} + 1\right)$$

### 9. Aporte del agua a la muestra por agregado

El agua en el agregado fino fue de -18.922 lt y en el agregado grueso es de -8.646 lt, y dando lugar al agua total del agregado de -27.186, hallando con la siguiente representación:

$$\frac{(5.93 - 3.31) * 598.60}{100} = -15.68 \text{ Lt}$$

$$\frac{(0.94 - 1.44) * 1027.065}{100} = -5.05 \text{ Lt}$$

### 10. Agua efectiva

Nos dio 205.754 lt al ejercer la siguiente formula:

$$194.37 \text{ lt} = 205 - (15.68 - 5.05)$$

### 11. Proporción corregidas de la mezcla

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua
366.07 kg	634.097 kg	1020.261 kg	194.37 lt

➤ **Diseño de concreto experimental**

**Cálculo del 3% de incorporación de PET, con respecto al peso de los agregados.**

3% PET → 

AG=	1020.261-
-----	-----------

3% PET → 

AF=634.097-19.02291=615.07
----------------------------

Cálculo de cantidad de PET

3% PET → 

PET
-----

**Datos de proporción del diseño por metro cubico con 3% de PET**

Descripción	3% PET
Cemento (kg)	366.070
Agua (lt)	194.370
Agregado grueso húmedo (kg)	989.653
Agregado fino húmedo (kg)	615.07
PET (kg)	49.631

Nota: Fuente propia.

**Calculo del 6% de incorporación de PET, con respecto al peso de los agregados.**

6% PET → 

AG=	1020.261-
-----	-----------

6% PET → 

AF=634.097-
-------------

Calculo de cantidad de PET

6% PET → 

PET
-----

**Datos de proporción del diseño por metro cubico con 6% de PET**

Descripción	3% PET
Cemento (kg)	366.070
Agua (lt)	194.370
Agregado grueso húmedo (kg)	959.045
Agregado fino húmedo (kg)	596.051
PET (kg)	99.261

Nota: Fuente propia.

**Calculo del 9% de incorporación de PET, con respecto al peso de los agregados.**

9% PET → 

AG=	1020.261-
-----	-----------

9% PET → 

AF=634.097-
-------------

Calculo de cantidad de PET

9% PET → 

PET
-----

**Datos de proporción del diseño por metro cubico con 9% de PET**

Descripción	9% PET
Cemento (kg)	366.070
Agua (lt)	194.370
Agregado grueso húmedo (kg)	928.438
Agregado fino húmedo (kg)	577.028
PET (kg)	148.892

Nota: Fuente propia.

**Calculo del 12% de incorporación de PET, con respecto al peso de los agregados.**

12% PET →  $AG = 1020.261 -$

12% PET →  $AF = 634.097 -$

Calculo de cantidad de PET

12% PET →  $PET$

**Datos de proporción del diseño por metro cubico con 12% de PET**

Descripción	12% PET
Cemento (kg)	366.070
Agua (lt)	194.370
Agregado grueso húmedo (kg)	897.830
Agregado fino húmedo (kg)	558.005
PET (kg)	198.523

Nota: Fuente propia.

**1 3% de incorporación de PET, con respecto al peso de los agregados.**

3% PET

3% PET →  $AF = 634.097 - 19.02291 = 615.07$

Calculo de cantidad de PET

3% PET →  $PET$

### Datos de proporción del diseño por metro cubico con 3% de PET

Descripción	3% PET
Cemento (kg)	366.070
Agua (lt)	194.370
Agregado grueso húmedo (kg)	989.653
Agregado fino húmedo (kg)	615.07
PET (kg)	49.631

**Nota:** Fuente propia.

**Calculo del 6% de incorporación de PET, con respecto al peso de los agregados.**

6% PET →  $AG = 1020.261 - 61.21566 = 959.045$

6% PET →  $AF = 634.097 - 38.04582 = 596.051$

Calculo de cantidad de PET

6% PET → PET

### Datos de proporción del diseño por metro cubico con 6% de PET

Descripción	3% PET
Cemento (kg)	366.070
Agua (lt)	194.370
Agregado grueso húmedo (kg)	959.045
Agregado fino húmedo (kg)	596.051
PET (kg)	99.261

**Nota:** Fuente propia.

**Calculo del 9% de incorporación de PET, con respecto al peso de los agregados.**

9% PET →  $AG = 1020.261 - 91.82349 = 928.438$

9% PET →  $AF = 634.097 - 57.06873 = 577.028$

Calculo de cantidad de PET

9% PET → PET

### Datos de proporción del diseño por metro cubico con 9% de PET

Descripción	9% PET
Cemento (kg)	366.070
Agua (lt)	194.370
Agregado grueso húmedo (kg)	928.438
Agregado fino húmedo (kg)	577.028
PET (kg)	148.892

**Nota:** Fuente propia.

**Calculo del 12% de incorporación de PET, con respecto al peso de los agregados.**

12% PET →  $AG = 1020.261 - 122.43132 = 897.830$

12% PET →  $AF = 634.097 - 76.09164 = 558.005$

Calculo de cantidad de PET

12% PET → PET

### Datos de proporción del diseño por metro cubico con 12% de PET

Descripción	12% PET
Cemento (kg)	366.070
Agua (lt)	194.370
Agregado grueso húmedo (kg)	897.830
Agregado fino húmedo (kg)	558.005
PET (kg)	198.523

**Nota:** Fuente propia.

**Anexo D. Constancias de laboratorio.**





## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

# CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberty Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

### HACE CONSTAR

Que los señores Bachilleres en Ingeniería Civil:

**YHULIO ANDERSON MENDOZA CCATE** Código universitario N° 201321490

**NEDER ZANABRIA SANCHEZ** Código universitario N° 201323299

Han realizado ensayos en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayos de los Materiales para completar su trabajo de tesis denominado: **“Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno”** con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Civil.

Los ensayos efectuados por los tesisistas fueron los siguientes:

- ✓ 02 Ensayos de Contenido de Humedad.
- ✓ 02 Ensayos de Análisis Granulométrico.
- ✓ 02 Ensayos de Peso Unitario.
- ✓ 02 Ensayos de Peso Específico.
- ✓ 01 Ensayo de materiales pasantes tamiz N°200.
- ✓ 45 Ensayos de resistencia a la compresión en cilindros de concreto.

Los trabajos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayos de los Materiales, llevándose a cabo entre el 17 de setiembre del 2018 hasta el 01 de febrero del 2019.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen por conveniente.

Juliaca, Villa Chullunquiari, 11 de marzo del 2019



Ing. Herson Duberty Pari Cusi  
Coordinador E.P. de Ingeniería Civil



Ing. Yesenia Apaza Pinto  
Jefe de Laboratorio



## CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE MSC. CARLOS CARCAUSTO QUISPE, COORDINADOR DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**HACE CONSTAR:**


Que los señores bachilleres en Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión, **YHULIO ANDERSON MENDOZA CCATE Y NEDER ZANABRIA SANCHEZ**, Han realizado ensayos en el laboratorio de Física II, para ejecutar la parte experimental de su trabajo de investigación titulado **“Evaluación del comportamiento mecánico y térmico del concreto con incorporación de tereftalato de polietileno reciclado para la región de Puno”**

Los tesisistas realizaron Ensayos de conductividad Térmica, el 05 de mayo del 2019 en el laboratorio de Física II.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que considere por conveniente:

Puno, 06 de Junio del 2019



  
Msc. Carlos Carcausto Quispe  
Coordinador laboratorio de Física



CENTRO DE INVESTIGACION EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS



RESULTADOS DE ANALISIS  
UPEU – FIA/ING. INDUSTRIAS ALIMENTARIAS 2019

CLIENTES : Yhulio Anderson Mendoza Cate  
Neder Zanabria Sánchez

TIPO DE CLIENTES : Tesistas

LUGAR DE MUESTREO : Agua comercializada (Seda Juliaca)

TIPO DE MUESTRA : Agua tratada

COORDENADAS :8417112 N; 450665 E

F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 24/04/2019

F. INICIO DE ENSAYOS :24/04/2019

MUESTREADO POR : Laboratorio CICAL

Análisis	Unidades	Resultado
Cloruros	ml/l	5.09
Sulfatos	ml/l	6.68
Sales de magnesio	ml/l	7.19
Sales solubles	ml/l	21.9
PH	Unidades de pH	6.84
Sólidos en suspensión	ml/l	0.0
Materia orgánica	-	-

Juliaca, 25 de abril de 2019



Ing. Bety Apaza Morocco  
Jefe de laboratorio CICAL

## **Anexo E. Panel fotográfico**



Extracción de cantera Isla-Juliaca



Descargando el agregado



Después del secado de material



Material secado en la cocina de laboratorio de concreto y materiales



Lavado de material en la UPeU



Pesando material por tamices



Tamices en orden de tamaño



Tamices por tamaño con agregado





Tamices, bandeja, cucharon, brocha y balanza



Peso de briqueta normada



PET reciclado triturado ensacado



Lavado del PET para retirar la escoria que no servira



En la superficie la escoria para quitar



Secado del PET al aire libre



Rellonado en las briquetas de la mezcla



Diseño de mezcla con incorporación de 6% de PET



Diseño de mezcla con incorporación con el 9% de PET



Diseño de mezcla incorporando 12% de PET, con su dosificación



Poniendo la probeta cilíndrica en el equipo de compresión uniaxial



Termómetro infrarrojo



Ensayo de conductividad térmica



Ensayando la muestra por conductividad térmica (transferencia de calor)



Testigos para la ruptura del patrón, 3%, 6%, 9% y 12% de PET



Falla en la ruptura del testigo