

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024

Presentado por:

Reyner Dennis Barazorda Romero

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Abancay, Perú

2024



**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

Comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024

Presentado por **Reyner Dennis Barazorda Romero**, para optar el título de: Ingeniero Civil

Sustentado y aprobado el 11 de setiembre de 2024 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

*Mtro. James Velazque Rojas*

**Primer Miembro:**

*Dr. Calixto Cañari Otero*

**Segundo Miembro:**

*Mtro. Diomedes Napoleón Ferrel Sarmiento*

**Asesor:**

*Dr. Edwar Ilasáca Cahuata*



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 152-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: **Comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024**, presentado por el Bach. **Reyner Dennis BARAZORDA ROMERO**, Para optar el Título de **Ingeniero Civil**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud ACEPTABLE de **(18%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 29 de agosto del 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS  
DE APURIMAC  
**Dr. Lintol Contreras Salas**  
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION  
FACULTAD DE INGENIERIA

C. c.  
Archivo  
REG. N° 590

## **Agradecimiento**

*Al Dr. Edward Illasaca Cahuata, asesor del presente proyecto de investigación, por su apoyo incondicional, por su amistad, por aquellos consejos que siempre fueron de gran valía y todas sus enseñanzas que siempre las llevaré en mi mente.*

*A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por ser mi alma mater durante estos años de mucho sacrificio y felicidad, por hospedarme y ofrecerme un crecimiento profesional.*

*A la Escuela académico Profesional de Ingeniería Civil, a los docentes y demás trabajadores, por haberme permitido estar al lado de ellos, compartir grandes experiencias y sobretodo hacerme crecer en mi formación académica y personal.*

*Reyner Dennis Barazorda Romero*



### **Dedicatoria**

*Con toda mi gratitud y mi cariño se lo dedico a toda mi familia en especial a mis padres Antonio y Cruspira, por todo el amor que siempre me muestran, por el apoyo que me dan día a día, por los valores y enseñanzas que me inspiran en mi vida. A Tatiana y Jharol mis queridos hermanos, que sus consejos fueron de mucha ayuda para superar obstáculos en toda mi etapa universitaria, y a todas las personas que apoyaron para lograr este objetivo en mi vida.*

*A Dios, al siempre altísimo, el que me guía y me ayuda en todos los momentos, dándome fuerza, perseverancia y sobretodo fe.*

*Reyner Dennis Barazorda Romero*



Comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024

Línea de investigación: Ingeniería de materiales.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I</b> .....	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	4
1.1. Descripción del problema .....	4
1.2. Enunciado del Problema .....	6
1.2.1. Problema General .....	6
1.2.2. Problema Específicos .....	6
1.2.3. Justificación de la Investigación .....	7
<b>CAPÍTULO II</b> .....	9
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	9
2.1. Objetivos de la Investigación .....	9
2.1.1. Objetivo general .....	9
2.1.2. Objetivos específicos.....	9
2.2. Hipótesis de la investigación .....	9
2.2.1. Hipótesis general .....	9
2.2.2. Hipótesis específicas .....	9
2.3. Operacionalización de variables .....	10
<b>CAPÍTULO III</b> .....	11
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	11
3.1. Antecedentes.....	11
3.2. Marco teórico.....	19
3.3. Marco conceptual .....	42
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	45
<b>METODOLOGÍA</b> .....	45
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	45
4.2. Diseño de investigación.....	45



4.3. Población y muestra.....	46
4.4. Procedimiento.....	50
4.5. Técnicas e instrumentos.....	52
4.6. Análisis estadístico .....	53
<b>CAPÍTULO V</b> .....	60
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	60
5.1. Análisis de resultados .....	60
5.2. Discusión .....	91
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	96
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	96
6.1. Conclusiones.....	96
6.2. Recomendaciones .....	97
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	99
<b>ANEXOS</b> .....	104



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 — Definición operacional de variables .....	10
Tabla 2 — Ventajas y desventajas del concreto poroso .....	20
Tabla 3 — Propiedades típicas del concreto permeable .....	22
Tabla 4 — Rangos típicos de proporciones de materiales.....	22
Tabla 5 — Tabla de datos para el diseño de mezcla .....	24
Tabla 6 — Valores efectivos para $b/b_0$ .....	24
Tabla 7 — Consistencia del concreto en estado fresco .....	36
Tabla 8 — Permeabilidad de diferentes tipos de hormigón. ....	36
Tabla 9 — Permeabilidad de diferentes tipos de hormigón. ....	37
Tabla 10 — Propiedades físicas y mecánicas del PET.....	40
Tabla 11 — Grupos experimentales y de control, para la resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad. ....	46
Tabla 12 — Grupo de briquetas cilíndricas de concreto poroso Huso N° 8.....	48
Tabla 13 — Códigos de muestra de los grupos experimentales y de control, para la resistencia a compresión.....	48
Tabla 14 — Grupos para briquetas primaticas de concreto poroso Huso N° 8 .....	49
Tabla 15 — Códigos de muestra de los grupos experimentales y de control, para la resistencia a flexión .....	49
Tabla 16 — Grupos para briquetas cilíndricas de concreto poroso Huso N° 8 .....	50
Tabla 17 — Códigos de repeticiones de los grupos experimentales y de control, para la permeabilidad .....	50
Tabla 18 — Validadores instrumentales .....	53
Tabla 19 — Resultados del tamizado del agregado de cantera .....	61
Tabla 20 — Tamizado ajustado para agregado que utilice el Huso N° 8 .....	62
Tabla 21 — Diseño de mezcla para grupo de control (concreto patrón).....	63
Tabla 22 — Diseño de mezcla para grupo experimental 1 (sustitución de 1% de PET).....	63
Tabla 23 — Diseño de mezcla para grupo experimental 2 (sustitución de 2% de PET).....	64
Tabla 24 — Diseño de mezcla para grupo experimental 3 (sustitución de 3% de PET).....	64

Tabla 25 — Contenido de vacíos a diferentes tratamientos .....	65
Tabla 26 — Resistencia a la compresión del grupo experimental 1 .....	70
Tabla 27 — Resistencia a la compresión del grupo experimental 2 .....	71
Tabla 28 — Resistencia a la compresión del grupo experimental 3 .....	72
Tabla 29 — Resistencia a la compresión grupo control.....	73
Tabla 30 — Resistencia a flexión para todos los grupos a edad de 28 días .....	74
Tabla 31 — Permeabilidad para todos los grupos .....	75
Tabla 32 — Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión para edad de 7 días .....	77
Tabla 33 — Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión para edad de 14 días ....	77
Tabla 34 — Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión para edad de 28 días ....	78
Tabla 35 — ANOVA de un factor resistencia a la compresión del concreto a 7 días .....	79
Tabla 36 — ANOVA de un factor resistencia a la compresión del concreto a 14 días .....	79
Tabla 37 — ANOVA de un factor resistencia a la compresión del concreto a 28 días .....	80
Tabla 38 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 7 días .....	81
Tabla 39 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 14 días .....	81
Tabla 40 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 28 días .....	82
Tabla 41 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 7 días.....	82
Tabla 42 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 14 días.....	83
Tabla 43 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 28 días.....	83
Tabla 44 — Prueba de normalidad de la resistencia a flexión para edad de 28 días.....	85
Tabla 45 — ANOVA de un factor resistencia a flexión del concreto a 28 días.....	85
Tabla 46 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 28 días .....	86
Tabla 47 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 28 días.....	87
Tabla 48 — Prueba de normalidad de la permeabilidad .....	88
Tabla 49 — ANOVA de un factor permeabilidad.....	89
Tabla 50 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – permeabilidad .....	90
Tabla 51 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – permeabilidad.....	90
Tabla 52 — Matriz de consistencia .....	105



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 — Relación entre contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días, para tamaños de agregados de Huso N° 8.....	25
Figura 2 — Permeámetro de carga variable.....	31
Figura 3 — Perfil de un pavimento rígido.....	33
Figura 4 — Partes del pavimento rígido.....	34
Figura 5 — Trabajabilidad del hormigón con látex .....	36
Figura 6 — Clasificación de fibras.....	38
Figura 7 — Forma de fibras .....	39
Figura 8 — Reacción de síntesis del polietilentereftalato (PET) .....	39
Figura 9 — Diseño de investigación para la resistencia a la compresión .....	46
Figura 10 — Diagrama de procedimiento de la investigación .....	52
Figura 11 — Campana de Gauss.....	57
Figura 12 — Esquema de criterios de una distribución normal.....	58
Figura 13 — Análisis granulométrico de cantera.....	60
Figura 14 — Curva granulométrica del agregado de cantera para Huso N° 8 .....	61
Figura 15 — Curva granulométrica del agregado para Huso N° 8.....	62
Figura 16 — Grafica de contenido de vacíos .....	66
Figura 17 — Resistencia a la compresión del concreto permeable a 07 días.....	66
Figura 18 — Resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días.....	67
Figura 19 — Resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días.....	68
Figura 20 — Curva de la resistencia a la compresión del concreto permeable.....	68
Figura 21 — Resistencia a flexión del concreto permeable a 28 días.....	69
Figura 22 — Permeabilidad del concreto permeable .....	70
Figura 23 — Formato N° 1: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso .....	106
Figura 24 — Formato N° 2: Peso unitario del agregado grueso.....	107
Figura 25 — Formato N° 3: Peso específico y absorción del agregado grueso .....	108
Figura 26 — Formato N° 4: Gravedad específica y absorción del agregado fino.....	109
Figura 27 — Formato N° 5: Humedad del agregado grueso y agregado fino .....	110

Figura 28 — Formato N° 6: Contenido de vacíos del concreto permeable .....	111
Figura 29 — Formato N° 7: Resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable .	112
Figura 30 — Formato N° 8: Permeabilidad del concreto permeable.....	113
Figura 31 — Resultado del análisis granulométrico del agregado grueso .....	114
Figura 32 — Resultado del peso unitario del agregado grueso .....	115
Figura 33— Resultados del peso específico y absorción del agregado grueso .....	116
Figura 34 — Resultados del peso específico y absorción del agregado fino .....	117
Figura 35 — Resultados de la humedad del agregado grueso y agregado fino.....	118
Figura 36 — Resultados del contenido de vacíos del concreto permeable .....	119
Figura 37 — Resultados de la resistencia a la compresión del concreto permeable (concreto patrón y concreto +1% de PET) .....	120
Figura 38 — Resultados de la resistencia a la compresión del concreto permeable (concreto +2% de PET y concreto +3% de PET) .....	121
Figura 39 — Resultados de la resistencia a flexión del concreto permeable .....	122
Figura 40 — Resultados de la permeabilidad del concreto permeable .....	123
Figura 41 — Valoración de experto N° 1.....	125
Figura 42 — Valoración de experto N° 2.....	126
Figura 43 — Valoración de experto N° 3.....	127
Figura 44 — Valoración de experto N° 4.....	128
Figura 45 — Declaración jurada de originalidad y no plagio .....	129
Figura 46 — Agregado de cantera.....	130
Figura 47 — Análisis granulométrico del agregado de cantera .....	130
Figura 48 — Tamizado del agregado .....	131
Figura 49 — Peso específico y absorción del agregado grueso; gravedad específica y absorción del agregado fino.....	131
Figura 50 — Peso unitario suelto y compactado.....	132
Figura 51 — Proporciones de materiales para elaborar especímenes de concreto permeable	132
Figura 52 — Mezclado de materiales.....	133
Figura 53 — Elaboración de especímenes de concreto permeable .....	133
Figura 54 — Curado del concreto .....	134
Figura 55 — Rotura de probetas cilíndricas de concreto permeable.....	134
Figura 56 — Probetas de concreto permeable después del ensayo de resistencia a la compresión.....	135
Figura 57 — Probetas prismáticas antes del ensayo de resistencia a flexión.....	135
Figura 58 — Ensayo de resistencia a flexión de probetas prismáticas.....	136

Figura 59 — Medición de esfuerzo de la máquina de ensayos de resistencia a flexión .....	136
Figura 60 — Probetas prismáticas después del ensayo de resistencia a flexión .....	137
Figura 61 — Ensayo de permeabilidad a un prisma rectangular de concreto permeable .....	137
Figura 62 — Permeámetro con especímenes de prueba.....	138
Figura 63 — Ensayo de permeabilidad a especímenes de concreto permeable .....	138
Figura 64 — Ensayo de contenido de vacíos. ....	139
Figura 65 — Certificado de calibración de la máquina de ensayos a compresión uniaxial ...	140
Figura 66 — Certificado de calibración del dispositivo para ensayos de viga a la flexión....	145
Figura 67 — Certificado de calibración de tamizadora eléctrica .....	146
Figura 68 — Certificado de calibración de balanza .....	147
Figura 69 — Certificado de calibración del horno .....	149



## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha observado un notable aumento en la contaminación ambiental, especialmente en lo que respecta a materiales como el plástico. En el año 2020, la producción global de este material alcanzó las 359 millones de toneladas métricas, lo que representa una amenaza significativa para nuestro ecosistema debido a su incapacidad para biodegradarse. A pesar de esto, las botellas de tereftalato de polietileno (PET) presentan la ventaja de ser reciclables y versátiles, lo que las convierte en un recurso valioso para diversas aplicaciones. Por consiguiente, es esencial llevar a cabo investigaciones avanzadas para evaluar el potencial uso del plástico en la fabricación de concreto.

El concreto permeable, es un tipo especial de hormigón con alta porosidad que se utiliza en diferentes aspectos de la construcción. Si bien el alto contenido de porosidad del hormigón permeable contribuye a la infiltración de agua, este mismo provoca una disminución significativa de la resistencia mecánica (Sonebi et al, 2016). Es por ello que varios estudios acerca de la adición de polímeros al concreto permeable indican un aumento a la resistencia, pero manifestando algunos parámetros y/o condiciones que se les debe dar a estos tipos de concreto, y nunca llegando a una conclusión absoluta. Kangavara et al (2022) indica que generalmente, la adición de PET como refuerzo aumenta la resistencia a la compresión del hormigón, aunque esta relación no siempre fue lineal. La mayoría de los investigadores informaron que, hasta una cierta cantidad de contenido de PET en la mezcla, la resistencia a la compresión aumentó y luego disminuyó con la adición adicional de PET.

Esta presente investigación estudia el comportamiento de la sustitución de PET reciclado en el concreto permeable, específicamente la sustitución de PET se dio de manera proporcional y con dimensiones establecidas demostrando mediante los resultados los efectos causados en algunas propiedades físico mecánicas de este tipo de concreto.

La estructura de este informe consta de VI Capítulos, de los cuales: en el Capítulo I se establece el planteamiento del problema, en el Capítulo II se formula los objetivos e hipótesis, en el Capítulo III se trata de todo el marco teórico referencial, en el Capítulo IV de la metodología de la investigación, en el Capítulo V de los resultados – discusiones, y por último en el Capítulo VI se concluye y se dan algunas recomendaciones.



## RESUMEN

El presente estudio nace con el objeto de evaluar el comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos. El tipo de investigación utilizada fue la aplicada de nivel correlacional. El diseño fue el cuasi experimental basándose en tres grupos experimentales y uno de control: Grupo Experimental 1=  $G_1$ , Grupo Experimental 2 =  $G_2$ , Grupo Experimental 3 =  $G_3$  y Grupo de Control =  $G_4$ .

De acuerdo a los resultados, las resistencias a la compresión a los 28 días que se obtuvieron fueron valores de: 211.02  $\text{Kg/cm}^2$ , 205.52  $\text{Kg/cm}^2$ , 185.70  $\text{Kg/cm}^2$  y 205.42  $\text{Kg/cm}^2$  para los grupos  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  y  $G_4$  respectivamente; mientras que para la resistencia a flexión a los 28 días los resultados fueron: 32.60  $\text{Kg/cm}^2$ , 29.98  $\text{Kg/cm}^2$ , 25.28  $\text{Kg/cm}^2$  y 29.87  $\text{Kg/cm}^2$  para los grupos  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  y  $G_4$  respectivamente, por ultimo para la permeabilidad se obtuvo valores de: 0.322 cm/s, 0.342 cm/s, 0.366 cm/s y 0.428 cm/s para los grupos  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  y  $G_4$  respectivamente. Se concluyó que la sustitución parcial de fibras PET recicladas con dimensiones de 2,5cm de largo y 3mm de ancho, si influye en el comportamiento mecánico y permeabilidad para concretos porosos, detallando que aumenta la resistencia a la compresión y flexión para el  $G_1$  y disminuye para el  $G_3$  en dichas resistencias, mientras que en el ensayo de permeabilidad existe una mejora considerable para los grupos  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$  con respecto al  $G_4$ .

**Palabras clave:** *Concreto poroso, fibras PET, sustitución, propiedades mecánicas.*



### ABSTRACT

This study was born with the aim of evaluating the mechanical behavior and permeability of the partial substitution of recycled PET fibers for porous concrete in pavements. The type of research used was applied correlational level. The design was quasi-experimental based on three experimental groups and one control group: Experimental Group 1 = G1, Experimental Group 2 = G2, Experimental Group 3 = G3 and Control Group = G4.

According to the results, the compressive strengths at 28 days that were obtained were values of: 211.02 Kg/cm<sup>2</sup>, 205.52 Kg/cm<sup>2</sup>, 185.70 Kg/cm<sup>2</sup> and 205.42 Kg/cm<sup>2</sup> for groups G1, G2, G3 and G4 respectively; while for the flexural strength at 28 days the results were: 32.60 Kg/cm<sup>2</sup>, 29.98 Kg/cm<sup>2</sup>, 25.28 Kg/cm<sup>2</sup> and 29.87 Kg/cm<sup>2</sup> for groups G1, G2, G3 and G4 respectively, finally for permeability the following values were obtained: 0.322 cm/s, 0.342 cm/s, 0.366 cm/s and 0.428 cm/s for groups G1, G2, G3 and G4 respectively. It was concluded that the partial replacement of recycled PET fibers with dimensions of 2.5 cm long and 3 mm wide, does influence the mechanical behavior and permeability for porous concretes, detailing that it increases the compressive and flexural strength for G1 and decreases for G3 in said resistances, while in the permeability test there is a considerable improvement for groups G1, G2 and G3 with respect to G4.

**Keywords:** *Porous concrete, PET fibers, substitution, mechanical properties.*

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción del problema

El aumento en la urbanización y el cambio climático han intensificado la necesidad de soluciones sostenibles para la gestión de aguas pluviales en entornos urbanos. El concreto poroso ha surgido como una solución efectiva, permitiendo que el agua de lluvia se infiltre en el suelo, reduciendo la escorrentía superficial y disminuyendo el riesgo de inundaciones. Sin embargo, uno de los desafíos más significativos del concreto permeable es mantener un equilibrio adecuado entre su permeabilidad y sus propiedades mecánicas, como la resistencia a compresión y flexión.

La incorporación y/o sustitución parcial de fibras recicladas de PET (tereftalato de polietileno) en el concreto poroso ha sido propuesta como una solución para mejorar sus propiedades mecánicas, promoviendo además la sostenibilidad al reutilizar residuos plásticos. Sin embargo, la sustitución de fibras convencionales por fibras PET plantea varias incógnitas: ¿Cuál es el impacto en la permeabilidad?, ¿Cómo sería la optimización de la mezcla?, ¿Cuál será la durabilidad y comportamiento a largo plazo del concreto poroso?

Durante un largo período, los residuos plásticos han representado una grave preocupación para el medio ambiente de nuestro planeta. Una desventaja significativa de desechar plásticos en vertederos desde una perspectiva de sostenibilidad es que no se recupera ninguno de los recursos materiales empleados en su producción, lo que genera un flujo lineal el cual debería ser un flujo cíclico.

Según algunas estimaciones, en el año 2020, la producción mundial de plástico alcanzó las 359 millones de toneladas métricas, reflejando un aumento significativo en el consumo global de este material. Un desafío importante que enfrentamos es el manejo de los desechos de botellas de plástico, los cuales son altamente perjudiciales para nuestro ecosistema debido a su naturaleza no biodegradable. Sin embargo, las botellas de tereftalato de polietileno (PET) ofrecen la ventaja de ser reciclables y versátiles, lo que las convierte en un recurso valioso para una variedad de aplicaciones. Por lo tanto, es crucial



llevar a cabo una investigación avanzada para evaluar el potencial uso del plástico en la fabricación de hormigón, lo cual constituye el fundamento de la investigación actual.

Las botellas de desecho de tereftalato de polietileno (PET) poseen una estructura fibrosa que se incorporan al concreto como un aditivo y además desempeña múltiples funciones dentro de la mezcla.

Por otro lado, se ha observado un incremento en la demanda de pavimentos permeables en numerosas ciudades de Estados Unidos y en todo el mundo. En Europa, el concreto permeable se utiliza para diversos propósitos, como la reducción del ruido de la carretera, la prevención de salpicaduras durante los períodos húmedos y el mejoramiento de la fricción. En China, se emplea el concreto permeable, también conocido como el concepto de ciudad esponja, para abordar el problema creciente de inundaciones urbanas y sistemas de drenaje sobrecargados. En este contexto, se ha propuesto optimizar las características superficiales de los pavimentos con el objetivo de obtener beneficios tales como un adecuado drenaje, una superficie regular, reducción de los niveles de ruido del tráfico y una alta resistencia mecánica. Una de las propuestas consiste en agregar fibras de polietileno con dimensiones específicas, lo que teóricamente mejora la calidad del concreto en todas sus formas.

En nuestro país, el tema del concreto permeable ha sido poco investigado y su aplicación es limitada. En otras palabras, hay numerosas investigaciones que, al final, se quedan en el ámbito de propuestas o alternativas ante diversos problemas hidráulicos en diferentes ciudades de nuestro país. El uso del concreto permeable se presenta como una parte integral de una solución que permite abordar estos problemas de manera sostenible. Además, este tema es actual en el campo de la Ingeniería Civil y se alinea con la búsqueda de nuevos métodos y materiales de construcción que reduzcan el impacto ambiental y utilicen materiales ecológicos en su fabricación. El concreto permeable aprovecha ciertas características que el concreto convencional no posee.

La diversidad geográfica y climática del Perú, con constantes precipitaciones pluviales en lugares como la sierra y la selva, junto con ciudades que presentan pendientes pronunciadas, conduce a una excesiva escorrentía pluvial y a una considerable erosión hidráulica. Esto resulta en el desgaste de los pavimentos y suelos en consecuencia.

Por otro lado en las calles de la ciudad de Abancay, las losas de hormigón agrietadas se han generalizado debido al mantenimiento deficiente, al aumento del límite de carga legal, al refuerzo inadecuado o al óxido del acero que provoca grietas. Las losas de hormigón no reforzado son materiales cuasi-frágiles que sufren muy poca deformación antes de fallar y



tienen baja tenacidad a la fractura. Las losas reforzadas con acero, cuando se agrietan, tienden a permitir que los conductos de agua alcancen el refuerzo de acero e inicien la corrosión, lo que compromete la resistencia de las losas. El deterioro prematuro del hormigón debido a la corrosión del acero de refuerzo representa una de las amenazas más graves para el futuro del hormigón como principal material de construcción para la fabricación de losas, esto es un problema que hay que solucionar.

En Abancay exactamente por las fechas de enero hasta marzo vemos constantemente precipitaciones pluviales que son propias de nuestro clima, esto influye de manera directa en nuestras pistas, los cuales por ahora no tienen un buen sistema de drenaje y es por ello que se presenta cúmulos de agua que interfieren el libre tránsito vehicular y peatonal en esa época del año, las pistas y veredas con concreto permeable no se ven y esto es un problema que debería tomarse como un punto principal para poder mejorar nuestras calles de manera intrínseca e indirecta que ayude al desarrollo de nuestra ciudad.

Existe la necesidad de utilizar desecho que contengan material de plástico de manera sostenible para crear productos de valor agregado. El material de desecho de tereftalato de polietileno (PET) se puede utilizar como material reforzado en forma de escamas, partículas o fibras en la mezcla de hormigón permeable.

De lo descrito anteriormente se formula las siguientes interrogantes:

## **1.2. Enunciado del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuál es la influencia en el comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024?

### **1.2.2. Problema Específicos**

- ¿Cuál es la resistencia a la compresión de la sustitución parcial del 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos?
- ¿Cuál es la resistencia a flexión de la sustitución parcial del 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos?
- ¿Cuál es la permeabilidad de la sustitución parcial del 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos?



### 1.2.3. Justificación de la Investigación

Debido a los problemas del manejo de la escorrentía provenientes de las precipitaciones pluviales en nuestra ciudad, que generalmente se muestran en los meses de enero a marzo se plantea como necesidad combatir este problema y dar una solución técnica a los pavimentos de la ciudad (calles, losas, patios de instituciones), es por ello que se plantea el uso más frecuente de pavimentos que contengan concretos permeables, estos con el único fin de dar un sistema de drenaje que de un soporte a la evacuación del agua.

La importancia de esta investigación radica en la evaluación del concreto permeable adicionado con fibras de tereftalato de polietileno (PET), el cual teóricamente mejora sus propiedades mecánicas, en especial la de resistencia a la compresión.

La presente investigación aportará información de manera sucinta, primero con respecto a la variación de las propiedades del concreto permeable (sustituyendo con PET) con una adecuada porosidad, también al resto de materiales utilizados en la mezcla de concreto, además de precisar las características de los mismos, en especial al PET reciclado con su dimensionamiento respectivo.

La originalidad de este estudio se basa en la calibración de cada material utilizado en el proceso de mezcla, si bien se utiliza rangos de medidas más específicamente en los agregados, se tiene que mencionar que el uso de criterio es esencial para dar un óptimo resultado. En cuanto a las fibras de Tereftalato de polietileno (PET) utilizadas, su dimensionamiento aumenta en referencia de otras investigaciones y esta a su vez la hace muy diferente.

Recientemente, en nuestro país, se ha recurrido al uso de fibras de ciertos polímeros como refuerzo secundario para contrarrestar la aparición de fisuras en el concreto en estado plástico debido a diversos fenómenos como la retracción plástica, autógena, térmica, carbonatación, entre otros. Sin embargo, la adopción de esta técnica en diversos proyectos es limitada, principalmente porque no existe una fórmula estandarizada para la cantidad y calibración de estas fibras que deben añadirse al concreto, especialmente al concreto permeable. Por esta razón, se llevó a cabo un análisis del comportamiento del concreto con la adición de fibras de PET, con el objetivo de evaluar el impacto que tiene la incorporación de estas fibras en las propiedades y características mecánicas del concreto permeable.

El aporte radica en la evaluación de cómo la adición de fibras de PET reciclado al



concreto permeable afecta sus propiedades mecánicas, especialmente en términos de resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad. El estudio no solo explora la variación en las propiedades del concreto al sustituir PET, sino que también ofrece una visión detallada de la calibración y selección de materiales, lo cual es crucial para obtener resultados óptimos. El trabajo también aborda una brecha significativa al no existir una fórmula estandarizada para la sustitución de estas fibras, y proporciona datos empíricos que pueden guiar futuras aplicaciones en el diseño de pavimentos permeables más eficientes y sostenibles.



## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1. Objetivos de la Investigación

##### 2.1.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024.

##### 2.1.2. Objetivos específicos

- Analizar la resistencia a la compresión de la sustitución parcial del 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.
- Analizar la resistencia a la flexión de la sustitución parcial del 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.
- Analizar la permeabilidad de la sustitución parcial del 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.

#### 2.2. Hipótesis de la investigación

##### 2.2.1. Hipótesis general

Influye en el comportamiento mecánico y permeabilidad la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024

##### 2.2.2. Hipótesis específicas

- Influye en la resistencia a la compresión la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.
- Influye en la resistencia a flexión la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para el concreto poroso en pavimentos.
- Influye en la permeabilidad la sustitución de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.



### 2.3. Operacionalización de variables

Tabla 1 – Definición operacional de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ÍTEM / UNIDAD	INSTRUMENTO
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>  Fibras PET recicladas	Li et al, (2019) afirma que las fibras de tereftalato de polietileno (PET) reciclado son filamentos obtenidos a partir del reciclaje de botellas de plástico PET. Estas fibras se utilizan en diversas aplicaciones, como refuerzo en concretos y otros.	Porcentaje de fibras PET recicladas	Filamentos obtenidos mediante el proceso de reciclaje de botellas de plástico PET. Estas fibras se identificarán y cuantificarán a través de un análisis visual y físico de las muestras de material de plástico reciclado, utilizando técnicas de caracterización.	Sustitución parcial de 0% de PET	%	-
				Sustitución parcial de 1% de PET	%	-
				Sustitución parcial de 2% de PET	%	-
				Sustitución parcial de 3% de PET	%	-
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>  Comportamiento mecánico y permeabilidad.	Según Neville (2018), el comportamiento mecánico del concreto poroso se refiere al estudio de cómo estos materiales se deforman, resisten cargas, y responden a fuerzas externas, considerando la presencia significativa de poros en su estructura.  Neville (2018) afirma que la permeabilidad es la capacidad que tiene el concreto para permitir el paso de fluidos a través de su estructura porosa bajo la influencia de fuerzas mecánicas.	Resistencia a la compresión	Capacidad del concreto para soportar cargas aplicadas en dirección perpendicular a su superficie.	Esfuerzo	Kg/cm <sup>2</sup>	Ficha de datos
		Resistencia a la flexión	Capacidad del concreto para resistir la aplicación de fuerzas que provocan flexión o curvatura en una muestra, sin experimentar fractura.	Esfuerzo	Kg/cm <sup>2</sup>	Ficha de datos
		Permeabilidad	Capacidad del concreto para permitir el paso de fluidos a través de su estructura porosa.	Velocidad de flujo	cm/s	Ficha de datos



## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1. Antecedentes

##### 3.1.1. Antecedentes internacionales

- a) Hernández y Hernández (2022) en su estudio hecho en la Universidad Cooperativa de Colombia, en la facultad de Ingeniería, presentó una investigación titulada: “Evaluación de la escorrentía en el concreto permeable adicionado con sustitución parcial de residuos de PET”. Según el estudio tiene como finalidad evaluar la escorrentía en el concreto permeable adicionado con sustitución parcial de residuos de PET, al llevar a cabo este estudio se diseña una mezcla de concreto para superficies expuestas a tránsito peatonal teniendo en cuenta la normatividad correspondiente la resistencia a la compresión recomendada oscila entre 14 a 21 MPa, en cuanto a la estimación de la permeabilidad se realizan dos muestras adicionales a la original, una primera muestra donde se trabaja solo con el 30% de agregado fino, de la cual el 20% continua siendo arena y el 10% restante se reemplaza por PET, para esta mezcla los demás componentes se siguen respetando los parámetros iniciales de la muestra, Para la segunda muestra se utiliza un 30% del agregado fino, el cual es reemplazado por PET, para esta mezcla los demás componentes se siguen respetando los parámetros iniciales de la muestra, por último en la clasificación física y mecánica de cada uno de las muestras se comparan los resultados obtenidos en todos los ensayos realizados en el laboratorio. Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión para las muestras permeables están en un rango de 2.90 – 8.82 MPa, estos rangos son evidentemente bajos, por otro lado, según la ACI 522R-10 señala que la resistencia a la compresión de los concretos permeables debe estar entre 2.8 y 28 MPa, dando como resultado que los especímenes evaluados se encuentren en un rango favorable. Concluye que la resistencia a la compresión en los concretos permeables es considerablemente baja comparada con una mezcla de concreto tradicional, y



argumenta que se debe a la ausencia de agregado fino, para las muestras de concreto permeable diseñadas con un porcentaje de PET como agregado fino sus resistencias se encuentran entre los rangos de 2.90 a 8.82 MPa, cumpliendo lo establecido en la norma ACI 522R-10 para la resistencia a la compresión del concreto permeable.

- b) Menna, et al., (2021) en su estudio denominado “Assessment of mechanical properties and workability for polyethylene terephthalate fiber reinforced concrete” realizado en Jaipur-India, describe en detalle las propiedades técnicas de los desechos plásticos reciclados. La resina impacta las nuevas cualidades del concreto, lo que afecta las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto. La inclusión de resina modifica las características mecánicas y la resistencia del hormigón, según los resultados de los ensayos actuales. En su investigación utilizaron fibras plásticas derivadas de botellas plásticas de basura para reforzar el concreto ordinario. La resistencia a la compresión de cubos y cilindros de hormigón estándar y reforzado con fibra se determina en el laboratorio. Los experimentos utilizaron grados de concreto M25 y M30 y dos fibras geométricas con una relación de volumen de 0,0% a 3,0%, curado durante 28 días. Obteniendo resultados como la resistencia de las fibras al movimiento de los agregados, las nuevas cualidades del concreto en las pruebas de hundimiento y compactación revelaron una disminución en la trabajabilidad del concreto reforzado con fibra de tereftalato de polietileno, otra conclusión que se determinó fue que densidad seca del concreto reforzado con fibra de tereftalato de polietileno se reduce, pero esto conduce a una reducción en el peso muerto del concreto. La resistencia a la compresión tanto del cubo como del cilindro de concreto aumenta con la incorporación de fibra de tereftalato de polietileno hasta el uno por ciento de reemplazo con la arena.
- c) Eyni, et al., (2021) en su estudio realizado en Universidad del Sur de Queensland – Australia, que por título tiene “Investigation on the properties of concrete with recycled polyethylene terephthalate (PET) granules as fine aggregate replacement” examinaron el desempeño del concreto que contiene residuos de tereftalato de polietileno (PET) reciclado en forma granular para reemplazar el agregado fino. Una serie de especímenes de concreto para la mezcla de concreto Grado 32 se vaciaron usando gránulos de PET como reemplazo parcial de los agregados finos en



la mezcla (0%, 10%, 30% y 50% de reemplazo por volumen de agregado fino). Propiedades importantes como la trabajabilidad (asentamiento), densidad, resistencia a la compresión, módulo elástico, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, y el desplazamiento de apertura de la boca de la grieta (CMOD) se evaluaron junto con las observaciones microestructurales. Los resultados experimentales indicaron que el reemplazo volumétrico de agregados finos con 10% de gránulos de PET reciclado impactó positivamente en las características del concreto. Los resultados revelaron además una mejora en la ductilidad del hormigón con contenido de gránulos de PET reciclado, aunque el efecto fue más pronunciado con el hormigón que contenía un 10 % de gránulos de PET. Los resultados experimentales de las propiedades mecánicas se compararon con las pautas de diseño australianas y estadounidenses disponibles y se observó una fuerte relación lineal. Por último, los hallazgos de este estudio sobre propiedades mecánicas revelaron un desempeño óptimo en relación a los reportados en la literatura disponible.

- d) Zhang, et al., (2020) presentó un artículo realizado en Universidad de Hohai – Nanjing, China; titulado “Mix design for recycled aggregate pervious concrete based on response surface methodology” El artículo del autor demuestra que la metodología de superficie de respuesta (RSM) puede emplearse para diseñar la proporción de mezcla de hormigón permeable con agregado reciclado. Desde el punto de vista de la estructura interna del concreto permeable reciclado, los factores que influyen en su resistencia y porosidad son las características de la pasta, el grosor del revestimiento de la pasta sobre la superficie del agregado y el contenido de vacíos del agregado. Para cuantificar y optimizar estos tres factores, se introducen el grosor ideal de la pasta (IPT), el grosor real del recubrimiento (ACT) y el contenido de vacíos (TVC) mediante la metodología de superficie de respuesta (RSM). Se utilizó el diseño de Box-Behnken (BBD) para obtener la respuesta de IPT y ACT a combinaciones de tres aditivos, y finalmente se empleó el diseño de centroide simplex para establecer la respuesta de TVC a diferentes gradaciones de agregados reciclados.
- e) Carreño (2020) en su estudio realizado en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, en el Departamento de Ingeniería Civil, el



autor presenta una investigación titulada “Análisis técnico-económico del uso de PET reciclado como reemplazo parcial de áridos finos en hormigones”. El objetivo de este trabajo es evaluar la viabilidad de una proporción óptima para sustituir áridos finos o arena con PET (polietileno tereftalato), un polímero termoplástico comúnmente utilizado en la fabricación de diversos productos, especialmente envases de bebidas. El análisis se apoya en investigaciones y pruebas previas que arrojan resultados variados en términos de resistencia a la compresión, tracción y flexión, absorción de agua y módulo de elasticidad.

Los estudios sugieren que la sustitución de agregados finos por PET no debe superar el 20%, independientemente de la cantidad de cemento, la relación agua-cemento, o la cantidad y forma del PET, ya que mezclas con un alto porcentaje de reemplazo pueden experimentar una reducción de hasta un 65% en la resistencia a la compresión en comparación con el hormigón convencional. Para mezclas con un porcentaje de reemplazo inferior al 20%, aunque la resistencia puede ser variable, muchas son aceptables para su uso. El rango de reemplazo entre 0,5% y 10% ofrece los mejores resultados en términos de resistencia a la compresión, con una posible mejora de hasta un 28% al utilizar PET reciclado en la mezcla.

Basado en este análisis, se sugiere una dosificación de hormigón con una resistencia específica de 25 MPa a la compresión (G25) y un reemplazo del 10% de agregados finos por PET reciclado, cumpliendo con los estándares de la norma ACI318-11.

### 3.1.2. Antecedentes nacionales

- a) Garcia & Córdova (2021) en su trabajo de investigación evaluó el análisis de diseño del concreto permeable  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c=245$  kg/cm<sup>2</sup> con incorporación de 0.30%, 0.40% y 0.50% de fibras de polipropileno, y el drenaje de la escorrentía de un pavimento de tránsito ligero– Ucayali, donde las variables de investigación fueron la incorporación de fibras de polipropileno, resistencia a la compresión, la tasa de infiltración o tasa de percolación y el tirante hidráulico de una cuneta típica. Se realizó 6 diseños de mezcla, de las cuales, 3 fueron para una concreto permeable  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> y 3 para un concreto permeable  $f'c=245$  Kg/cm<sup>2</sup> con incorporación de 0.30, 0.40 y 0.50% de fibra de polipropileno respecto al peso del cemento, respectivamente para cada diseño. Referente a la resistencia a la compresión de ambos concretos ( $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c=245$  Kg/cm<sup>2</sup> ) se observó



que la incorporación de 0.30%, 0.40% y 0.50% de fibras de polipropileno aumenta dicha resistencia. Caso contrario sucedió para la prueba de permeabilidad, ya que se observó que a mayor porcentaje de fibra de polipropileno menor es la tasa de infiltración, hasta se obtuvo un valor mínimo promedió de 0.13 cm/s lo cual está por debajo del intervalo para la tasa de percolación o infiltración de un concreto permeable según el reporte 522-10 DEL ACI (0.14 – 1.22 cm/s). Por último se obtuvo una reducción del tirante hidráulico de una cuneta típica pero no tan significativa.

- b) Navarro & Rayme (2021) en su investigación, que se dividió en dos fases, se evaluaron dieciséis diseños diferentes. En la primera fase, se realizaron doce muestras de cada diseño para evaluar su resistencia a la compresión. Esto resultó en un total de 192 probetas que se evaluaron a los 7, 14 y 28 días de curado. Los diseños se componían de agregados recomendados por el ACI 522R, agregados de HUSO 8 y agregados de HUSO 67. El objetivo era seleccionar un tipo de concreto poroso que cumpliera con las especificaciones mínimas de un pavimento, manteniendo un porcentaje de vacíos óptimo para una posterior evaluación acústica. Se estudió la influencia de la porosidad y el porcentaje de vacíos en las propiedades mecánicas del concreto. Se encontró una dosificación adecuada para el concreto poroso, con una relación agua-cemento de 0.36, fibra tipo I, 0% de aditivo y piedra de HUSO 8, logrando una resistencia a la compresión de 296.37 kg/cm<sup>2</sup>, que cumplió con los requisitos mínimos de resistencia para su aplicación en pavimentos. En la segunda fase, se obtuvieron resultados del coeficiente de absorción acústica mediante una simulación numérica basada en la teoría microestructural de Neithalath. Este modelo se aplicó a los diseños de concreto poroso obtenidos en la primera fase, considerando el tamaño, la forma de los agregados y la relación de vacíos. El desarrollo de este modelo matemático y su correlación con las mediciones físicas permitieron predecir el coeficiente máximo de absorción acústica de un concreto poroso, basado en las características geométricas de la estructura de poros. Los diseños óptimos sometidos a la simulación numérica obtuvieron un coeficiente de absorción acústica de 0.79 y 0.63 para agregados de HUSO 8 y HUSO 67, respectivamente. El investigador concluyó que el concreto poroso permite reducir el ruido generado por la interacción entre el neumático y la calzada, lo que representa un nuevo beneficio en la ingeniería de pavimentos.

- c) Oyola & Romaní (2020) en su trabajo de investigación denominado: “Influencia de adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclable en las propiedades de concreto permeable para pavimento de tráfico liviano”. Determinó la influencia de adición de fibras de PET en las propiedades de concreto permeable, el grupo control no tuvo ninguna adición, sin embargo, el grupo experimental si tuvo adición de fibras PET a 0.25%, 0.50%, 1.00% y 1.50% de dimensión 2mm x 45mm, respecto al peso del cemento. En cuanto al diseño de mezcla se desarrolló con un tamaño de agregado de Huso N° 8 (3/8”), con una relación de a/c 0.36 y con un contenido de vacío de 18%. La adición de fibras PET en consistencia (slump) y peso unitario influye significativamente a medida se aumente por porcentajes de adición. En cuanto a contenido de vacío en estado fresco tanto endurecido no influye. En resistencia a compresión el porcentaje de adición óptimo es 0.50% con una resistencia de 192.26 kg/cm<sup>2</sup>, asimismo en la resistencia a flexión el óptimo es 1.00% con 19.59 kg/cm<sup>2</sup>.
- d) Bacilio & Méndez (2020) en un estudio realizado en la ciudad de Trujillo, titulado: “Evaluación del concreto permeable para su uso como pavimento rígido en la ciudad de Trujillo”. Se manifiesta que el objetivo de la investigación fue la evaluación del concreto permeable para su uso como pavimento rígido en la ciudad de Trujillo, reportando la resistencia a la compresión, flexión y también hallando el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable. Se elaboraron mezclas de dos tipos con la secuencia que da el ACI 522 R-10, la primera mezcla se hizo con agregado grueso de 1/2" y la segunda con tamaño de 3/8"; se hicieron 30 muestras de concreto donde se realizaron 9 probetas (15cm x 30cm) por cada mezcla, los ensayos de resistencia a la compresión se dio en tiempos de 7, 14 y 28 días. Para el ensayo de resistencia a flexión a los 28 días de curado, se indica que se elaboraron 3 vigas por cada mezcla (dimensiones: 15cm x 15cm x 60 cm); y para determinar la permeabilidad se hicieron 3 probetas (10cm x 15 cm) para cada mezcla, el ensayo de realizo a los 28 días. Los resultados del agregado de 1/2" a los 28 días de curado mostró una alta resistencia a la compresión y flexión con valores de 211.65 kg/cm<sup>2</sup> y 27.77 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente; por otro lado para el agregado de 3/8" de mezcla se obtuvieron resistencias a la compresión y flexión de 133.73 kg/cm<sup>2</sup> y 15.16 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente; la permeabilidad dio valores de 2.417 cm/s y 1.795 cm/s para los tipos de mezcla con agregados de 1/2" y 3/8" respectivamente. Los autores concluyen que el más favorable a utilizar para un pavimento rígido de tráfico ligero es aquel diseño de mezcla que utiliza agregado grueso de 1/2", esto debido a las altas resistencia de compresión y flexión que presenta.



- e) Medina (2019) en su investigación para obtener el título profesional de ingeniería civil en la Universidad Privada del Norte, ubicada en la ciudad de Trujillo, el autor examinó el efecto de diferentes proporciones de tiras de plástico en las propiedades de permeabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto permeable. El estudio se llevó a cabo mediante un diseño experimental cuasi experimental, utilizando un muestreo probabilístico simple. Para recopilar datos, se empleó la técnica de observación y se utilizó una guía de observación como instrumento. El análisis de los datos se realizó mediante inferencia estadística. El estudio abordó el problema de la baja resistencia del concreto permeable, que limita su uso como pavimento rígido y contribuye a la falta de recarga de los acuíferos naturales y a la contaminación plástica debido a la falta de reciclaje. El investigador pudo determinar la influencia de las tiras de plástico en las propiedades mencionadas del concreto permeable. Se encontró que la incorporación de tiras de plástico en una proporción del 0.10% aumenta la resistencia a la compresión en un 17.09%, pasando de 185.40 kg/cm<sup>2</sup> a 217.09 kg/cm<sup>2</sup>, y la resistencia a la flexión aumenta en un 49.81%, pasando de 34.69 kg/cm<sup>2</sup> a 51.97 kg/cm<sup>2</sup>. Además, se observó una disminución en la permeabilidad en todos los porcentajes de incorporación, siendo del 19.83% para una incorporación del 0.10%.

### 3.1.3. Antecedentes locales

- a) Hilares & Camacho (2023) En un estudio de investigación sobre concretos porosos con la inclusión de plastómeros, el objetivo fue analizar el comportamiento del concreto poroso permeable al incorporar plastómeros en el distrito de Chalhuanca, provincia de Aymaraes - Apurímac. Se empleó un enfoque experimental utilizando cemento, aditivo, agua, plastómeros reciclados, y agregado fino y grueso para obtener un diseño de resistencia  $f_c$  de 175 kg/cm<sup>2</sup>, con la adición de 1%, 1.5% y 3% de plastómeros. Se elaboraron y mezclaron los especímenes, obteniendo resultados positivos en las propiedades físicas. Las muestras se sometieron a ensayos de compresión y flexión a los 7, 14 y 28 días, cumpliendo con su período de curado. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión evolucionó alcanzando el 70% a los 7 días, 85% a los 14 días y 100% a los 28 días. En cuanto a la resistencia a la flexión, esta osciló entre el 10% y el 20% de la resistencia a la compresión, con las muestras que contenían un 1.5% de plastómeros superando a



las de 1% y 3%. Los coeficientes de permeabilidad a los 28 días estuvieron dentro del rango de 1.44 mm/s y 12 mm/s, siendo mayor con una adición del 1% de plastómeros. Se concluyó que la inclusión del 1.5% de plastómeros mejora las propiedades físicas y mecánicas del concreto poroso permeable, reduciendo su permeabilidad y cumpliendo con los estándares de la norma (ACI 522 R-10). Se sugiere esta alternativa para mejorar el comportamiento del concreto poroso permeable en la construcción de pavimentos para el control de aguas pluviales.

- b) Arcos (2019) en su trabajo de investigación denominado: “Concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, 2019”, la autora establece los siguientes objetivos: determinar la resistencia a la compresión, el módulo de ruptura (flexión) y evaluar la permeabilidad del concreto poroso para el control de aguas pluviales, siguiendo los procedimientos y tablas estipulados en la norma ACI 211.3R-02. Para la fabricación de concreto con una resistencia a compresión ( $f'_c$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup> y porcentajes de vacíos del 12%, 17% y 22%, se llegó a las siguientes conclusiones: El tratamiento T1 con un 12% de porcentaje de vacío del agregado fino Huso 8 muestra una mayor resistencia, aproximándose al nivel requerido para este tipo de concreto y para el tipo de vía. Se observó que el agregado fino Huso 67 presenta una menor resistencia en cada uno de los porcentajes de vacío en comparación con el Huso 8, por lo que el tratamiento T2 es crucial para el diseño del concreto permeable. El módulo de ruptura de los tratamientos T1 con un 12% de porcentaje de vacío y T2 con un 17% de vacío del Huso 8 no difieren significativamente, aunque sí difieren significativamente del tratamiento T3 con un 22% de vacío tanto para el Huso 8 como para el Huso 67. No se encontraron diferencias significativas en cuanto a la flexión bajo el mismo porcentaje de vacío. Es importante destacar que a medida que aumenta el porcentaje de vacío, disminuye la flexión. Respecto a la permeabilidad, se determinó que el tratamiento más adecuado para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, que permite una mayor permeabilidad con buena resistencia y un buen drenaje de aguas, es el tratamiento T2 con un 17% de porcentaje de vacío correspondiente al Huso 8.

## 3.2. Marco teórico

### 3.2.1. El concreto poroso

#### Aplicaciones

El concreto permeable, gracias a su alta porosidad, encuentra aplicaciones en una variedad de contextos donde se requiere permeabilidad. Sin embargo, su baja resistencia a la compresión debido al contenido de vacíos puede restringir su uso en ciertas aplicaciones. No obstante, este tipo de concreto se emplea en pavimentos de tráfico ligero, aceras, estacionamientos, carriles para bicicletas, áreas verdes como parques y canchas de tenis, entre otros, con el propósito de reducir o eliminar la escorrentía causada por lluvias. (Quispe y Ticona, 2017).

El rendimiento del concreto poroso lo hace adecuado para su aplicación en el drenaje vial, gracias a sus excelentes propiedades de permeabilidad y capacidad de almacenamiento mencionadas. Esto implica que el agua proveniente de las lluvias en el área cubierta por la carretera puede ser drenada de manera eficiente, lo que permite reducir las dimensiones de los sistemas de drenaje vial, como cunetas y subdrenes. La utilización de concreto permeable ofrece una alternativa a los diseños tradicionales de drenaje. La permeabilidad de este tipo de concreto varía entre 120 a 200 litros por minuto por metro cuadrado o de 7 a 12 milímetros por hora por metro cuadrado. La capacidad de almacenamiento depende del porcentaje de vacíos, que oscila entre el 15% y el 30% (Velásquez, 2018). Aunque los pavimentos permeables no son adecuados para todas las situaciones, con un diseño, construcción y mantenimiento adecuados, ofrecen una alternativa ecológica de bajo impacto que merece ser considerada. En términos económicos, puede ser más rentable que el pavimento convencional, ya que evita la necesidad de instalar sistemas de retención de agua y reduce la infraestructura de drenaje (Guyer, 2019). Las aplicaciones más comunes para el concreto ecológico incluyen estacionamientos, aceras, caminos, canchas de tenis, patios, estabilización de taludes, cubiertas de piscinas, pisos de invernadero, áreas de zoológico, arcenes, desagües, barreras acústicas, bases permeables debajo de pavimentos de concreto convencional y caminos de bajo tráfico. Por lo general, el concreto permeable no se utiliza en pavimentos para tráfico pesado o de alto volumen (Medina, 2019). Según Guyer (2019), la aplicación del concreto poroso se inició en Europa, donde inicialmente se utilizaban diversas formas de agregado abierto o pavimento de césped para fomentar la absorción de agua en lugar de la escorrentía.



### Beneficios del concreto poroso

El manejo del agua representa uno de los desafíos más importantes en la planificación y el mantenimiento de las carreteras, ya que puede debilitar la resistencia del suelo, afectando los terraplenes, los cortes y los pavimentos. Por lo tanto, el drenaje se convierte en un aspecto crucial para dirigir de manera adecuada el flujo de agua. (Velásquez, 2018).

**Tabla 2 — Ventajas y desventajas del concreto poroso**

Ventajas	Desventajas
Manejo efectivo de los escurrimientos de aguas de lluvia con reducción de alcantarillas y bordillos.	Uso limitado en áreas de tránsito pesado.
Reducción de la contaminación en cuerpos de agua.	Necesidad de prácticas especializadas de construcción.
Recarga de mantos acuíferos.	Mayor tiempo de curado.
Mejor aprovechamiento de los terrenos adyacentes a las variables.	Sensitividad al contenido de agua y al control en el concreto fresco.
Reducción de las islas de calor.	Falta de métodos estandarizados de pruebas.
Eliminación del estancamiento de agua.	Especial atención y cuidado en el diseño al usar algunos tipos de suelo, como los expansivos y los susceptibles a la congelación.
Crédito de obras LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).	Posiblemente se requiera atención en casos de niveles elevados de aguas subterráneas.
FUENTE: Alviter, Cárdenas & Jaimes. Pavimentos permeables. México, 2019	

### Propiedades en estado duro

#### - Contenido de vacío

La permeabilidad es una característica física de un material que le permite permitir el paso de fluidos, aire o luz. Según Ibrahim, et al. (2016), se define como la proporción entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra. Además, se señala que el contenido de vacíos está en parte influenciado por el tamaño de los poros (Quispe y Ticona, 2017)

#### - Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se refiere a la capacidad de un material para resistir una carga de aplastamiento por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a la compresión de un material que falla bajo carga de compresión puede definirse dentro de límites



bastante precisos. Se destaca además que no todos los especímenes se rompen en el proceso; en algunos casos, simplemente se deforman (Quispe y Ticona, 2017).

- **Resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión, también conocida como módulo de ruptura, es un parámetro relevante en el diseño de pavimentos y se determina conforme a la normativa ASTM C78. En el caso de los concretos porosos, esta resistencia generalmente oscila entre 10.5 kg/cm<sup>2</sup> y 40.0 kg/cm<sup>2</sup>. Varios factores influyen en esta resistencia, incluyendo el grado de compactación, la porosidad y la relación entre agregado y cemento. Se ha observado que el concreto poroso tiende a exhibir relaciones de flexión más altas (>15%) en comparación con el concreto convencional (<15%) (Quispe y Ticona, 2017).

- **Permeabilidad**

La permeabilidad se define como la capacidad de un material para permitir el paso del agua a través de su estructura porosa en un tiempo determinado, a menudo expresada en términos de cm/s. Para llevar a cabo el ensayo, se utiliza un espécimen conformado por una combinación de cemento, agregados gruesos, un contenido de vacío intencionalmente incluido, escaso o nulo agregado fino y agua. También se puede entender como la propiedad que regula la velocidad de flujo de un líquido a través de un sólido poroso. La conceptualización de la permeabilidad se origina en la ley de Darcy, la cual establece que el flujo de agua por unidad de área a través de un sólido poroso es proporcional al gradiente de presión entre sus dos caras. Para medir la permeabilidad del concreto poroso, se emplea un dispositivo conocido como permeámetro de carga variable, diseñado conforme a las recomendaciones del ACI 522R-10 (Bustamante, 2017).

- **Desgaste de abrasión e impacto**

La resistencia al desgaste por abrasión e impacto se refiere a la combinación de fuerzas de impacto y fricción que conducen a la erosión del material. Se cuantifica mediante el porcentaje de masa perdida después de someter el material a 500 revoluciones en un tambor de acero. Una menor pérdida de masa después de este proceso indica una mayor resistencia del material al desgaste por abrasión e impacto (Trujillo & Quiroz, 2018).



**Tabla 3 — Propiedades típicas del concreto permeable**

Propiedad	Rango
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1600 - 2000
Tiempo de fraguado (h)	1
Porosidad (%)	15 - 25
Permeabilidad (lt/m <sup>2</sup> /min)-(cm/s)	120 - 320 (0.20 - 0.54)
Resistencia a la compresión (Mpa)	3.5 - 28
Resistencia a la flexión - Modulo de rotura (Mpa)	1 - 3.8
FUENTE: Trujillo & Quiroz. Pavimentos porosos utilizados como sistema alternativo al drenaje urbano. Colombia, 2019	

### Diseño de mezcla

La preparación del concreto permeable implica la medida y la combinación de diversos componentes, tanto sólidos como líquidos, con el fin de producir el espécimen final, que es el concreto poroso.

#### a) Parámetros del diseño de mezcla

En el diseño de la mezcla, las variables principales que influyen en las propiedades del concreto permeable son la relación entre agregado y cemento (Ag/C) y la relación entre agua y cemento (A/C). La norma ACI 522R (2010) proporciona rangos típicos de proporciones de materiales como referencia. Se destaca que el éxito de la mezcla también está condicionado por las características de los materiales utilizados, y en caso necesario, se recomienda realizar pruebas en lotes de prueba para determinar el comportamiento anticipado.

**Tabla 4 — Rangos típicos de proporciones de materiales**

Parámetros	Rangos	Unidad
Materiales cementales	270 - 415	kg/m <sup>3</sup>
Agregados	1190 - 1480	kg/m <sup>3</sup>
Relación agua - cemento	0.27 - 0.34	en peso
Relación agregado - cemento	4 - 4.5 : 1	en peso
Relación agregado fino - agregado grueso	0 - 1 : 1	en peso
FUENTE: ACI 522R. Report on pervious concrete, 2010		

#### b) Relación agua – cemento (a/c)

La proporción entre agua y cemento (A/C) ejerce una influencia significativa en las características del concreto permeable. Si se emplea una cantidad insuficiente de agua, la mezcla resultante carecerá de consistencia y presentará una baja resistencia a la compresión y durabilidad. Por el contrario, un exceso de agua



disminuirá la adherencia de la pasta al agregado, lo que provocará que la pasta se desplace y ocupe los espacios vacíos de la mezcla, dando como resultado una permeabilidad reducida (Calderón & Charca, 2016).

(Quispe y Ticona, 2017) sugieren que el concreto permeable alcanza su óptima consistencia cuando contiene la cantidad adecuada de agua, lo que resulta en una pasta de cemento completamente humedecida con alta viscosidad, facilitando una adecuada adherencia entre las partículas del agregado. La consistencia ideal se determina visualmente; al apretar y soltar un puñado de la mezcla, esta no debe desmoronarse, y la pasta no debe fluir lejos de las partículas del agregado, lo que podría causar que la pasta se asiente a través de la red de poros y cierre la estructura de vacío. En su lugar, la mezcla debe tener un aspecto metálico mojado con brillo.

La selección de la relación agua-cemento (a/c) óptima depende principalmente de la granulometría y las propiedades físicas de los agregados, así como del volumen de material cementante en la mezcla. Por lo general, para lograr la trabajabilidad en el concreto permeable, la relación a/c se encuentra dentro del rango de 0.27 a 0.34.

Según Córdova (2016), se recomienda trabajar con una relación a/c de 0.30 al agregar aditivos, ya que esto produce mejores resultados tanto en trabajabilidad como en resistencia. Por otro lado, al usar relaciones a/c inferiores se obtiene una mezcla demasiado seca.

#### **c) Relación agregado – cemento (Ag/C)**

La norma ACI 522R (2010) indica que la relación entre agregados gruesos y cemento (Ag/C) típicamente oscila entre 4:1 y 4.5:1, y esto depende principalmente del tipo de agregado utilizado. Tanto la relación agua-cemento como la relación entre agregado y cemento deben cumplir con los requisitos de permeabilidad, resistencia a la compresión y durabilidad, como se señala en el estudio de Flores & Pacompía (2015).

#### **d) Pasos para el diseño de mezcla**

El diseño de mezcla para el concreto permeable es diferente en varios aspectos al diseño hechas para el tipo de concreto convencional pues esta solo se basa en la relación agua/cemento o la resistencia del concreto, por el contrario para el diseño



de mezcla del concretos permeable la importancia radica en el contenido de vacíos (mayores al 15% del volumen total) y volumen de pasta, también se utiliza agregados con tamaños de acuerdo a los HUSOS 67 y N° 8 (según ACI 522 R-10). Es importante mencionar que la permeabilidad del concreto depende del porcentaje de vacíos, pues gracias a este se puede calcular la velocidad de infiltración.

A continuación se detalla los pasos para el diseño:

**PASO 1: Recolección de datos teóricos y prácticos (ensayo de agregado)**

Los datos de los ensayos granulométricos realizados y algunos datos establecidos de muestras se añadirán en la Tabla 3.

**Tabla 5 – Tabla de datos para el diseño de mezcla**

Datos teóricos y prácticos	Valor
Resistencia requerida	
Peso unitario varillado de agregado grueso	
Peso específico del agregado grueso	
Absorción del agregado grueso	
Relación agua cemento	
Contenido de vacío teórico (compactación ligera)	
Tamaño Máximo Nominal	
Peso específico del cemento ( SOL tipo I)	
Peso específico PET	
Peso específico del agua	

**PASO 2: Determinar el peso del agregado grueso**

El peso del agregado grueso necesita el valor de la relación de  $b/b_o$ , el cual se utilizó la Tabla 4, extraída de acuerdo a lo establecido en el documento de ACI 522 R-10.

**Tabla 6 – Valores efectivos para  $b/b_o$**

Porcentaje de agregado fino	$b/b_o$	
	ASTM C 33 Tamaño N° 8	ASTM C 33 Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86
<b>Clave</b> b Volumen seco varillado de agregado grueso $b_o$ Volumen solido de agregado grueso		



Para determinar el valor del peso del agregado grueso se utilizara la siguiente formula:

$$W_{a_{seco}} = P.U.C_{grava} \times \frac{b}{b_0} \times V_{total}$$

Dónde:

$W_{a_{seco}}$ : Peso del agregado grueso

$P.U.C_{grava}$  : Peso Unitario Compactado

$V_{total}$  : Volumen total de diseño ( $1m^3$ )

### PASO 3: Determinar el ajuste del peso del agregado

En este paso solo se determinara el peso del agregado húmedo con la siguiente formula:

$$W_{a_{humedo}} = W_{a_{seco}} \times \%Abs$$

Dónde:

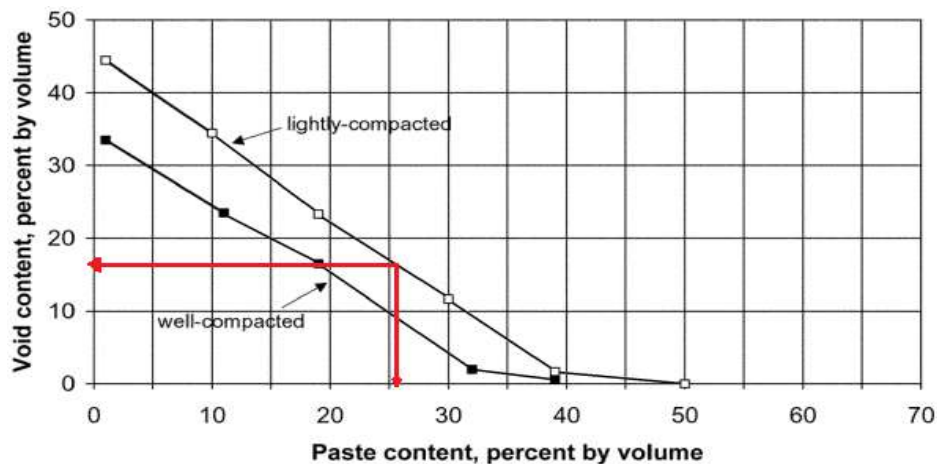
$W_{a_{humedo}}$ : Peso del agregado grueso

$W_{a_{seco}}$ : Peso del agregado grueso

$\%Abs$ : Porcentaje de absorcion

### PASO 4: Determinar el volumen de la pasta

Para hallar el volumen de la pasta será necesario utilizar la figura 3, establecido en el documento de ACI 522 R-10, en el cual se utilizó un 10% de vacíos (teórico) con compactación ligera.



NOTA

Para un 16% de vacíos el contenido de pasta oscila entre 25% - 27%.

Figura 1 — Relación entre contenido de vacíos y la resistencia a la



compresión a los 28 días, para tamaños de agregados de Huso N° 8

**PASO 5: Determinar el peso del cemento**

Como bien se sabe que el volumen de la pasta es la suma del volumen del cemento y volumen de agua, después de varias sustituciones de fórmulas llegaremos a utilizar la fórmula 1, que determina el peso del cemento.

$$V_{pasta} = V_{cemento} + V_{agua}$$

$$V_{pasta} = \frac{W_{cem}}{Y_{cem}} + \frac{W_{agua}}{Y_{agua}}$$

$$V_{pasta} = \frac{W_{cem}}{Y_{cem}} + \frac{\frac{a}{c}(W_{cem})}{Y_{agua}}$$

$$W_{cem} = \frac{V_{pasta}}{\frac{1}{Y_{cem}} + \frac{\frac{a}{c}}{Y_{agua}}} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

$V_{pasta}$  : Volumen de la pasta

$V_{cemento}$  : Volumen del cemento

$V_{agua}$  : Volumen del agua

$W_{cem}$  : Peso del cemento

$W_{agua}$  : Peso del agua

$Y_{cem}$  : Peso específico del cemento

$Y_{agua}$  : Peso específico del agua

$\frac{a}{c}$  : Relacion agua cemento

**PASO 6: Determinar el peso de agregado fino y agregado grueso**

Establecido inicialmente el 10% de agregado fino (arena), por diferencia se establece que el 90% es agregado grueso (grava). Por ello para determinar las cantidades de ambos agregados, necesariamente se utilizó las siguientes formulas:

$$W_{arena} = W_{humedo} \times \% arena \dots\dots\dots (a)$$

$$W_{grava} = W_{humedo} \times (100\% - \%arena) \dots\dots\dots (b)$$



Dónde:

$W_{arena}$  : *Peso de agregado fino*

$W_{grava}$  : *Peso de agregado grueso*

$W_{humedo}$  : *Peso de agregado fino humedo*

% arena : *Porcentaje de agregado fino*

### **PASO 7: Determinar el contenido de cada material**

El último paso consta de determinar el contenido de cada material los cuales serán rellenos en la Tabla 3, además se podrá determinar el porcentaje de vacío contrastando con el porcentaje de vacío teórico determinada inicialmente, este se hallara restando  $1m^3$  (diseño de mezcla) con el volumen total de los materiales utilizados.

$$W_{arena} = W_{humedo} \times \% arena \dots \dots (a)$$

$$W_{grava} = W_{humedo} \times (100\% - \% arena) \dots \dots (b)$$

Dónde:

$V_{total}$  : *Volumen total de diseño ( $1m^3$ )*

$V_s$  : *Volumen total de materiales*

% vacios : *Porcentaje de vacios*

### **Elaboración de especímenes de concreto poroso**

El concreto permeable se hace individualmente para cada alternativa de diseño de mezcla, primero se coloca el agregado grueso y fino y se deja girar por un minuto en el trompo mezclador si utiliza con este equipo, se añade el cemento dejando girar por un minuto más, enseguida se adiciona las fibras sinteticas de acuerdo al diseño de mezcla y por último el agua, haciendo girar por dos minutos, a continuación, la mezcla se coloca en moldes previamente lubricas con petróleo para facilitar el desmoldado, el relleno de los moldes se hace en cuatro capas compactadas con 10 golpes por capa con pisón de una altura de caída de 305 mm distribuidos uniformemente en todo el área, la última capa se rellena con un exceso de 20 mm, y posterior a esto se procede a enrasar al tope del molde usando la barra compactadora, finalmente se envuelve los especímenes con plástico para iniciar el proceso de curado, así mismo se indica que previo a la elaboración de los especímenes se realiza la verificación el asentamiento convencional. (Quispe y Ticona, 2017).



### **Curado de especímenes**

Después de 24 horas el espécimen se desmolda e identifica; seguidamente se sumergen en agua, en pozas de curado por 7, 14 ó 28 días dependiendo de la edad que se desee ensayar el espécimen. Después de la extracción del espécimen de la poza de curado, se procede a realizar los ensayos de: contenido de vacío, resistencia a la compresión, resistencia a flexión, permeabilidad (Quispe y Ticona, 2017).

### **Ensayos del concreto poroso**

Los ensayos a realizarse en estado fresco: el asentamiento, peso unitario, contenido de vacío.

Así mismo en estado duro: el contenido de vacío, resistencia a la compresión, resistencia a flexión, permeabilidad (Quispe y Ticona, 2017).

#### **- En estado fresco**

##### **a) Ensayo de revenimiento**

Se realiza según la norma ASTM C143/C143M (2015) y NTP 339.035 (2009) en base a este método se humedece, el molde, la plancha, las herramientas a utilizar; enseguida se ubica la plancha metálica en una superficie plana colocando el molde en el centro y sujetando con los pies firmemente, luego se procede a llenar el molde con la mezcla del concreto permeable en tres capas, compactando cada capa con 25 golpes distribuidos uniformemente, después se procede a enrasar con la varilla dejando nivelada, así mismo removiendo el material excedente que se encuentra en su alrededor, finalmente se quita el molde en dirección vertical, colocando inmediatamente el molde al lado de la muestra para medir la parte superior del molde con el centro desplazado de la superficie de la muestra. (Quispe y Ticona, 2017).

##### **b) Ensayo de peso unitario y contenido de vacío fresco**

Se realiza según la norma ASTM C1688/C1688M (2008), en base a este método en primer lugar se humedece el interior del medidor, en seguida la mezcla de concreto permeable se coloca en dos capas por el alrededor del perímetro de la abertura, así mismo se compacta cada capa 20 veces con un martillo proctor estándar desde una altura de 305 mm, distribuyendo uniformemente de manera que la mezcla de concreto sea consolidado

homogéneamente, teniendo en cuenta que la última capa debe tener un exceso de 3 mm, finalmente se enrasa con la ayuda de una plancha metálica obteniendo una superficie nivelada para luego determinar el peso del recipiente con el concreto permeable.

- **En estado duro**

**a) Ensayo de Contenido de vacíos**

El ensayo del contenido de vacío se realiza según las especificaciones de la norma ASTM C642 (2013a) y NTP 339.046 (2008) en base a este método se coloca los especímenes en un horno de secado a una temperatura de 110°C durante 24 horas, después del tiempo previsto los especímenes se retiran del horno para dejar enfriar a una temperatura ambiente para luego determinar su masa, posteriormente estos especímenes se suspenden dentro del agua con un alambre y se determina su masa sumergida.

**Preparación y acondicionamiento de las probetas**

Las probetas deben presentar un volumen no menor a 350 cm<sup>3</sup> o una masa aproximada de 800g. Luego, se extrae un disco de 50 ± 3 mm de espesor de una probeta cilíndrica de concreto de 4” de diámetro por 8” de altura. Para lo cual se hizo un corte en el centro, y a uno de los nuevos cilindros hacemos otro corte para extraer la probeta de ensayo, los discos de los extremos son descartados. Para el caso de esta presente investigación, se ajustó los especímenes de concreto permeable lo más parecido a un disco con las medidas mencionadas, de las cuales se utilizaron a los diferentes tratamientos: 2 de concreto patrón, 2 con sustitución de 1% de PET, 2 con sustitución de 2% de PET y 2 con sustitución de 3% de PET.

**Procedimiento**

Se procede a secar los especímenes en la estufa a 110 °C por un periodo de 24 h, después se retira y deja dentro de un desecador para que enfríe (20 - 25 °C), seguidamente calculamos su masa (1era masa); volvemos a poner al horno por 24 h más y repetimos la secuencia hasta calcular la 2da masa. Si la variación de las masas es menor de 0.5% con respecto a la 1era masa, el último valor es la masa seca. En caso contrario; se repite la secuencia hasta



que la probeta cumpla con ese parámetro. El valor de masa seca se designa como: **A**.

Determinamos la masa por inmersión en agua, para ello ponemos las probetas sumergidos en agua en un recipiente por un tiempo de 48 h, calculamos su 1era masa, luego volvemos a poner en agua por 24 h más y calculamos la 2da masa, verificamos si cumplen los parámetros expuestos en el párrafo anterior. El último valor obtenido de masa saturada de superficie seca después de su inmersión en agua, se designa como: **B**.

Luego ponemos la probeta en un recipiente cubriendo con agua y la hacemos hervir por un periodo de 5 h, dejamos enfriar dentro del recipiente por un espacio no menor de 14 h hasta una temperatura entre 20 y 25 °C y calculamos la masa por ebullición. La masa saturada de superficie seca después de ebullición, se designa como: **C**.

Después de su inmersión en agua y ebullición, los especímenes se suspenden dentro del agua por un alambre y se determina su masa sumergida aparente, que se designa como: **D**

#### **Formula de porosidad o contenido de vacíos (C.V.)**

$$C.V. = \left( \frac{C - A}{C - D} \right) \times 100$$

Dónde:

*C.V. : Conenido de vacios*

*A: Masa de la probeta seca en el horno (g)*

*B: Masa de la probeta luego de inmersión en agua (g)*

*C: Masa de la probeta después de inmersión y ebullición en agua (g)*

*D: Masa aparente de la probeta después de inmersión y ebullición en agua (g)*

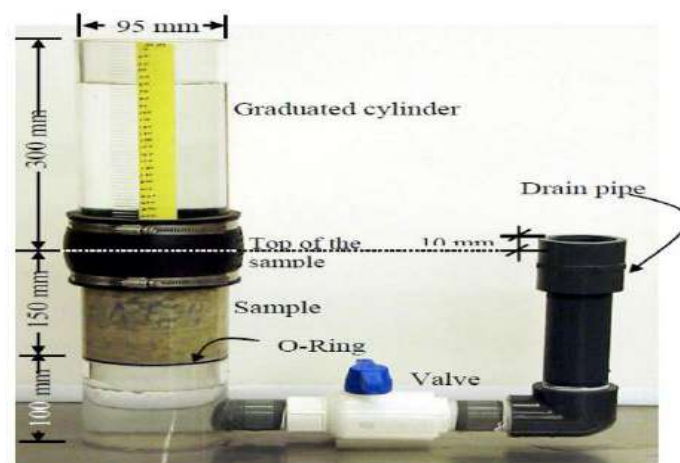
#### **b) Ensayo de resistencia a la compresión y flexión**

Los ensayos de resistencia a la compresión y flexion se realizan según la norma ASTM C39/C39M (2017), en los especímenes a 7, 14 y 28 días en una prensa hidráulica, con una capacidad de 50000 kg; durante el ensayo, se utiliza discos de neopreno contenido en la capsulas metálicas para mejorar su distribución de la carga, ya que la superficie de contacto de concreto permeable es bastante irregular.

**c) Ensayo de permeabilidad del concreto permeable**

El procedimiento se realiza según la recomendación de la norma ACI 522R (2010), esta norma propone utilizar un permeámetro de carga constante en donde se coloca el espécimen cilíndrico de concreto permeable. Se tomó como base el ensayo descrito por Neithalath, et al. (2003); que es básicamente envolver los especímenes con una membrana de látex e insertarlo en el permeámetro, uniendo el espécimen con abrazaderas y a su vez verificando su horizontalidad con la ayuda de un nivel de mano, después de la instalación, el circuito se abre permitiendo el paso del agua a través de su estructura saturándola y garantizando la salida del aire. A continuación, se cierra el circuito mediante la válvula, manteniendo el nivel de agua a una altura 20 cm enseguida se abre nuevamente la válvula, registrando el tiempo desde el momento que comienza la descarga hasta alcanzar la superficie superior de la muestra. El procedimiento se repite por tres veces para cada espécimen de prueba y se considera el tiempo medio; la permeabilidad se determina de acuerdo a la Ley de Darcy.

Para realizar este ensayo necesariamente se tuvo que fabricar un Permeámetro, su diseño estuvo en base al equipo modelo establecido en el ACI-522R-10, el cual manifiesta que la permeabilidad está dada por la ley de Darcy. Una de las características más importantes del hormigón permeable es su capacidad para filtrar agua a través de la matriz. La tasa de percolación del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacío de aire.



FUENTE: ACI 522R-10. Report on Pervious Concrete, 2010

**Figura 2 — Permeámetro de carga variable.**

### Ley de Darcy

$$K = \frac{L * A_M}{t * A_E} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Dónde:

$K$  : Coeficiente de permeabilidad ( $cm/s$ )

$L$  : Longitud de muestra ( $cm$ )

$A_M$  : Area de la muestra ( $cm^2$ )

$A_E$  : Area de tubería de carga ( $cm^2$ )

$t$  : Tiempo de descarga de  $h_1$  a  $h_2$  ( $s$ )

$h_1$  : Altura del agua, respecto al nivel de referencia ( $cm$ )

$h_2$  : Altura hasta descarga del agua, respecto al nivel de referencia ( $cm$ )

Las pruebas han demostrado que se requiere un contenido mínimo de vacío de aire de aproximadamente 15% para lograr una percolación significativa. Debido a que la tasa de percolación aumenta a medida que aumenta el contenido de vacío de aire, y, en consecuencia, la resistencia a la compresión disminuye, el desafío en la dosificación de la mezcla de concreto permeable es ajustarlo al mayor porcentaje de vacíos y a la vez hacerle llegar al concreto su máxima resistencia a la compresión.

### 3.2.2. Pavimentos

Según Vargas & Yataco, 2020 (tomado de Montejo, 2002), define que:

El pavimento consiste en varias capas dispuestas una sobre otra, las cuales se apoyan en el suelo de cimentación, a continuación se muestran algunos tipos de pavimentos:

#### a) Pavimentos flexibles

Según Vargas & Yataco, 2020 (tomado de Montejo, 2002) se dice que este tipo de pavimento está formado por dos capas de materiales no rígidos, conocidas como base y subbase, con una capa de asfalto bituminoso (asfalto) en la parte superior. Sin embargo, según los requisitos del proyecto, se puede omitir alguna de las capas no rígidas situadas debajo de la capa asfáltica. La carpeta asfáltica tiene menos rigidez, se altera más y traslada tensiones superiores a la sub-rasante.; toma la función de transmisor, distribuyendo la carga hasta obtener un nivel aceptable para la sub-rasante.

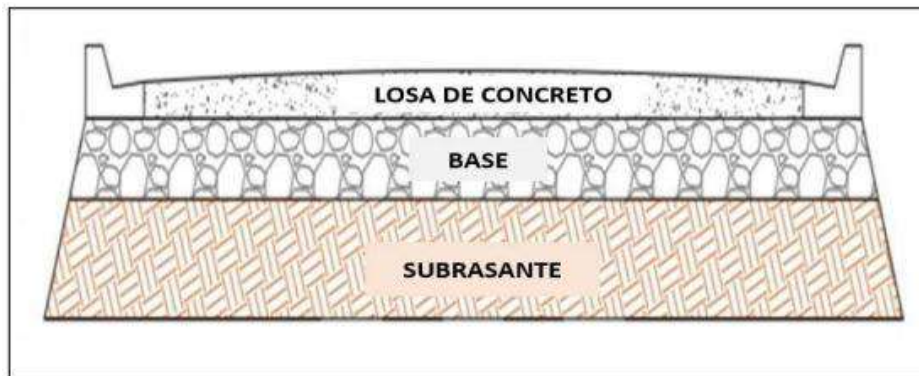


### b) Pavimentos semirrígidos

Según Vargas & Yataco, 2020 (tomado de Montejo, 2002) Indica que el pavimento semirrígido consiste en una base o subbase que ha sido endurecida de forma artificial.

### c) Pavimentos rígidos

Según Vargas & Yataco, 2020 (tomado de Montejo, 2002) afirman que el pavimento rígido está compuesto por una capa de concreto que se apoya sobre la base, y en algunas ocasiones, puede incluir una capa de subbase de material seleccionado (como se muestra en la Figura 5). Gracias a la alta rigidez y el elevado módulo de elasticidad de la losa de concreto, esta absorbe una parte significativa de los esfuerzos y distribuye la carga a lo largo de toda la superficie.



FUENTE: Magalhães N. Brasil: Sao Paulo, 2019

**Figura 3 — Perfil de un pavimento rígido.**

#### 3.2.2.1. Parámetros que influyen en el deterioro de pavimentos

Vargas & Yataco (2020) comentan que:

Los factores que influyen en el rendimiento de los pavimentos, son:

- a) Tráfico: Las causas incluyen la carga bruta y la presión de los neumáticos, las propiedades mecánicas del suelo de la base, los materiales del pavimento y la frecuencia o cantidad estimada de vehículos.
- b) Clima: Las causas abarcan la lluvia, los cambios bruscos de temperatura debido al congelamiento, la contracción y expansión por temperatura, así como las variaciones climáticas.
- c) Geometría del proyecto (Diseño Vial): Se consideran las características distintivas del suelo, las secciones de corte y relleno, y el conocimiento de los niveles de agua subterránea.

### 3.2.2.2. Componentes estructurales del pavimento rígido

Para Vargas & Yataco, 2020 (tomado de Montejo, 2002), “El pavimento consiste en un conjunto de elementos (ver la Figura 6) que permiten transferir las cargas desde la superficie hacia las capas inferiores”. Estos elementos son los siguientes:

a) Losa de concreto

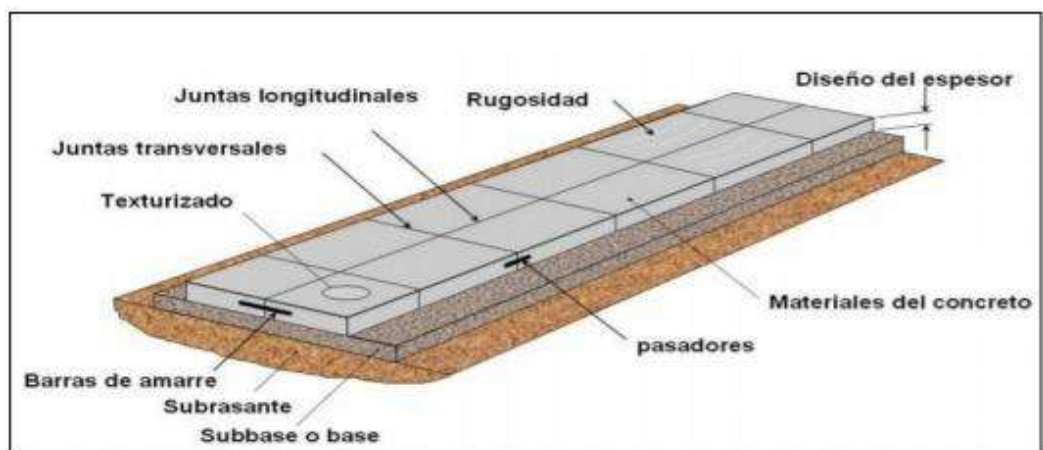
Vargas & Yataco (2020), afirma que la losa de concreto constituye la capa superior del pavimento rígido, distribuyendo los esfuerzos en función de su rigidez. Esto provoca que solo una pequeña parte de los esfuerzos se transmita a las capas inferiores, como la base, subbase y subrasante.

b) Base o Sub-base

Vargas & Yataco (2020), Se sostiene que la base o sub-base de un pavimento rígido absorbe solo una fracción mínima de los esfuerzos generados por las cargas vehiculares. Además, estas capas pueden servir como sistemas de drenaje para proteger la capa superior, regulando la acumulación de agua.

c) Sub-rasante

Vargas & Yataco (2020) afirman que la sub-rasante es la capa de suelo natural sobre la cual se asienta el pavimento. Su función es proporcionar la estabilidad necesaria al pavimento; además, el diseño del pavimento comienza con la sub-rasante porque es el suelo que sostiene toda la estructura del pavimento.



FUENTE: Silva, 2016

**Figura 4 — Partes del pavimento rígido**

### 3.2.3. Polímeros en el concreto (PC)

El término hormigón polimérico se refiere a una familia de productos, incluidas las mezclas de hormigón y mortero, la mejora de las propiedades del hormigón endurecido mediante la adición de polímeros está bien documentado (ACI, 2014).

Las ventajas de PC incluyen alta resistencia a la tracción y a la flexión, excelente adherencia, buena resistencia al ataque de productos químicos; adsorción de agua muy baja, agua alta resistencia, buena resistencia a la abrasión; buena estabilidad al congelamiento-descongelamiento y mayor resistencia. Las desventajas de la PC incluyen un módulo de Young bajo, valores de fluencia altos, contracción que varía con el polímero utilizado, sensibilidad a altas temperaturas y alto precio. Las principales áreas de aplicación de PC están en la fabricación de placas de fachada, productos sanitarios, paneles, baldosas, tuberías y pisos industriales. Se utiliza en diversas aplicaciones prefabricadas y fundidas en trabajos de construcción, superposiciones antideslizantes. En carreteras, yeso para paredes exteriores y repavimentación de estructuras deterioradas. Además, PC también se utiliza ampliamente como material de reparación, en particular para calzadas de hormigón, en todo el mundo hoy en día. (Bustamante, 2017).

#### **Hormigón modificado con polímeros (látex)**

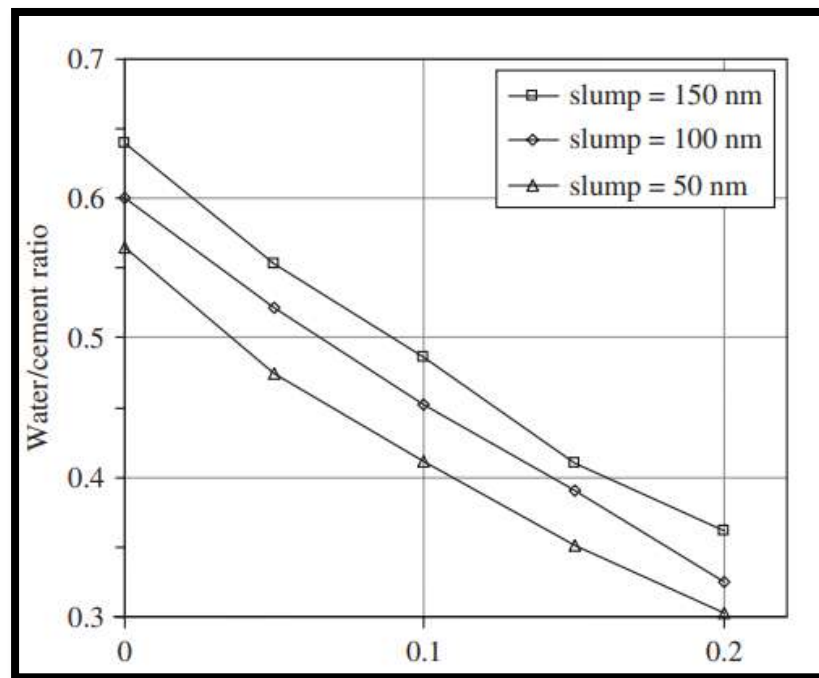
El concreto modificado con polímeros (generalmente látex) se produce agregando polímeros (látex) a un Portland mezcla de hormigón de cemento durante el proceso de mezclado. Los procedimientos de procesamiento son los mismos como hormigón de cemento Portland normal. Desde principios de la década de 1950, se sabe que ciertos Los polímeros se pueden agregar a los morteros cementosos, para superar algunos de los problemas de puro materiales de reparación a base de cemento. Los polímeros utilizados como aditivos para sistemas cementosos son normalmente se suministran en forma de látex y se utilizan para calibrar el mortero cementoso en su conjunto o como sustitución parcial del agua de amasado. Estos morteros proporcionan una pasivación alcalina similar protección al acero como lo hacen los materiales cementosos convencionales, y se puede colocar fácilmente en una sola aplicación con un espesor de 12 a 15 mm que proporciona una cubierta protectora adecuada. Fue mostrado (Bustamante, 2017).



**Tabla 7 – Consistencia del concreto en estado fresco**

Tipo de Látex	Acrónimo	Sólidos (%)	Viscosidad (cps)	MFFT (°C)	pH
Estireno - Butadieno	SB	47	20 - 50	12	10
Copolímeros acrílicos	PAE	47	20 - 100	10 - 12	9 - 10
Copolímeros acrílicos de estireno	SA	48	75 - 5000	10 - 18	6 - 9
Acetato de polivinilo	PVA	55	1000 - 2500	15	4 - 5

FUENTE: Bustamante I. Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua. Perú: Lima, 2017



FUENTE: Bustamante I. Perú: Lima, 2017

**Figura 5 — Trabajabilidad del hormigón con látex**

**Tabla 8 – Permeabilidad de diferentes tipos de hormigón.**

Índice de permeabilidad	Rango de pase (C)	Tipo de concreto
alto	>4000	Alto contenido de agua/cemento, convencional (>0.6) PCC.
moderado	2000 - 4000	Moderado contenido de agua/cemento, convencional (0.4 - 0.5) PCC.
bajo	1000 - 2000	Bajo contenido de agua/cemento, convencional (<0.4) PCC.
muy bajo	100 - 1000	Hormigón modificado con látex, hormigón sellado internamente.
despreciable	< 100	Hormigón impregnado con polímeros, hormigón polímero.

FUENTE: Bustamante I. Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua. Perú: Lima, 2017



**Tabla 9 – Permeabilidad de diferentes tipos de hormigón.**

	PC		LMC			PIC	
	Polyester	polimerizado (MMA)	Control		LMC Contiene estireno, butadieno, curado al aire	Control no impregnado	MMA polimerización catalítica térmica impregnada
	Polímero/Ag. Rango de 1:10	01:15	Curado húmedo	Curado al aire			
Resistencia a la compresión (MPa)	125	140	40	10	33	37	125
Resistencia a la tracción (MPa)	14	10	3.7	2.1	4.3	2.9	10
Resistencia a la flexión (MPa)	35	21	7.4	4.2	10	5.1	16
Módulo de elasticidad (GPa)	35	38	20	–	11	25	43

FUENTE: Bustamante I. Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua. Perú: Lima, 2017

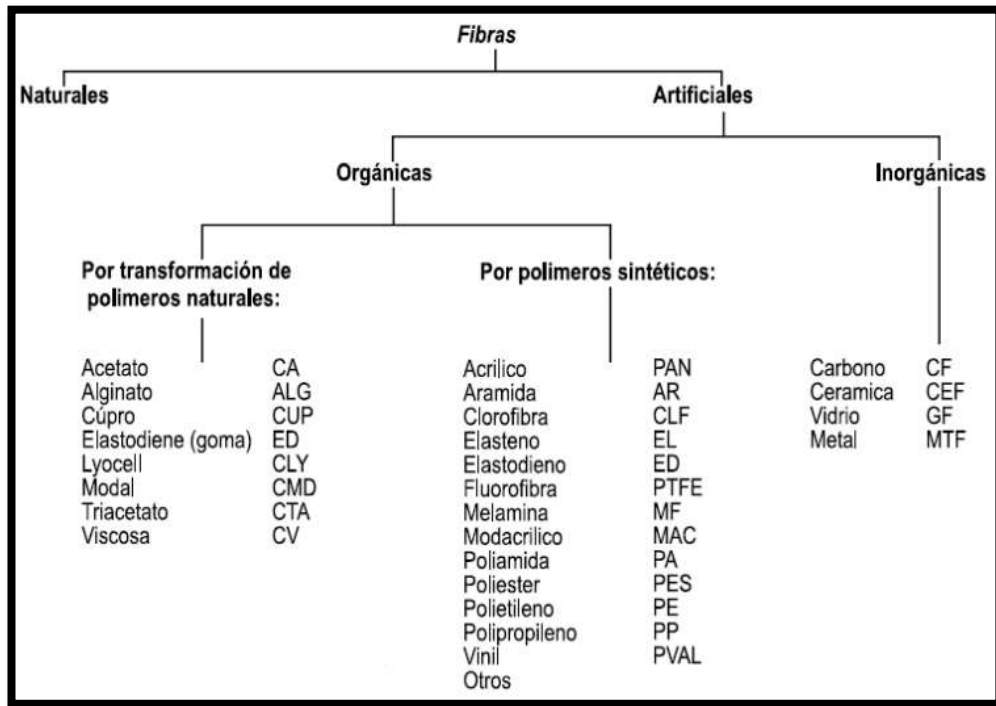
### 3.2.4. Fibras en concreto

Barros y Ramírez (2018) indican que las fibras adecuadas utilizadas para reforzar matrices de hormigón son fibras discontinuas, que pueden ser rígidas o flexibles, distribuidas de manera discreta y uniforme en la matriz para proporcionar al material isotropía y homogeneidad. La eficacia del refuerzo y la transmisión de tensiones por parte de las fibras dependen de varios factores, especialmente de la naturaleza, tipo y propiedades características de estas.

La tecnología de los compuestos basados en matrices de cemento reforzadas con fibras sintéticas está experimentando un rápido crecimiento en comparación con el área de tecnología de refuerzos con fibras de acero, gracias a la disponibilidad de una amplia gama de tipos de fibras y la obtención de compuestos mejorados en un amplio rango. Se ha observado que incluso con un contenido de fibras tan bajo como el 0.1% en volumen, se pueden obtener aplicaciones de mezclas que requieren control del sangrado, agrietamiento y contracción plástica, mientras que volúmenes entre el 0.4% y el 0.7% han demostrado proporcionar mejoras significativas en las propiedades, especialmente en el aumento de la tenacidad después del agrietamiento, con una distribución mejorada de las grietas y una reducción en su anchura (Comité ACI 544.1 R-96, 2018). Existen numerosos tipos de fibras disponibles tanto comercialmente como para uso experimental, y las categorías básicas incluyen fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y



fibras naturales (Comité ACI 544.1 R-96, 2018).

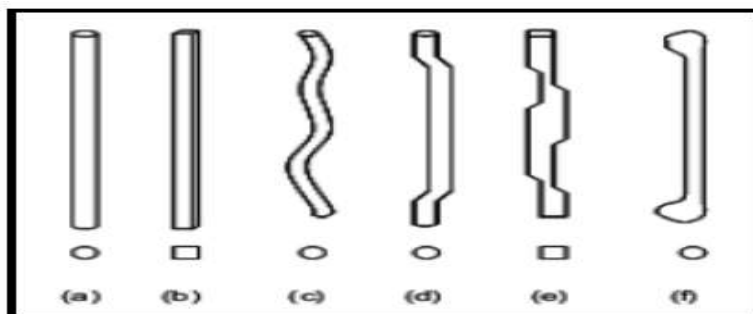


FUENTE: Montalvo M. Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales. 2017

**Figura 6 — Clasificación de fibras**

**Formas de las fibras en concreto**

Las fibras de refuerzo pueden presentar una amplia variedad de formas, que incluyen rectas, onduladas, corrugadas, con extremos conformados, dentadas, entre otras. Además, las secciones de estas fibras pueden ser diversas, como circulares, cuadradas, rectangulares y planas (Figura 11).



NOTA

Diferentes tipos de secciones de fibras PET

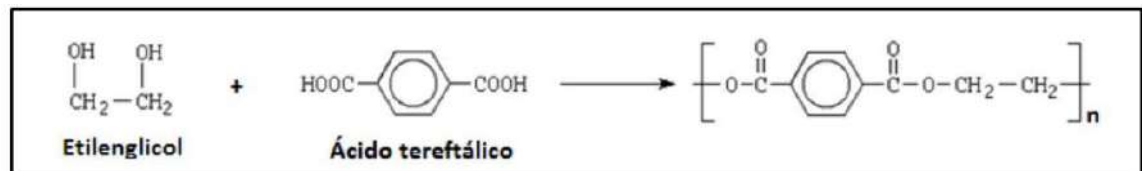
### Figura 7 — Forma de fibras

La forma de la sección transversal de las fibras está principalmente determinada por el material utilizado y el proceso de fabricación. Cuando se busca que las fibras funcionen en las microfisuras, se requiere una gran cantidad de fibras con un diámetro reducido. Para garantizar la trabajabilidad del material, se prefiere el uso de fibras cortas. En contraste, para controlar las macrofisuras, las fibras deben tener una longitud suficiente para anclarse adecuadamente en la matriz, aunque debido a consideraciones de trabajabilidad, las fibras largas se deben utilizar en proporciones menores que las cortas.

El incremento de la resistencia a la tracción y la ductilidad del material se logra mediante el uso de una alta proporción de fibras cortas. Por otro lado, para mejorar la capacidad resistente y la ductilidad de la estructura, se debe agregar una cantidad menor de fibras largas.

#### 3.2.5. Tereftalato de Polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno (PET), también conocido como tereftalato de etileno, es un poliéster termoplástico que se produce mediante la polimerización del ácido tereftálico y el etilenglicol (Figura 9). Estas resinas se pueden clasificar en resinas de baja o alta viscosidad. El PET de baja viscosidad generalmente tiene una viscosidad intrínseca de menos de 0.75, mientras que el PET de alta viscosidad típicamente tiene una viscosidad intrínseca de 0.9 o superior. Las resinas de baja viscosidad, a veces denominadas PET "básico", se utilizan a menudo en la industria textil. Pertenecen a la familia de polímeros aromáticos, son transparentes, de alta calidad y tienen propiedades de barrera al aire y la humedad, lo que los hace ampliamente utilizados en envases de bebidas (Castells & Jurado, 2018).



FUENTE: Arnáiz, N. Reciclaje de polímeros mediante la producción de materiales de alto valor añadido. España: Alicante, 2019

#### Figura 8 — Reacción de síntesis del polietilentereftalato (PET)

**Tabla 10 – Propiedades físicas y mecánicas del PET**

	<b>Propiedad</b>	<b>Índice</b>
<b>Física</b>	Absorción de agua (%)	<0.7
	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1.3 - 1.4
	Índice refractivo	1.58 - 1.64
	Inflamabilidad	Auto-extinguible
	Resistencia a los ultravioletas	Buena
<b>Mecánica</b>	Coefficiente de fricción	0.2 - 0.4
	Dureza-Rockwell	M94 - 101
	Resistencia a la compresión (Mpa)	76 - 128
	Resistencia a la tracción (Mpa)	190 - 160
	Resistencia al impacto (Jm <sup>-1</sup> )	13 - 35
FUENTE: Sánchez, Peña & Rico. Identificación de los usos actuales del PET. Colombia, 2018		

### Aplicaciones

Se emplean en una amplia gama de productos, tales como fibras para textiles, envases de bebidas y equipos fotográficos. Las resinas de alta viscosidad, también conocidas como PET "industrial" o "de alto denier", se utilizan en aplicaciones como cuerdas para neumáticos, cinturones de seguridad y otros productos similares. Los materiales de refuerzo proporcionan mejoras en las propiedades de un material compuesto, como el concreto, en comparación con los materiales individuales que lo componen, tales como resistencia, rigidez, dureza, capacidad para soportar altas temperaturas y conductividad. En el caso del concreto, es crucial que el material de refuerzo sea compatible con la matriz y pueda resistir el ataque de los productos de hidratación del cemento. Durante la última década, se han llevado a cabo investigaciones sobre el concreto reforzado con fibras y partículas de polímeros como polipropileno, poliestireno, PET y polietileno, con resultados muy satisfactorios (Bosco et al., 2018).

### Residuos de PET como refuerzo

Investigadores anteriores informaron una disminución en la trabajabilidad luego de agregar PET a la mezcla de concreto. Sin embargo, en un estudio se encontraron que la trabajabilidad del concreto permanece sin cambios para la mezcla que contiene 0.5% de fibra de PET como porcentaje volumétrico de la mezcla de



concreto en relación con el control y comenzó a disminuir a partir de entonces. Se estudió la adición de fibra de PET al hormigón como un porcentaje del volumen total (0–3 %) y notó que el asentamiento era inversamente proporcional al contenido de PET en la mezcla. Otros investigadores informaron hallazgos similares para las fibras de PET. Generalmente, la adición de PET como refuerzo aumenta la resistencia a la compresión del hormigón, aunque esta relación no siempre fue lineal. La mayoría de los investigadores informaron que, hasta una cierta cantidad de contenido de PET en la mezcla, la resistencia a la compresión aumentó y luego disminuyó con la adición adicional de PET. Maqbool and Sood, (2020) agregaron fibras de PET con una relación de aspecto de 35 al concreto como una fracción de volumen de cemento del 2% al 5% en la mezcla, y observaron un cambio en la resistencia a la compresión en relación con el control durante 7, 28 y 56 días. Informaron un aumento en la resistencia a la compresión en un promedio de 3 a 4 MPa en cada uno de los intervalos de tiempo, mostrando valores óptimos con un contenido de fibra del 3%. La adición adicional de fibras de PET dio como resultado una resistencia a la compresión reducida en comparación con el hormigón convencional. La reducción más allá de este porcentaje se atribuyó a la débil adherencia de las fibras a la matriz de hormigón. Algunos estudios han experimentado la adición de fibra de PET en una variedad de tamaños, texturas y formas. (Kumar et al, 2019)

### **Residuos de PET como sustitución**

(Frigione, 2018) Estudió el efecto de sustituir parcialmente los áridos finos en la mezcla de hormigón con un 5 % en peso de residuos de partículas de PET sin lavar, examinando los efectos sobre la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción. El tamaño de partícula de las partículas de arena y PET estaba en el rango de 300µm a 2,36 mm. Los resultados indicaron una ligera reducción en la resistencia a la compresión (no superior al 2 %) y la resistencia a la tracción dividida (en el rango de 1,6 a 2,4 %), sin cambios significativos en la trabajabilidad de las muestras que contenían residuos de PET como sustituto del 47 agregado fino. (Almeshal et al. 2020) investigó la trabajabilidad, el peso unitario y la resistencia a la compresión del hormigón que contenía residuos de PET triturado (0,075–4 mm) como un reemplazo parcial (10 %-50 %) de arena por volumen en la mezcla. Se encontró que el aumento del contenido de PET afectó negativamente la trabajabilidad de la mezcla, como lo demuestra un valor de asentamiento de 10 mm



para las muestras de concreto con 50 % de PET, por debajo de los 90 mm para las muestras de control. La reducción en la trabajabilidad se atribuyó a la menor densidad del agregado de PET en comparación con la arena convencional, teoría que se amplió para cubrir el desempeño de las muestras de concreto de PET en términos de resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión se correlacionó negativamente con el aumento del contenido de PET en la mezcla, disminuyendo en un 31 % y un 60 % en relación con el control para las mezclas de hormigón con un 40 % y un 50 % de PET, respectivamente. (Dawood et al. 2021) investigó las propiedades físicas y mecánicas del concreto que contiene residuos de PET triturado como reemplazo volumétrico parcial de agregados finos que oscilan entre el 5 % y el 20 %. Aunque el tamaño de los agregados finos y las fibras de PET era inferior a 4,75 mm, había una variación sustancial en su gradación (0-4,47 mm), con la mayoría de las fibras de PET en un rango de 2,36 mm a 1,18 mm, mientras que la arena se distribuía uniformemente. Observaron que la trabajabilidad del hormigón era inversamente proporcional al aumento de residuos de PET triturado en las muestras de hormigón, y que la muestra que contenía un 20 % de PET mostraba una disminución del 62,5 % en la trabajabilidad del hormigón en relación con el control, que se atribuía a la mayor superficie del material triturado. Partículas de residuos de PET en comparación con las partículas de arena.

### 3.3. Marco conceptual

#### a) Cantidad de vacíos o porosidad en concreto

La porosidad en el concreto se refiere a la cantidad y distribución de poros en su estructura. Estos poros pueden variar en tamaño y forma, y pueden estar llenos de aire o agua, dependiendo de las condiciones ambientales y de las propiedades del concreto (Ibrahim et al., 2016).

#### b) Concreto poroso

El "concreto poroso" es una mezcla que contiene cemento Portland, agregado grueso y fino, aditivo y agua. Esta combinación produce un material con poros interconectados que permiten el paso del agua. Los poros tienen un tamaño de 0.08 a 0.32 pulgadas (2 a 8 mm), y el contenido de poros puede variar entre el 15% y el 35% (Delatte, 2018).



**c) Esfuerzo**

El "esfuerzo en concreto" se refiere a las fuerzas internas o externas que actúan sobre una estructura o elemento de concreto. Estos esfuerzos pueden ser de diferentes tipos, como esfuerzos de compresión, tracción, flexión, corte y torsión. La capacidad del concreto para resistir estos esfuerzos depende de sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión (Quispe y Ticona, 2017).

**d) Fibras de tereftalato de polietileno (PET) reciclado**

Las fibras tereftalato de polietileno reciclado sirven para poder reforzar el concreto permeable, son filamentos de plásticos PET, tan pequeños y a la vez visibles para ser dispersados al azar dentro del concreto permeable usando métodos de mezcla tradicionales (Castells & Jurado, 2018).

**e) Fibras en concreto**

Las fibras de refuerzo en el concreto son elementos cortos y delgados que se agregan a la mezcla de concreto para mejorar sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Estas fibras pueden ser de diferentes materiales, como acero, vidrio, polipropileno, carbono, entre otros. Se utilizan en una variedad de aplicaciones de construcción para proporcionar refuerzo adicional en el concreto y mejorar su capacidad para resistir cargas, impactos, fisuras y otros tipos de daños. (Barros y Ramírez, 2018).

**f) Permeabilidad**

La permeabilidad en el concreto se refiere a su capacidad para permitir el paso de líquidos, como el agua, a través de su estructura. La medida de la permeabilidad es crucial en muchas aplicaciones de concreto, especialmente en aquellas en las que se requiere controlar el paso del agua, como en proyectos de construcción de infraestructuras, pavimentos y estructuras expuestas a ambientes húmedos o agresivos (Bustamante, 2017).

**g) Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es una medida de la capacidad de un material para resistir fuerzas de compresión, es decir, la tendencia del material a reducir su volumen cuando se le aplica una carga externa. En el contexto del concreto, la resistencia a la compresión se refiere a la capacidad del concreto para resistir cargas que tienden a aplastarlo o comprimirlo (Quispe y Ticona, 2017).



**h) Resistencia a flexión**

La resistencia a la flexión es otra propiedad importante del concreto que se refiere a su capacidad para resistir la deformación bajo carga de flexión, es decir, la capacidad de resistir fuerzas que tienden a doblarlo o curvarlo. Esta propiedad es esencial en aplicaciones donde el concreto está sujeto a cargas que provocan flexión, como vigas, losas y elementos estructurales similares (Quispe y Ticona, 2017).

**i) Sustitución de Residuos PET en concreto**

Es un proceso mediante el cual se utilizan desechos de botellas de plástico PET (tereftalato de polietileno) como un agregado parcial o total en la producción de concreto. Esto implica triturar y procesar las botellas de plástico para obtener partículas de tamaño adecuado que puedan ser incorporadas en la mezcla de concreto durante su fabricación (Frigione, 2018).

**j) Velocidad de flujo**

La "velocidad de flujo en concreto" se refiere a la velocidad a la que un fluido, como agua o aire, puede pasar a través de una estructura de concreto. Esta propiedad está relacionada con la permeabilidad del concreto y puede variar dependiendo de factores como la relación agua-cemento, el tipo y tamaño de los agregados, la compactación y el curado del concreto, entre otros (Bustamante, 2017).

## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

### 4.1. Tipo y nivel de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, porque permite resolver un problema y está dentro de los estudios experimentales (Hernández y Mendoza, 2018). Para esta investigación se evalúa el comportamiento de las fibras de tereftalato de polietileno en las propiedades del concreto permeable.

Es de nivel descriptivo porque se recopiló datos de ambas variables, esto para poder probar la hipótesis, el propósito fundamental fue describir sistemáticamente los hechos y características de los especímenes (concreto permeable con sustitución de PET).

Según Hernández y Mendoza (2018), el nivel de investigación descriptiva se basa en describir las características de un fenómeno o una población de estudio. Este tipo de investigación busca especificar las propiedades importantes del objeto de estudio, y no se enfoca en explicar las causas o los efectos, sino en detallar las características y eventos que se observan. El objetivo principal es recolectar información detallada que permita describir adecuadamente la situación o fenómeno estudiado.

### 4.2. Diseño de investigación

Para el presente trabajo de investigación se estableció que el diseño es experimental del tipo cuasi-experimental (experimental) debido a que se administran intencionalmente estímulos, tratamientos o intervenciones y es del tipo cuasi-experimental por que se implementan con grupos intactos (Hernández y Mendoza, 2018). La investigación manifiesta un grupo de control o grupo intacto (grupo sin sustitución de PET reciclado) y grupos de estudios que lo llamamos grupos experimentales (los que han sido sustituido con PET reciclado), dentro de los cuales su elaboración exigió una serie de parámetros y condiciones a seguir (diseño de mezcla, dimensiones de briqueta, N° de Huso utilizado, etc.), además cabe indicar que el diseño de la investigación se utilizó repetitivamente para cada objetivo planteado: resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad. El rotulo o denotación de los grupos se vio necesaria de realizar, esto para poder diferenciarlos entre sí, los cuales se muestran a

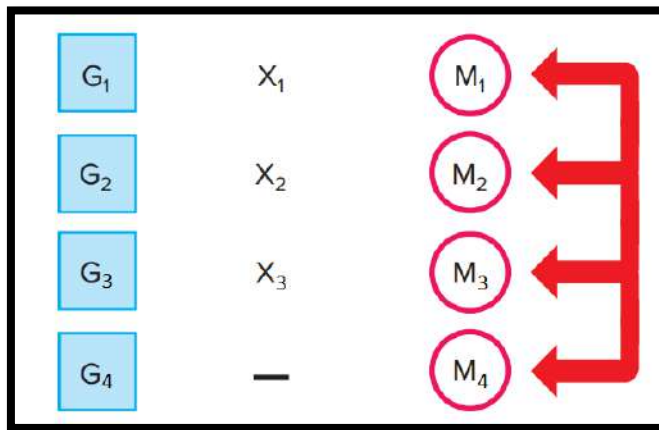


continuación:

**Tabla 11 — Grupos experimentales y de control, para la resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad.**

Grupo	Denotación	Tratamiento	Post Prueba
Grupo experimental 1	G <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>
Grupo experimental 2	G <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>
Grupo experimental 3	G <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>
Grupo de control	G <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>	M <sub>4</sub>

NOTA  
Solo se realizaron 4 grupos en total, con sus respectivos tratamientos y post pruebas.



**Figura 9 — Diseño de investigación para la resistencia a la compresión**

Dónde:

X<sub>1</sub>: Tratamiento con sustitución de 1% de PET.

X<sub>2</sub>: Tratamiento con sustitución de 2% de PET.

X<sub>3</sub>: Tratamiento con sustitución de 3% de PET.

- : Ausencia de PET.

M<sub>1, 2, 3, 4</sub>: Post prueba, indica los resultados de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto poroso a diferentes edades.

### 4.3. Población y muestra

#### 4.3.1. Población

Población es el conjunto finito o infinito de elementos con una o más características comunes que son objeto de estudio (Hernández y Mendoza, 2018). La población considerada para este estudio son probetas permeables: cilíndricas (72 unidades) y prismáticas (24 unidades), diseñadas: sin la sustitución de PET (grupo de control), y con la sustitución de 1% de PET, 2% de PET y 3% de PET (grupos experimentales),



se tomó esta cantidad en base a una intencionalidad traducida a costos y antecedentes, tal como indica Suri (2011), “la población intencional o dirigida se refiere a un grupo seleccionado deliberadamente por el investigador en función de criterios específicos y relevantes para el estudio. Se elige por su capacidad para proporcionar información rica y pertinente, en lugar de representar a toda la población. Este tipo de selección se basa en el juicio del investigador sobre qué elementos serán más útiles para cumplir con los objetivos de la investigación”.

#### 4.3.2. Muestra

Utilizamos muestras consideradas censales debido a que uso el 100% de la población, por lo tanto el número es manejable y propicio para la investigación, tal y como afirma Hernández y Mendoza (2018): “La llamada muestra censal es aquella en que todos los elementos de la población son incluidos en el estudio, lo que significa que no se realiza una selección o aleatorización de muestras, sino que se estudia a cada individuo o elemento de la población en su totalidad.”.

Las muestras utilizadas para cada objetivo planteado se establecen a continuación:

- **Para la resistencia a la compresión**

**Grupo Experimental 1 (G<sub>1</sub>):** 18 probetas cilíndricas de concreto permeable de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla con sustitución de 1% de PET.

**Grupo Experimental 2 (G<sub>2</sub>):** 18 probetas cilíndricas de concreto permeable de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla con sustitución de 2% de PET.

**Grupo Experimental 3 (G<sub>3</sub>):** 18 probetas cilíndricas de concreto permeable de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla con sustitución de 3% de PET.

**Grupo de control 4 (G<sub>4</sub>):** 18 probetas cilíndricas de concreto permeable de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla sin la sustitución de PET.



Tabla 12 — Grupo de briquetas cilíndricas de concreto poroso Huso N° 8

	Tratamientos	Especímen	Dimensiones	Edades de ensayo			Total de muestras
				7 días	14 días	28 días	
<b>Grupo control (G<sub>4</sub>)</b>	Concreto patrón	Briquetas cilíndricas	Diámetro: 4" altura: 8"	6 und	6 und	6 und	18
<b>Grupo Experimental 1 (G<sub>1</sub>)</b>	Sustitución de 1% de PET	Briquetas cilíndricas	Diámetro: 4" altura: 8"	6 und	6 und	6 und	18
<b>Grupo Experimental 2 (G<sub>2</sub>)</b>	Sustitución de 2% de PET	Briquetas cilíndricas	Diámetro: 4" altura: 8"	6 und	6 und	6 und	18
<b>Grupo Experimental 3 (G<sub>3</sub>)</b>	Sustitución de 3% de PET	Briquetas cilíndricas	Diámetro: 4" altura: 8"	6 und	6 und	6 und	18
<b>Total de observaciones</b>							<b>72</b>

Tabla 13 — Códigos de muestra de los grupos experimentales y de control, para la resistencia a compresión

	<b>Grupo Experimental 1 G<sub>1</sub></b>	<b>Grupo Experimental 2 G<sub>2</sub></b>	<b>Grupo Experimental 3 G<sub>3</sub></b>	<b>Grupo Control G<sub>4</sub></b>
Edad de ensayo	Código de muestra	Código de muestra	Código de muestra	Código de muestra
7 días	C1%PET-7-A	C3%PET-7-A	C3%PET-7-A	CP-7-A
	C1%PET-7-B	C3%PET-7-B	C3%PET-7-B	CP-7-B
	C1%PET-7-C	C3%PET-7-C	C3%PET-7-C	CP-7-C
	C1%PET-7-D	C3%PET-7-D	C3%PET-7-D	CP-7-D
	C1%PET-7-E	C3%PET-7-E	C3%PET-7-E	CP-7-E
	C1%PET-7-F	C3%PET-7-F	C3%PET-7-F	CP-7-F
14 días	C1%PET-14-A	C3%PET-14-A	C3%PET-14-A	CP-14-A
	C1%PET-14-B	C3%PET-14-B	C3%PET-14-B	CP-14-B
	C1%PET-14-C	C3%PET-14-C	C3%PET-14-C	CP-14-C
	C1%PET-14-D	C3%PET-14-D	C3%PET-14-D	CP-14-D
	C1%PET-14-E	C3%PET-14-E	C3%PET-14-E	CP-14-E
	C1%PET-14-F	C3%PET-14-F	C3%PET-14-F	CP-14-F
28 días	C1%PET-28-A	C3%PET-28-A	C3%PET-28-A	CP-28-A
	C1%PET-28-B	C3%PET-28-B	C3%PET-28-B	CP-28-B
	C1%PET-28-C	C3%PET-28-C	C3%PET-28-C	CP-28-C
	C1%PET-28-D	C3%PET-28-D	C3%PET-28-D	CP-28-D
	C1%PET-28-E	C3%PET-28-E	C3%PET-28-E	CP-28-E
	C1%PET-28-F	C3%PET-28-F	C3%PET-28-F	CP-28-F

- **Para la resistencia a flexión**

**Grupo Experimental 1 (G<sub>1</sub>):** 4 probetas prismáticas de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla con sustitución de 1% de PET.

**Grupo Experimental 2 (G<sub>2</sub>):** 4 probetas prismáticas de concreto permeable de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla con sustitución de 2% de



PET.

**Grupo Experimental 3 (G<sub>3</sub>):** 4 probetas prismáticas de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla con sustitución de 3% de PET.

**Grupo de control 4 (G<sub>4</sub>):** 4 probetas prismáticas de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla sin la sustitución de PET.

**Tabla 14 — Grupos para briquetas primaticas de concreto poroso Huso N° 8**

	Tratamientos	Espécimen	Dimensiones	Edades de ensayo			Total de muestras
				7 días	14 días	28 días	
<b>Grupo control (G<sub>4</sub>)</b>	Concreto patrón	Briquetas prismáticas	Largo: 22" área: 6"x6"	-	-	6 und	6
<b>Grupo Experimental 1 (G<sub>1</sub>)</b>	Sustitución de 1% de PET	Briquetas prismáticas	Largo: 22" área: 6"x6"	-	-	6 und	6
<b>Grupo Experimental 1 (G<sub>2</sub>)</b>	Sustitución de 2% de PET	Briquetas prismáticas	Largo: 22" área: 6"x6"	-	-	6 und	6
<b>Grupo Experimental 1 (G<sub>3</sub>)</b>	Sustitución de 3% de PET	Briquetas prismáticas	Largo: 22" área: 6"x6"	-	-	6 und	6
<b>Total de observaciones</b>							<b>24</b>

**Tabla 15 — Códigos de muestra de los grupos experimentales y de control, para la resistencia a flexión**

	<b>Grupo Experimental 1 G<sub>1</sub></b>	<b>Grupo Experimental 2 G<sub>2</sub></b>	<b>Grupo Experimental 3 G<sub>3</sub></b>	<b>Grupo Control G<sub>4</sub></b>
Edad de ensayo	Código de muestra	Código de muestra	Código de muestra	Código de muestra
28 días	CV1%PET-28-A	CV2%PET-28-A	CV3%PET-28-A	CP-V-28-A
	CV1%PET-28-B	CV2%PET-28-B	CV3%PET-28-B	CP-V-28-B
	CV1%PET-28-C	CV2%PET-28-C	CV3%PET-28-C	CP-V-28-C
	CV1%PET-28-D	CV2%PET-28-D	CV3%PET-28-D	CP-V-28-D
	CV1%PET-28-E	CV2%PET-28-E	CV3%PET-28-E	CP-V-28-E
	CV1%PET-28-F	CV2%PET-28-F	CV3%PET-28-F	CP-V-28-F

- **Para la permeabilidad**

Se utilizó 01 probeta cilíndrica de concreto permeable para cada grupo experimental, el ensayo se hizo por sextuplicado (seis repeticiones).

**Grupo Experimental 1 (G<sub>1</sub>):** 01 probeta cilíndrica de concreto de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla con sustitución de 1% de PET.

**Grupo Experimental 2 (G<sub>2</sub>):** 01 probeta cilíndrica de concreto de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla con sustitución de 2% de PET.

**Grupo Experimental 3 (G<sub>3</sub>):** 01 probeta cilíndrica de concreto de 4” de diámetro



y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla con sustitución de 3% de PET.

**Grupo de control 4 (G<sub>4</sub>):** 01 probeta cilíndrica de concreto de 4” de diámetro y 8” de altura, elaborados con un diseño de mezcla sin sustitución de PET.

**Tabla 16 — Grupos para briquetas cilíndricas de concreto poroso Huso N° 8**

	Tratamientos	Espécimen	Dimensiones	Edades de ensayo			Total de muestras
				7 días	14 días	28 días	
<b>Grupo control (G<sub>4</sub>)</b>	Concreto patrón	Briquetas cilíndricas	Diámetro: 4" altura: 8"	-	-	6 und	6
<b>Grupo Experimental 1 (G<sub>1</sub>)</b>	Sustitución de 1% de PET	Briquetas cilíndricas	Diámetro: 4" altura: 8"	-	-	6 und	6
<b>Grupo Experimental 2 (G<sub>2</sub>)</b>	Sustitución de 2% de PET	Briquetas cilíndricas	Diámetro: 4" altura: 8"	-	-	6 und	6
<b>Grupo Experimental 3 (G<sub>3</sub>)</b>	Sustitución de 3% de PET	Briquetas cilíndricas	Diámetro: 4" altura: 8"	-	-	6 und	6
<b>Total de observaciones</b>							<b>24</b>

**Tabla 17 — Códigos de repeticiones de los grupos experimentales y de control, para la permeabilidad**

	<b>Grupo experimental 1 G<sub>1</sub></b>	<b>Grupo experimental 2 G<sub>2</sub></b>	<b>Grupo experimental 3 G<sub>3</sub></b>	<b>Grupo Control G<sub>4</sub></b>
Código de muestra	PC-1%PET	PC-2%PET	PC3%PET	PC-0%PET
N° de repeticiones	6	6	6	6
Códigos de repeticiones	PC-1%PET-A	PC-2%PET-A	PC3%PET-A	PC-0%PET-A
	PC-1%PET-B	PC-2%PET-B	PC3%PET-B	PC-0%PET-B
	PC-1%PET-C	PC-2%PET-C	PC3%PET-C	PC-0%PET-C
	PC-1%PET-D	PC-2%PET-D	PC3%PET-D	PC-0%PET-D
	PC-1%PET-E	PC-2%PET-E	PC3%PET-E	PC-0%PET-E
	PC-1%PET-F	PC-2%PET-F	PC3%PET-F	PC-0%PET-F

#### 4.3.2.1. Método de muestreo

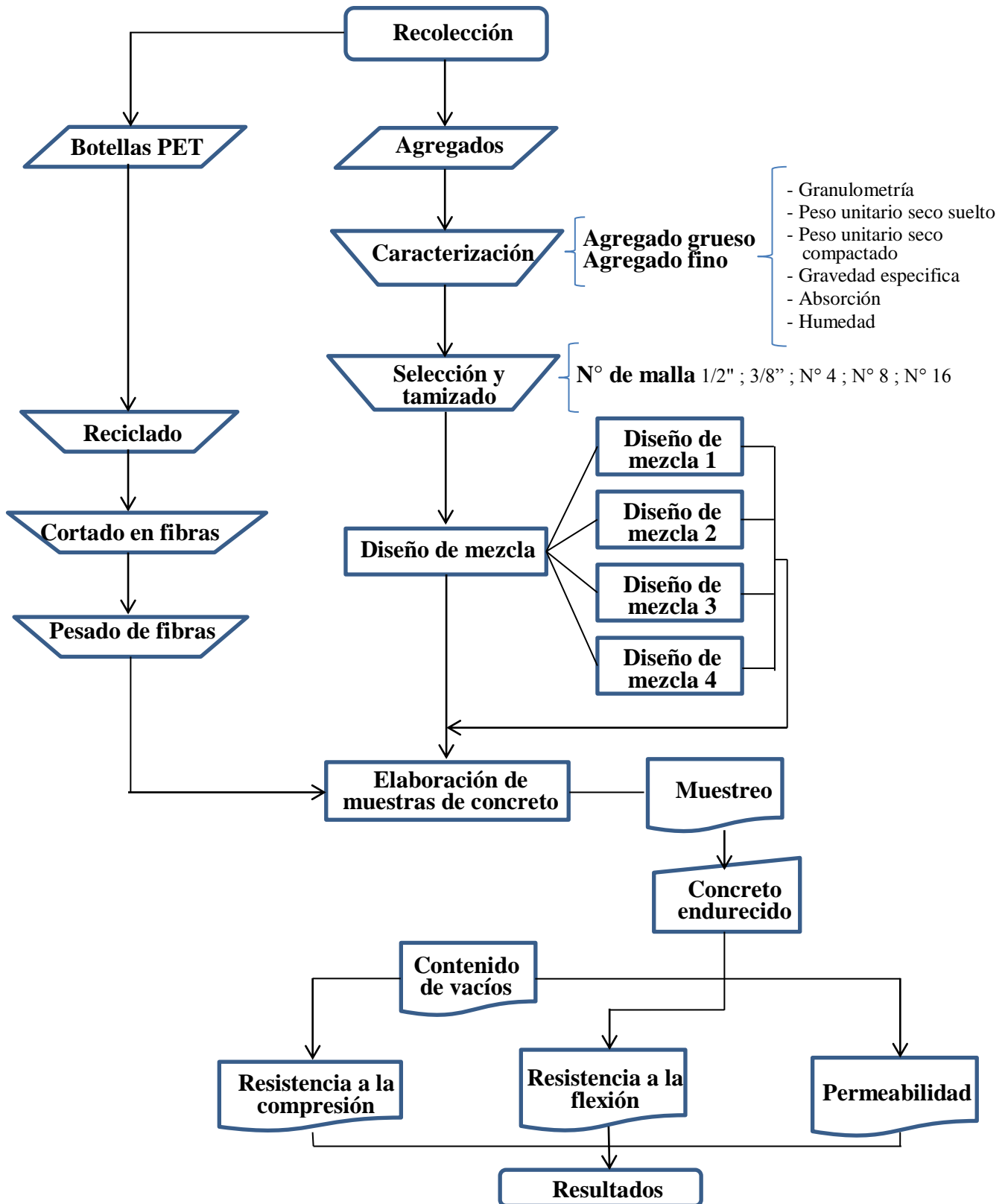
Para la presente investigación se utilizó un muestreo intencional o dirigido, este método selecciona las muestras basándose en su propio criterio del investigador, generalmente con el objetivo de obtener información de casos que se consideran más representativos o informativos para el estudio.

#### 4.4. Procedimiento

Todas las etapas de la experimentación se basaron de acuerdo al diagrama de procedimiento detallado en la Figura 10, el cual se empezó con la recolección de agregados para luego hacer



su caracterización, seguido se procedió a tamizarlo y seleccionarlo de acuerdo al tamaño del agregado, todo esto con el fin de realizar el diseño de mezcla para concretos poroso, luego se procedió a elaborar las muestras para seguidamente continuar con los respectivos ensayos y finalmente se terminó haciendo el análisis de los resultados.



## Figura 10 — Diagrama de procedimiento de la investigación

### 4.5. Técnicas e instrumentos

#### 4.5.1. Técnicas

La técnica utilizada para este estudio es la observación, el cual nos ayudará a la recolección de datos e información, consecuentemente se utilizara los sentidos y la lógica para tener un análisis más detallados acerca de los resultados para llegar a una conclusión final, de acuerdo a las variables utilizadas en esta investigación: el comportamiento de la sustitución de PET en las propiedades del concreto ecológico se harán visibles gracias a la recolección de datos por la sección instrumental. Según Hernández y Mendoza (2018) la observación es sistemática y registra los comportamientos, situaciones o fenómenos en su entorno natural, puede ser participativa (el investigador participa activamente en la situación) o no participativa (el investigador observa sin interferir). También indica que la observación tiene dos acepciones; la primera tiene relación con la técnica de investigación, la obtención de información del objeto de estudio se da gracias a la participación de la observación en los procedimientos, usando los sentidos con criterio lógico relacional de los hechos; y la segunda indica, como instrumento de investigación el cual detalla que el empleo se da de manera sistemática, esto para recolectar toda la información posible a través de los pasos (principios) del método científico, siempre acercándose a lo valido y confiable de los datos obtenidos.

#### 4.5.2. Instrumentos

Para la obtención de resultados veraces se optó por utilizar algunos formatos manuales con un alto grado de confianza (según valoración del test de expertos), con el fin del recojo de datos e información y también se optó el uso de algunos instrumentos de laboratorio que fueron necesarios para la determinación de resultados óptimos, se detallan a continuación:

##### Formatos Manuales

- Formato N° 1: “Resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable a diferentes edades”.
- Formato N° 2: “Permeabilidad del concreto poroso”.



**Tabla 18 — Validadores instrumentales**

N°	Experto	Especialidad	Grado Académico	Veredicto
1	Jinner Bravo Apaza	Ingeniero Civil	Magister	Es aplicable
2	Edwin Meza Tintaya	Ingeniero Civil	Magister	Es aplicable
3	Victor Hugo Sarmiento Casavilca	Metodólogo	Magister	Es aplicable
4	Wilson John Mollocondo Flores	Estadístico	Doctor	Es aplicable

De acuerdo a la valoración instrumental y según la baremación de los datos obtenidos (ANEXO 4) el coeficiente de confiabilidad de Alfa de Cronbach es de 0.897 resultando ser una validez buena, en consecuencia se valida el instrumento de investigación.

## 4.6. Análisis estadístico

### 4.6.1. La estadística

La estadística es una herramienta fundamental en el proceso de investigación. La estadística se utiliza para organizar, resumir, analizar e interpretar los datos recolectados durante un estudio de investigación. Además, permite tomar decisiones basadas en evidencia y generalizar los resultados de la muestra a la población de interés. Abarca dos campos fundamentales la Estadística Descriptiva y la Estadística Inferencial (Hernández y Mendoza, 2018).

La estadística descriptiva se utiliza para resumir y describir los datos utilizando medidas como promedios, medianas, desviaciones estándar y gráficos. Estas medidas proporcionan una comprensión básica de la distribución de los datos y sus características principales (Hernández y Mendoza, 2018).

#### 4.6.1.1. Conceptos elementales

##### Descripciones numéricas

Las descripciones numéricas tienen por objetivo resumir la información de un conjunto de datos, principalmente numéricos, los que resaltan la media, la moda y la mediana (Córdova, 2016).



### La media ( $\bar{X}$ )

Dentro de una distribución de datos la media aritmética es el valor alrededor del cual los otros valores se concentran (o se distribuyen), es decir, un valor de referencia para un conjunto de datos analizados. La media de un conjunto de datos se interpreta como el punto de equilibrio de todos los datos analizados o valores de una distribución (Córdova, 2016).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}$$

Dónde:

$\bar{x}$ : *Media o promedio*

$x_n$ : *enesima muestra*

$n$  : *Tamaño de muestra*

### Medidas de dispersión

Son aquellas cantidades miden el grado de dispersión de un conjunto de datos numéricos. Se considera un valor central como punto de referencia para la mayoría de las medidas (Córdova, 2016). Las medidas de dispersión más conocidas son la varianza, desviación estándar, desviación media, frecuencias, momentos, rangos, etc.

### Varianza ( $S^2$ )

Se define como el promedio de la distancia al cuadrado de cada uno de los datos  $x_i$  respecto de la media  $\bar{x}$ , es una de las medidas de dispersión generalmente usadas (Córdova, 2016). Su fórmula es la siguiente.

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

Dónde:

$S^2$ : *Varianza*

$\bar{x}$ : *Media o promedio*

$n$  : *Tamaño de muestra*

### Desviación estándar (S)

También conocida como desviación típica, es la raíz cuadrada positiva de la varianza, la cual se denota por la letra s, (Córdova, 2016).



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

Dónde:

*S*: Desviación estandar

$\bar{x}$ : Media o promedio

*n* : Tamaño de muestra

*n* – 1 : Grados de Libertad

Por otro lado, la estadística inferencial se utiliza para hacer inferencias o generalizaciones sobre una población a partir de una muestra. Esto se logra mediante la aplicación de técnicas como la estimación de parámetros y las pruebas de hipótesis. La estadística inferencial permite determinar si las diferencias observadas entre grupos son estadísticamente significativas o si son el resultado del azar (Hernández y Mendoza, 2018).

Esta investigación se basó en la estadística inferencial, según (Nolberto y Ponce, 2017) afirman sobre la estadística inferencial: “Su estudio se concentra en el comportamiento así como las propiedades de muestras, con la posibilidad de limitar y de generalizar los resultados obtenidos a partir de aquellas a las poblaciones que representan. La generalización es de tipo inductivo, por ello tiene que basarse en la probabilidad. Otros lo llaman Estadística Matemática, por lo complejo de las matemáticas en relación con la Estadística Descriptiva. Su objeto es de generalizar las propiedades de la población bajo estudio, basándose en resultados de una muestra representativa de la población”.

La estadística paramétrica contempla una parte de la estadística que al exigir determinados requisitos emplea en la inferencia estadística, su uso se basa en la prueba de normalidad, asumiendo que las muestras aleatorias que se extraen de poblaciones estén normalmente distribuidas o aproximadas (Nolberto y Ponce, 2017).

### **Prueba de Hipótesis**

La afirmación o conjetura en referencia a parámetro(s) de una o más población(es) se llama hipótesis estadística. La prueba de una hipótesis estadística se basa en la busca de evidencias, esto para poder decidir sobre si se rechaza o no la afirmación formulada.

En la prueba de hipótesis la verdad con respecto a la decisión tomada de rechazar o no la afirmación realizada solo se puede conocer al estudiar a toda la población. Es por



ello, que las pruebas realizadas se debe comprender que el rechazo de una afirmación basada en una realización da por hecho que a partir de los datos obtenidos no existan evidencias para hacerlo (Nolberto y Ponce, 2017).

**a) Nivel de significancia**

El nivel de significancia  $\alpha$  se conceptualiza como la máxima probabilidad de especificación, cuya finalidad es de minimizar el error de tipo I. Por lo general, primero se fija la probabilidad y después se escoge la muestra (Wasserman, 2020).

**b) Tipos de errores en una prueba de hipótesis**

Existe dos tipos de errores, las del tipo I: cuando se rechaza la hipótesis nula (verdadera) y la del tipo II: cuando no se rechaza la hipótesis nula (falsa) (Gutierrez y Vladimirovna, 2016).

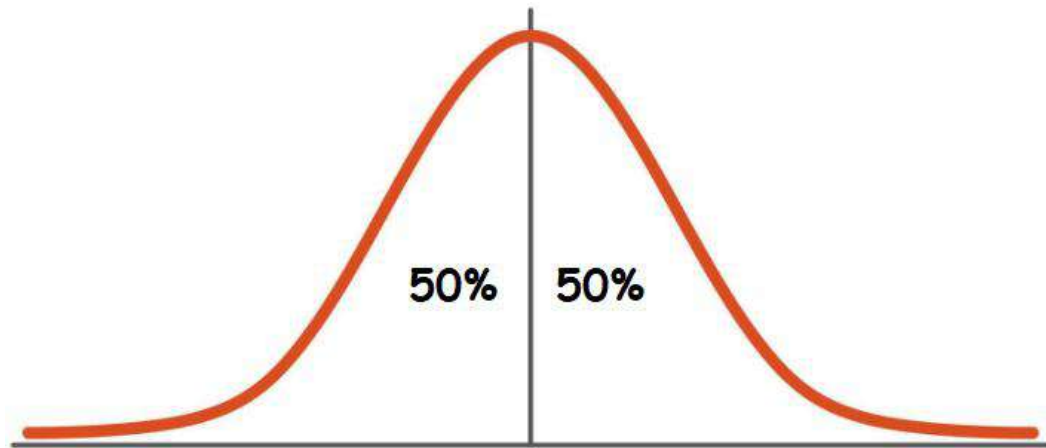
**c) Análisis de datos**

Para poder realizar la prueba de hipótesis para variables cuantitativas como es el caso de esta investigación necesariamente se tuvo que usar la estadística paramétrica, el cual detalla que dentro de los requisitos es la de tener variables cuantitativas que posean una distribución normal, para el cual se tendrá que hacer las pruebas de normalidad y si ha de ser necesario se deberán realizar la homocedasticidad. La diferencia de muestras independientes necesariamente tendrá que utilizarse los estadísticos T de Student o ANOVA (Wasserman, 2020).

**d) Normalidad**

Llamada también distribución Gaussiana o distribución de Gauss, es aquella distribución de probabilidad para variables continuas para variables continuas que aparecen con más frecuencias en los fenómenos naturales. La grafica de su función de densidad tiene la forma de una campana, Esta curva se conoce como campana de Gauss. La mayoría de los datos o registros se encuentra en la parte central por ello se llama unimodal, tiene una media el cual representa simetría para ambos lados, además la curva gaussiana nunca llega a tocar la eje de las abscisas (Montgomery y Runger, 2018), tal como se muestra en la figura 11.

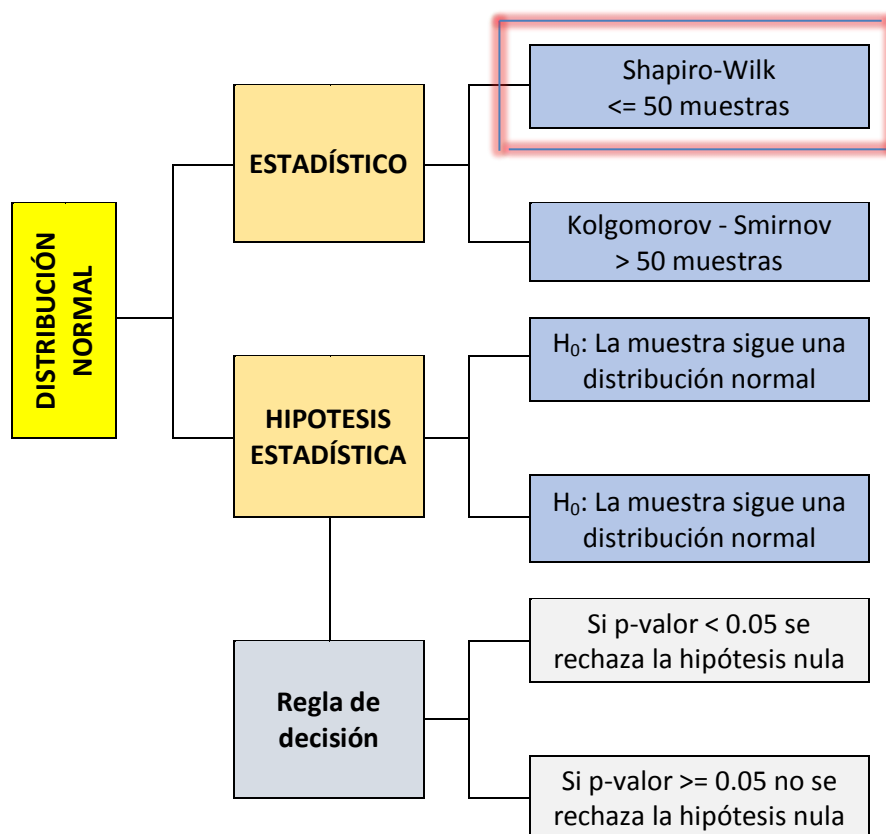




**Figura 11 — Campana de Gauss.**

Para poder probar la normalidad de una población se deberá seguir una serie de criterios que de detalla a continuación:

- Se plantea hipótesis de normalidad de las varianzas poblacionales.  
 $H_0$ : La variable en análisis proviene de una distribución normal  
 $H_1$ : La variable en análisis no proviene de una distribución normal
- El nivel de significancia se asume como  $\alpha = 0.05$
- Para contrastar el supuesto de normalidad para tamaño de muestra menor a 50 usamos la prueba de Shapiro-Wilk.
- Regla de decisión.  
Si **p-valor**  $\geq 0.05$  se acepta  $H_0$ .  
Si **p-valor**  $< 0.05$  se rechaza  $H_0$ .



FUENTE: Nolberto y Ponce. Estadística Inferencial Aplicada. Lima, 2017

**Figura 12 — Esquema de criterios de una distribución normal**

**e) Análisis de varianza**

Para la estadística, el análisis de la Varianza, que el acrónimo en inglés es el ANOVA, es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza es la clave para encontrar diferencias entre grupos (Montgomery y Runger, 2018).

- **Análisis de varianza de un factor**

El análisis de varianza de un factor, es una prueba paramétrica que permite corroborar la diferencia de medias sobre mediciones a una misma unidad de análisis, pero siempre en cuando la cantidad de grupos sea igual a tres o mayores a esta cantidad, los cuales tienen que ser independientes entre sí (Montgomery y Runger, 2018). Aplicadas a variables cuantitativas (razón), que tengan distribución normal, varianzas homogéneas y que las muestras sean aleatorias.

La secuencia para probar el ANOVA de un factor, el cual indique la igualdad o



diferencia de grupos, se define a continuación:

1) Se define las hipótesis nula y alterna:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ ;  $H_1$ : al menos una de las medias es diferente de las demás.

2) El nivel de significancia se acepta con un valor de:  $\alpha = 0.05$

3) Para contrastar la hipótesis usamos el análisis de varianza de un factor.

4) Las reglas de decisión se dan mediante:

Si **p-valor**  $\geq 0.05$  se acepta  $H_0$ ; Si **p-valor**  $< 0.05$  se rechaza  $H_0$ .

- **Pruebas post hoc**

Las pruebas post hoc es un procedimiento posterior al ANOVA, se utiliza para determinar las diferencias entre los grupos de estudio, se resuelve después de realizar la prueba de hipótesis (utilizada con el ANOVA de un factor) rechazándose la hipótesis nula en la regla de decisión. Si los grupos de estudio resultan tener valores homogéneos se procede a utilizar las pruebas tukey (Montgomery y Runger, 2018).

Para una investigación aplicada y experimental (exactamente el cuasi experimental) como es el caso de este estudio necesariamente se determinó la media de distribución de datos, la varianza, así como también la desviación estándar, esto para tener un análisis más certero en referencia de nuestros objetivos. También se vio necesario el uso del software IBM SPSS Statistics, básicamente con el fin de poder contrastar nuestras hipótesis planteadas, con ello se pudo determinar algunos análisis como las pruebas de normalidad, ANOVA, y las pruebas post hoc.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. Análisis de resultados

##### 5.1.1. Análisis de resultados complementarios de la investigación

##### 5.1.1.1. Análisis granulométrico de cantera

Después de la recolección del agregado grueso se procedió a realizar el respectivo análisis granulométrico, en el laboratorio de suelos, concreto y pavimentos LUNIX INGENIEROS, obteniendo tamizados como muestra la tabla 19 y demostrando que el agregado no cumplía con las características para un concreto permeable HUSO N° 8, tal cual nos muestra la Figura 14.



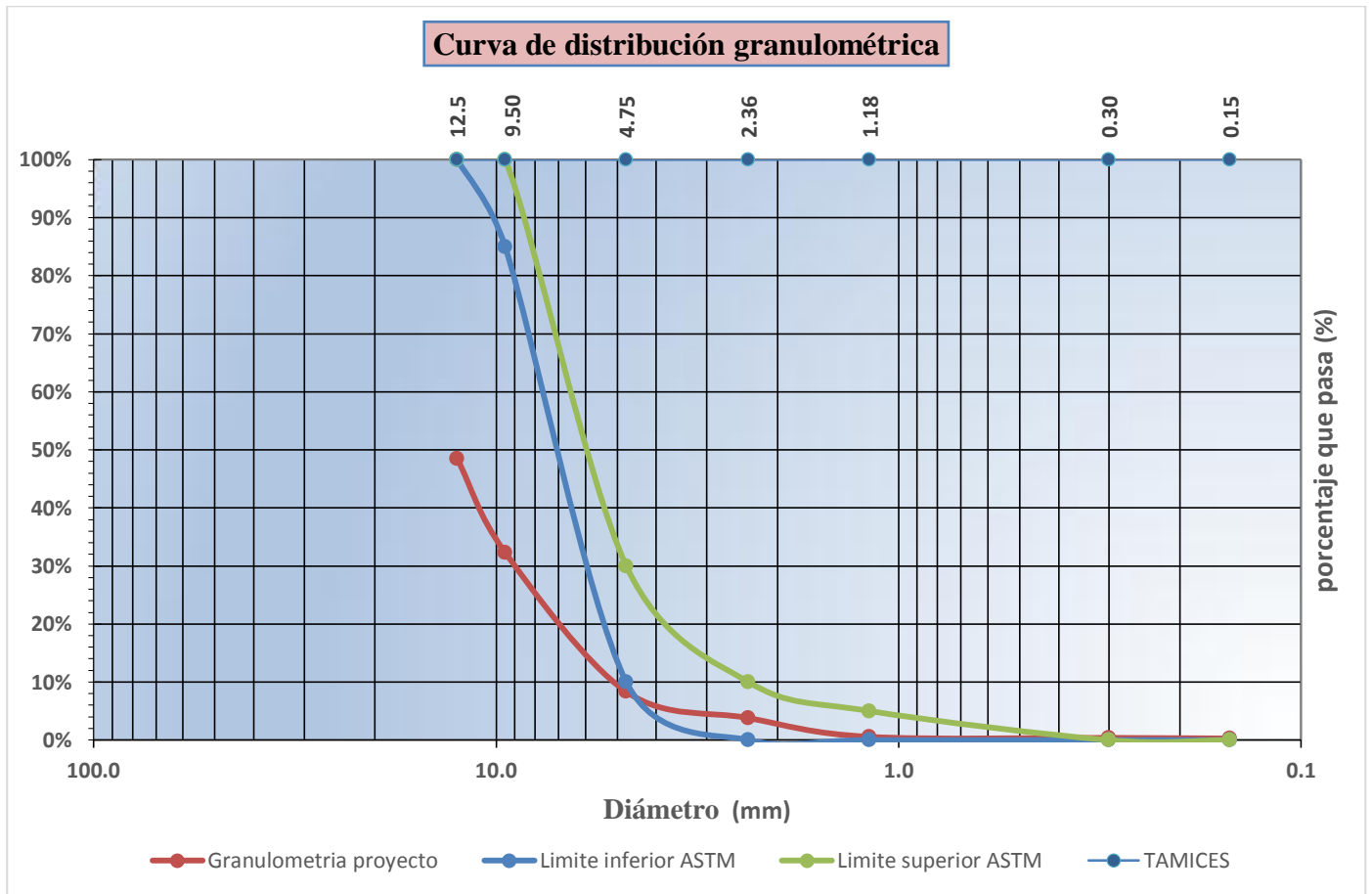
**Figura 13 — Análisis granulométrico de cantera.**

La Figura 14 detalla la curva granulométrica, en el cual la línea de color rojo expresa la distribución del agregado recolectado en los diferentes tamaños de tamiz, y demostrando no estar dentro del parámetro establecido por el Huso N° 8 (línea azul y verde), es así que se descartó dicho material para luego

ajustarlo (tamizarlo) en el parámetro establecido Huso N° 8.

**Tabla 19 – Resultados del tamizado del agregado de cantera**

Tamaño del tamiz		Peso retenido (g)	Retenido parcial	Retenido acumulado	Acumulado que pasa	Descripción de la muestra
mm	Pulg					
12.5	1/2"	2329.80	51.50%	51.50%	48.50%	<b>Tamaño máx. : 1/2"</b> <b>Peso total (g): 4523.50</b> <b>Módulo de finura: 7.06</b>
9.50	3/8"	731.60	16.17%	67.68%	32.32%	
4.75	No 4	1084.90	23.98%	91.66%	8.34%	
2.36	No 8	205.50	4.54%	96.20%	3.80%	
1.18	No 16	146.50	3.24%	99.44%	0.56%	
0.30	No 50	7.90	0.17%	99.62%	0.38%	
0.15	No 100	4.80	0.11%	99.72%	0.28%	
0.075	No 200	3.10	0.07%	99.79%	0.21%	
<No. 200	Cacerola	9.40	0.21%	100.00%	0.00%	



**Figura 14 — Curva granulométrica del agregado de cantera para Huso N° 8**

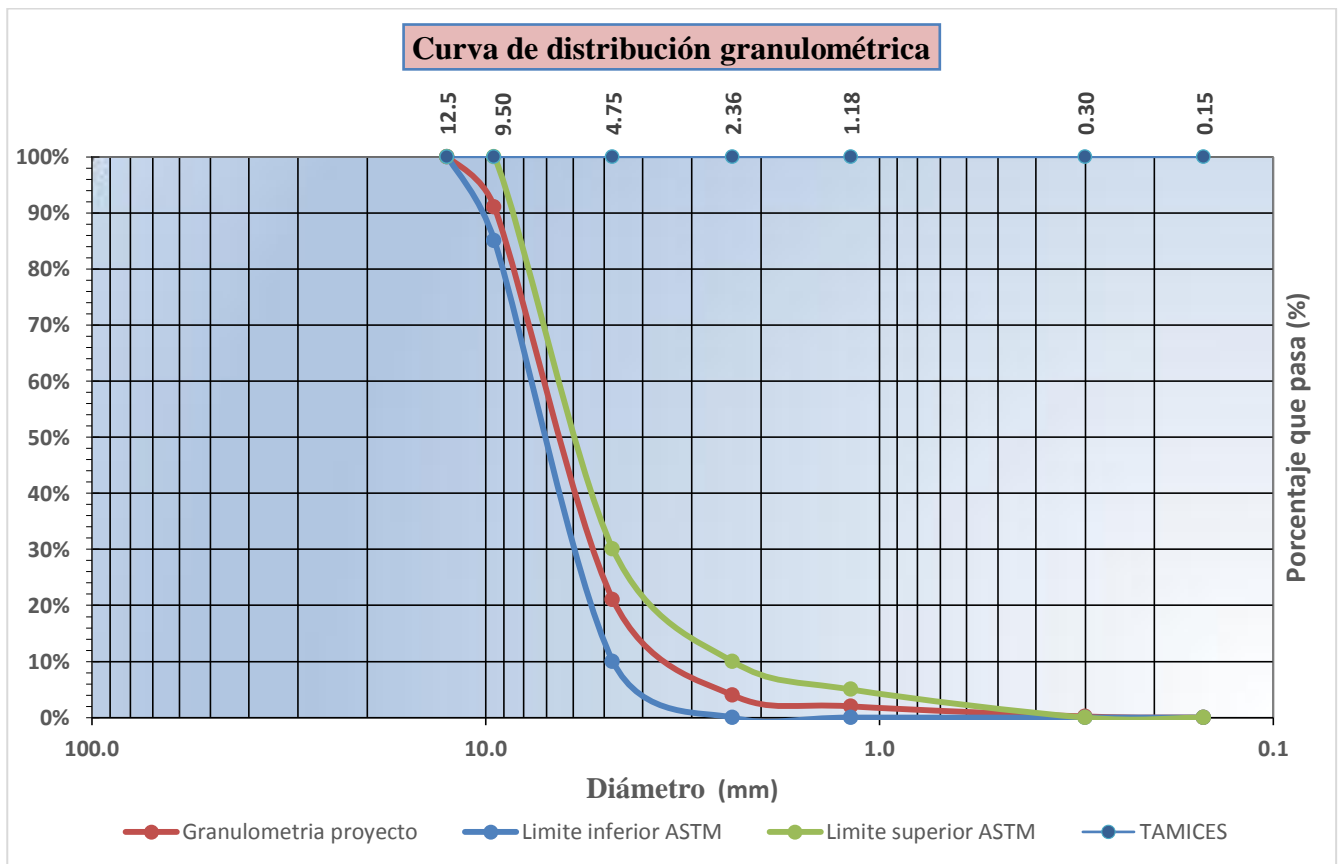
**5.1.1.2. Análisis granulométrico de agregado para concreto permeable**

De acuerdo al análisis granulométrico de cantera realizado inicialmente se estableció que el agregado no cumplía con el tamizado requerido (Figura 14) para elaborar concreto permeable, es por ello que en el análisis

granulométrico para concreto permeable se propuso determinar proporciones que estén de acuerdo a los parámetros establecidos por el HUSO N°8, es decir: se simulo proporciones para 1000 gramos de muestra y que los tamizados estén dentro de los límites establecidos para el respectivo Huso (tal cual muestra la figura 15). La tabla 20, nos muestra de mejor manera el tamizado del agregado grueso que se establecieron para esta investigación, el cual esta traducido en la figura 15.

**Tabla 20 – Tamizado ajustado para agregado que utilice el Huso N° 8**

Tamaño del tamiz		Peso retenido (g)	Retenido parcial	Retenido acumulado	Acumulado que pasa	Descripción de la muestra
mm	Pulg					
12.5	1/2"	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	<b>Tamaño máx. : No 4</b> <b>Peso total (g): 1000.00</b> <b>Módulo de finura: 5.82</b>
9.50	3/8"	90.00	9.00%	9.00%	91.00%	
4.75	No 4	700.00	70.00%	79.00%	21.00%	
2.36	No 8	170.00	17.00%	96.00%	4.00%	
1.18	No 16	20.00	2.00%	98.00%	2.00%	
0.30	No 50	18.00	1.80%	99.80%	0.20%	
0.15	No 100	2.00	0.20%	100.00%	0.00%	
0.075	No 200	0.00	0.00%	100.00%	0.00%	
<No. 200	Cacerola	0.00	0.00%	100.00%	0.00%	



**Figura 15 — Curva granulométrica del agregado para Huso N° 8**



### 5.1.1.3. Diseño de mezcla

El diseño de mezcla se hizo siempre siguiendo a lo establecido por el ACI 522 R-10 adecuado para concreto permeable Huso N° 8, es necesario indicar que la cantidad de PET se determinó en base al cemento diseñado en el concreto patrón (sustituciones) con valores de 1%, 2% y 3%.

**Tabla 21 — Diseño de mezcla para grupo de control (concreto patrón)**

Diseño de mezcla de concreto permeable según ACI 522 R-10		Lote de prueba para 1m <sup>3</sup> de concreto permeable		
<b>Datos del diseño de mezcla para concreto permeable</b>	$a/c = 0.33$ $TMN = 3/8$ → HUSO # 8 RESISTENCIA REQUERIDA : 210Kg/cm <sup>2</sup>	<b>Materiales</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
		Cemento	392.62	0.125
		Agua	129.56	0.130
		A. grueso	1373.32	0.543
<b>Rangos según ACI 522</b>	% FINOS = 0%, 10%, 20% → 10% $a/c = 0,26 - 0.34$ → 0,33 % vacios recomendable debe ser mayor a 15% → 16% vacios teórico Agregados 1/2" a N° 100 (12.5 a 0,15 mm)	A. fino	152.59	0.057
		PET	0.00	0.000
		<b>TOTAL</b>	2048.10	0.856
		$\%vacios = \frac{V_{total} - V_s}{V_{total}} \times 100$		14.43%

La tabla 21 muestra el diseño de mezcla para concreto permeable (Huso N° 8) sin la adición de PET (concreto patrón), este fue la base con el cual se diseñaron las otras 3 mezclas, resalta que la relación agua cemento es de 0.33, el TMN = 3/8", se utilizó el 10% de finos y el % de vacíos se aproxima al 16% teórico.

**Tabla 22 — Diseño de mezcla para grupo experimental 1 (sustitución de 1% de PET)**

Diseño de mezcla de concreto permeable según ACI 522 R-10		Lote de prueba para 1m <sup>3</sup> de concreto permeable		
<b>Datos del diseño de mezcla para concreto permeable</b>	$a/c = 0.33$ $TMN = 3/8$ → HUSO # 8 RESISTENCIA REQUERIDA : 210Kg/cm <sup>2</sup>	<b>Materiales</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
		Cemento	392.62	0.125
		Agua	129.56	0.130
		A. grueso	1373.32	0.543
<b>Rangos según ACI 522</b>	% FINOS = 0%, 10%, 20% → 10% $a/c = 0,26 - 0.34$ → 0,33 % vacios recomendable debe ser mayor a 15% → 16% vacios teórico Agregados 1/2" a N° 100 (12.5 a 0,15 mm)	A. fino	152.59	0.057
		PET	3.93	0.003
		<b>TOTAL</b>	2052.02	0.859
		$\%vacios = \frac{V_{total} - V_s}{V_{total}} \times 100$		14.14%



La tabla 22 muestra el diseño de mezcla para concreto permeable (Huso N° 8) con sustitución de 1% de PET, la cantidad de PET a utilizarse fue de 3.93 Kg/m<sup>3</sup> de concreto, que represento el 1% del peso de cemento. Los datos del diseño son congruentes con los que se diseñó para el concreto patrón.

**Tabla 23 – Diseño de mezcla para grupo experimental 2 (sustitución de 2% de PET)**

Diseño de mezcla de concreto permeable según ACI 522 R-10		Lote de prueba para 1m <sup>3</sup> de concreto permeable		
Datos del diseño de mezcla para concreto permeable	$a/c = 0.33$ TMN = 3/8 " → HUSO # 8 RESISTENCIA REQUERIDA : 210Kg/cm <sup>2</sup>	Materiales	Peso (Kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )
		Cemento	392.62	0.125
		Agua	129.56	0.130
Rangos según ACI 522	% FINOS = 0%, 10%, 20% → 10% $a/c = 0,26 - 0.34$ → 0,33 % vacios recomendable debe ser mayor a 15% → 16% vacios teórico Agregados 1/2" a N°100 (12.5 a 0,15 mm)	A. grueso	1373.32	0.543
		A. fino	152.59	0.057
		PET	7.85	0.006
		<b>TOTAL</b>	2055.95	0.861
		$\%vacios = \frac{V_{total} - V_s}{V_{total}} \times 100$		13.86%

La tabla 23 muestra el diseño de mezcla para concreto permeable (Huso N° 8) con sustitución de 2% de PET, la cantidad de PET a utilizarse fue de 7.85 Kg/m<sup>3</sup> de concreto, que representó el 2% del peso de cemento. Los datos del diseño son congruentes con los que se diseñó para el concreto patrón.

**Tabla 24 – Diseño de mezcla para grupo experimental 3 (sustitución de 3% de PET)**

Diseño de mezcla de concreto permeable según ACI 522 R-10		Lote de prueba para 1m <sup>3</sup> de concreto permeable		
Datos del diseño de mezcla para concreto permeable	$a/c = 0.33$ TMN = 3/8 " → HUSO # 8 RESISTENCIA REQUERIDA : 210Kg/cm <sup>2</sup>	Materiales	Peso (Kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )
		Cemento	380.84	0.121
		Agua	129.56	0.130
Rangos según ACI 522	% FINOS = 0%, 10%, 20% → 10% $a/c = 0,26 - 0.34$ → 0,33 % vacios recomendable debe ser mayor a 15% → 16% vacios teórico Agregados 1/2" a N°100 (12.5 a 0,15 mm)	A. grueso	1373.32	0.543
		A. fino	152.59	0.057
		PET	11.78	0.009
		<b>TOTAL</b>	2059.87	0.860
		$\%vacios = \frac{V_{total} - V_s}{V_{total}} \times 100$		14.000%



La tabla 24 muestra el diseño de mezcla para concreto permeable (Huso N° 8) con sustitución de 3% de PET, la cantidad de PET a utilizarse fue de 11.78 Kg/m<sup>3</sup> de concreto, que represento el 3% del peso de cemento. Los datos del diseño son congruentes con los que se diseñó para el concreto patrón, las cantidades de los otros materiales varían en un mínimo.

**5.1.1.4. Contenido de vacíos**

**Tabla 25 – Contenido de vacíos a diferentes tratamientos**

Diseño de mezcla	Número de muestra	Contenido de vacíos (%)	Media (%)	Desviación estándar	Límite máximo	Límite mínimo
Concreto patrón (28 días)	1	14.884	15.095	0.389	15.5	14.7
	2	15.625				
	3	15.273				
	4	14.596				
Concreto + 1% PET (28 días)	5	15.028	15.306	0.603	15.9	14.7
	6	16.299				
	7	15.212				
	8	14.687				
Concreto + 2% PET (28 días)	9	16.210	16.051	0.738	16.8	15.3
	10	15.110				
	11	17.136				
	12	15.749				
Concreto + 3% PET (28 días)	13	17.769	17.332	0.306	17.6	17.0
	14	16.965				
	15	17.450				
	16	17.144				

La tabla 25 muestra el contenido de vacíos para todos los diseños del concreto permeable (Huso N° 8), demostrando en la comparación de medias, que el diseño de mezcla con sustitución de 3% de PET tiene más contenido de vacíos (17.33%), seguido del diseño con la sustitución de 2% (16.05%) y 1% (15.30%) de PET , y el que tiene menos contenido de vacíos es del diseño de mezcla sin la sustitución de PET (concreto patrón) (15.09%). La figura 16 detalla de mejor manera y gráficamente el comparativo de todas las medias de los contenidos de vacíos para todos los diseños.



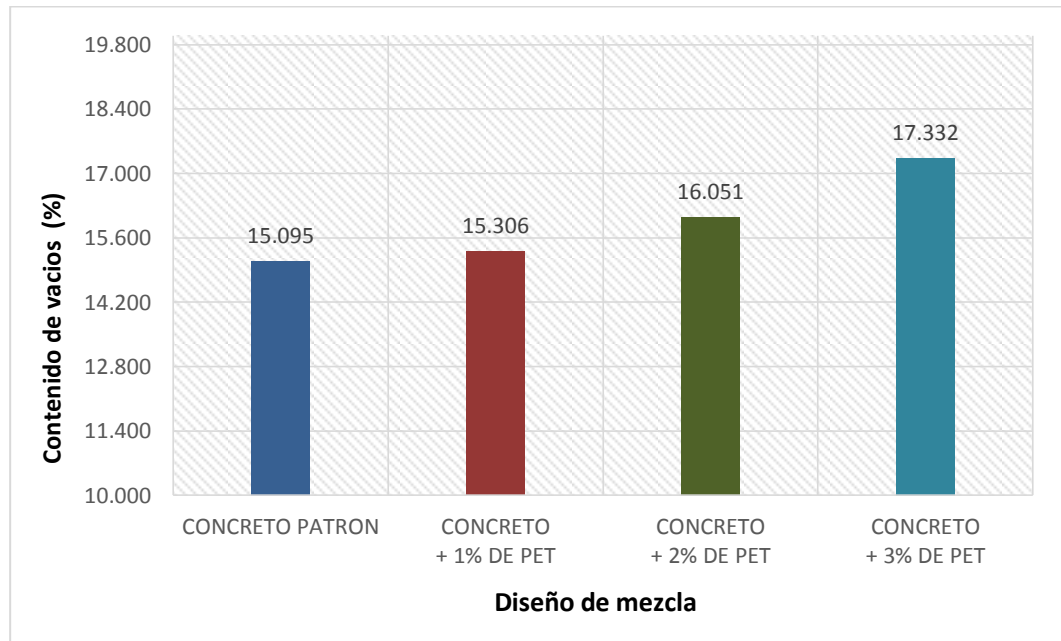


Figura 16 — Grafica de contenido de vacíos

### 5.1.2. Análisis de resultados del objetivo general

#### 5.1.2.1. Resistencia a la compresión del concreto permeable a edades diferentes

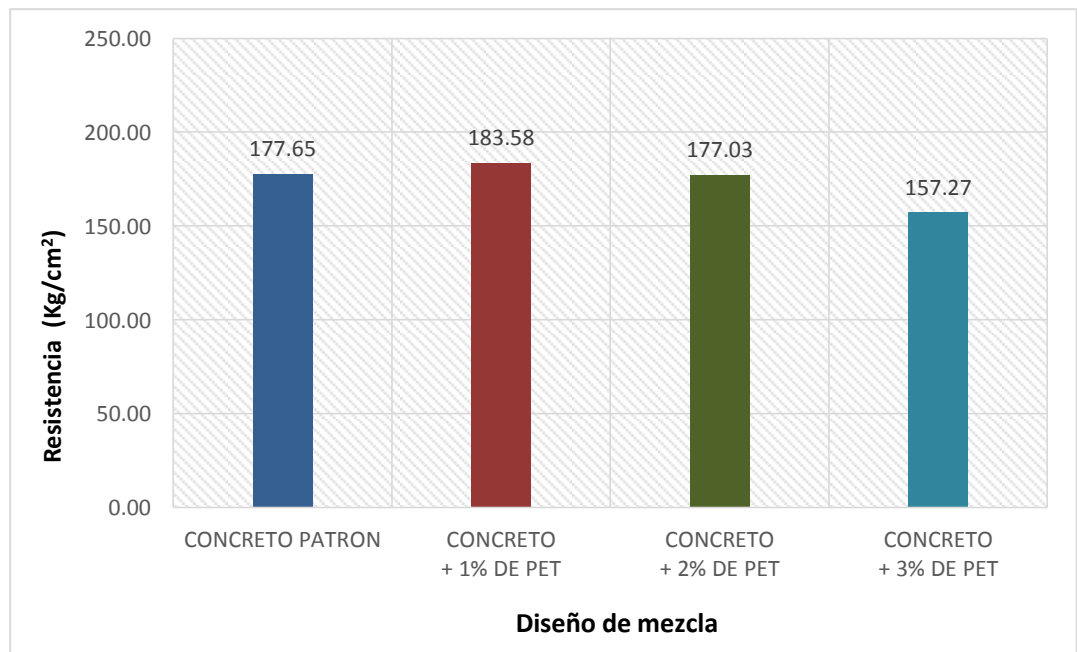
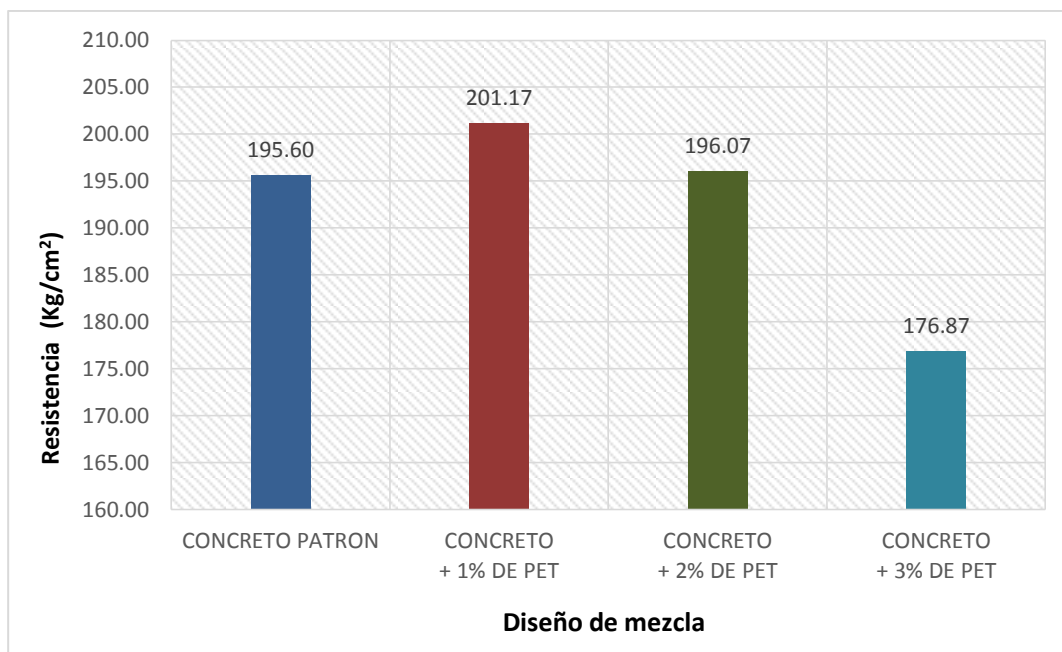


Figura 17 — Resistencia a la compresión del concreto permeable a 07 días

La Figura 17 representa una gráfica comparativa de las resistencias a la compresión para la edad de 07 días, en el cual se detalla que el diseño de mezcla para el concreto + 1% de PET, el que corresponde al “Grupo Experimental 1”



llega a tener mayor resistencia ( $183.58 \text{ Kg/cm}^2$ ) en comparación con los otros diseños, además se observa una ligera variación entre el diseño del concreto patrón ( $177.65 \text{ Kg/cm}^2$ ) y el diseño del concreto + 2% de PET ( $177.03 \text{ Kg/cm}^2$ ) los que corresponden al “grupo experimental 4 y 2” respectivamente, también el diseño del concreto + 3% de PET es el más bajo en resistencia ( $157.27 \text{ Kg/cm}^2$ ) este representa al “Grupo Experimental 3”.



**Figura 18 — Resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días**

La Figura 18 representa una gráfica comparativa de las resistencias a la compresión para la edad de 14 días, en el cual se detalla que el diseño de mezcla para el concreto + 1% de PET, el que corresponde al “Grupo Experimental 1” llega a tener mayor resistencia ( $201.17 \text{ Kg/cm}^2$ ) en comparación con los otros diseños, también se observa una pequeña variación entre el diseño del concreto patrón ( $195.60 \text{ Kg/cm}^2$ ) y el diseño del concreto + 2% de PET ( $196.07 \text{ Kg/cm}^2$ ) correspondientes a los “Grupos Experimental 4 y 2” respectivamente, además el diseño del concreto + 3% de PET es el más bajo en resistencia ( $176.87 \text{ Kg/cm}^2$ ) este representa al “Grupo Experimental 3”.



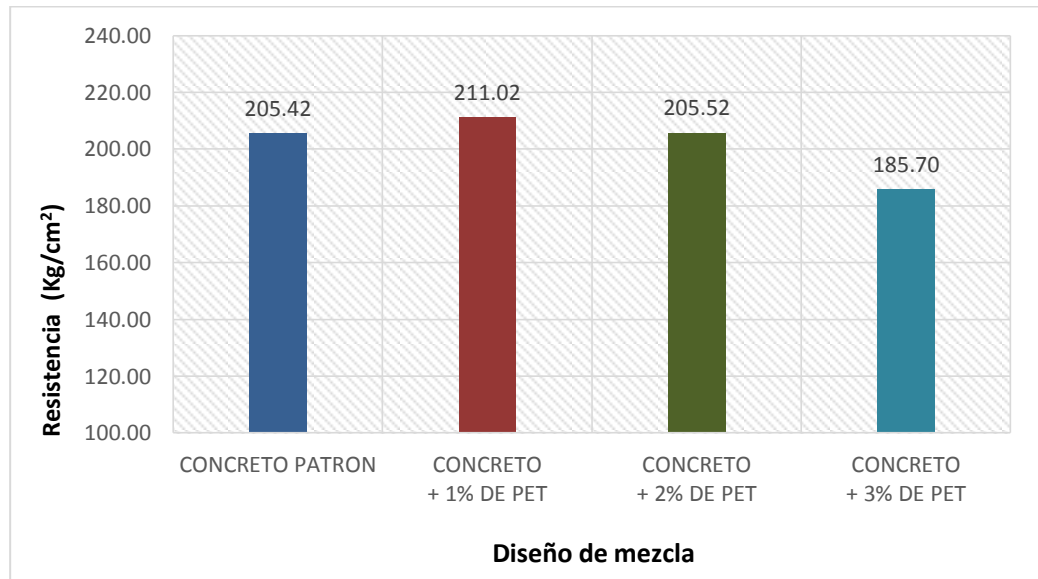


Figura 19 — Resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días

La Figura 19 representa una gráfica comparativa de las resistencias a la compresión para la edad de 28 días, la gráfica demuestra que el diseño de mezcla para el concreto + 1% de PET el que corresponde al “Grupo Experimental 1” llega a tener mayor resistencia (211.02 Kg/cm<sup>2</sup>) en comparación con los otros diseños, también se detalla una ligera variación entre el diseño del concreto patrón (205.42 Kg/cm<sup>2</sup>) y el diseño del concreto + 2% de PET (205.52 Kg/cm<sup>2</sup>) correspondientes a los “Grupos Experimental 4 y 2” respectivamente, también el diseño del concreto + 3% de PET correspondiente al “Grupo Experimental 3” demuestra tener menor resistencia (185.70 Kg/cm<sup>2</sup>).

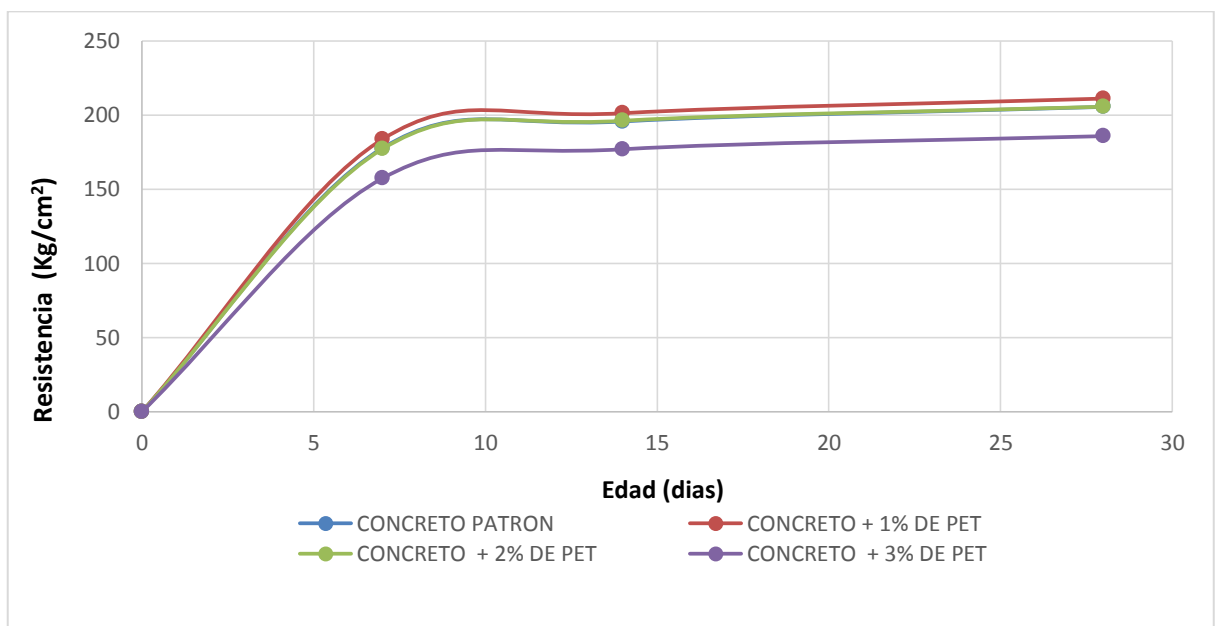


Figura 20 — Curva de la resistencia a la compresión del concreto permeable



En la Figura 20 se presenta la tendencia o curva de la resistencia a la compresión, manifestándose que la curva de resistencia a la compresión del diseño de mezcla para el concreto + 1% de PET es superior respecto a los otros diseños, además se observa que la curva de resistencia a la compresión del diseño de mezcla para el concreto + 3% de PET resulta con una tendencia baja.

### 5.1.2.2. Resistencia a flexión del concreto permeable a la edad de 28 días

La Figura 21 representa una gráfica comparativa de las resistencias a flexión para la edad de 28 días, en la gráfica se indica haber un ligero aumento de resistencia a flexión del diseño del concreto + 1% de PET (32.60 Kg/cm<sup>2</sup>) en comparación con el diseño del concreto patrón (29.87 Kg/cm<sup>2</sup>) y el diseño de concreto + 2% de PET (29.98 Kg/cm<sup>2</sup>), mientras que el diseño de concreto + 3% de PET, muestra tener una caída a la resistencia a flexión con un valor de 25.28 Kg/cm<sup>2</sup>. El diseño del concreto patrón corresponde al “Grupo Experimental 4”, mientras que los diseños “concreto + 1% de PET”, “concreto + 2% de PET” y “concreto + 3% de PET” corresponden a los Grupos Experimentales 1,2,3 respectivamente.

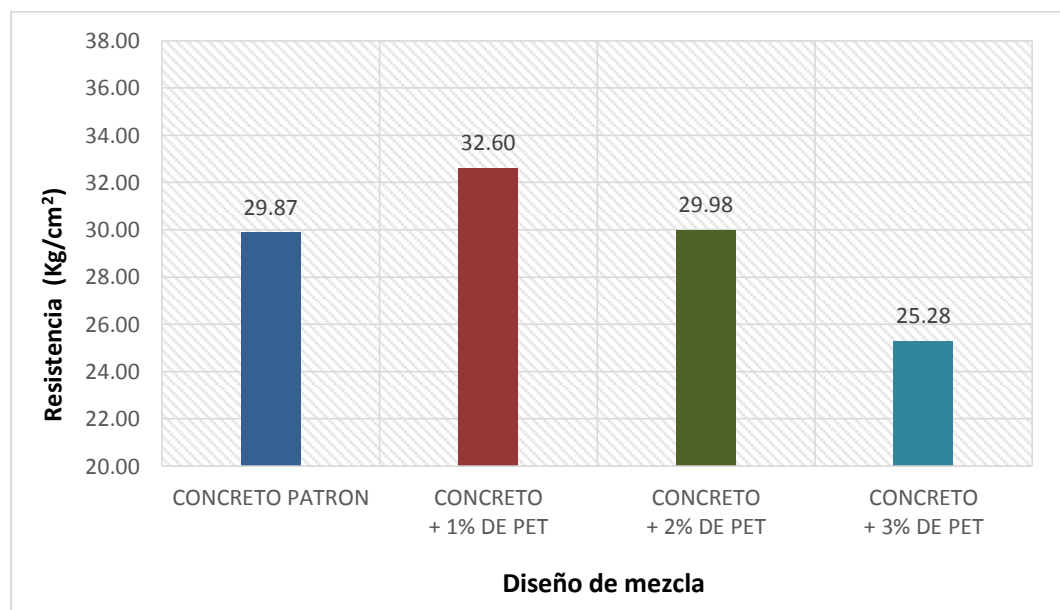


Figura 21 — Resistencia a flexión del concreto permeable a 28 días

### 5.1.2.3. Permeabilidad del concreto permeable

La Figura 22 nos muestra un comparativo de manera gráfica para las medias de la permeabilidad, se observa que la permeabilidad aumenta significativamente cuando se agrega más contenido de PET, así como resalta los datos: diseño del



concreto + 3% de PET (0.428 cm/s), diseño del concreto + 2% de PET (0.366 cm/s), diseño del concreto + 1% de PET (0.342 cm/s), y diseño del concreto patrón (0.322 cm/s).

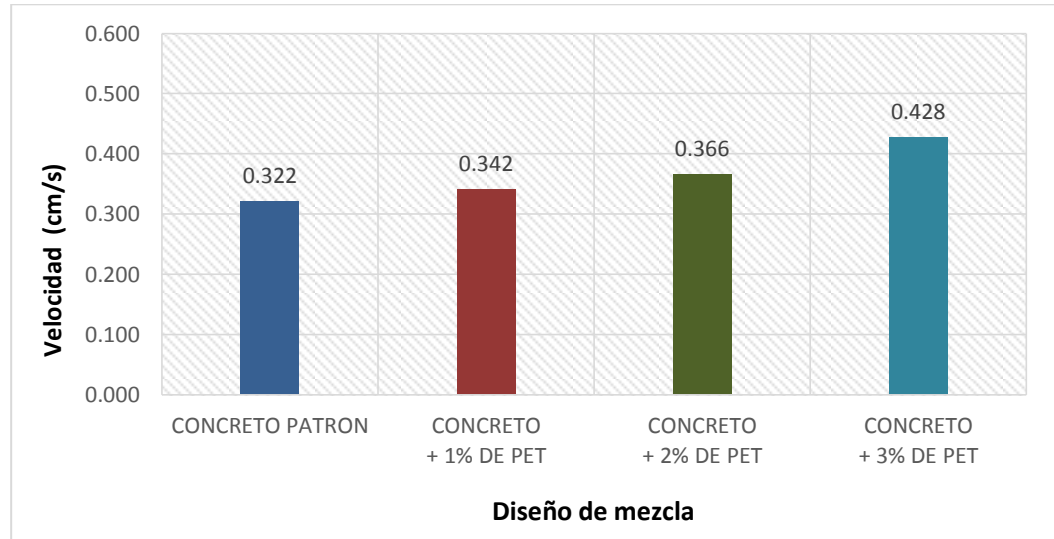


Figura 22 — Permeabilidad del concreto permeable

### 5.1.3. Análisis de resultados del primer objetivo específico

- Ensayo de la resistencia a la compresión del grupo experimental 1

Tabla 26 — Resistencia a la compresión del grupo experimental 1

	Código de muestra	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar	Límite Máximo	Límite Mínimo
CONCRETO + 1% PET (07 DIAS)	C1%PET-7-A	184.3	183.6	4.5	188.1	179.1
	C1%PET-7-B	178.5				
	C1%PET-7-C	186.4				
	C1%PET-7-D	177.9				
	C1%PET-7-E	189.1				
	C1%PET-7-F	185.3				
CONCRETO + 1% PET (14 DIAS)	C1%PET-14-A	202.3	201.2	2.6	203.7	198.6
	C1%PET-14-B	199.4				
	C1%PET-14-C	202.5				
	C1%PET-14-D	198.4				
	C1%PET-14-E	205.1				
	C1%PET-14-F	199.3				
CONCRETO + 1% PET (28 DIAS)	C1%PET-28-A	209.8	211.0	2.7	213.7	208.4
	C1%PET-28-B	212.2				
	C1%PET-28-C	208.5				
	C1%PET-28-D	214.3				
	C1%PET-28-E	207.9				
	C1%PET-28-F	213.4				
NOTA						
El "grupo experimental 4" es perteneciente al diseño de concreto + 1% de PET						



La Tabla 26 muestran valores de las resistencia a la compresión para el “Grupo Experimental 1”, la medias fueron de 183.6 kg/cm<sup>2</sup>, 201.2 kg/cm<sup>2</sup> y 211.0 kg/cm<sup>2</sup> para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente, para la edad de 28 días el valor de la resistencia es similar al valor del diseño teórico (210 kg/cm<sup>2</sup>) planteado en la presente investigación. Además los valores de la desviación estándar fueron de 4.5 kg/cm<sup>2</sup>, 2.6 kg/cm<sup>2</sup>, y 2.7 kg/cm<sup>2</sup> para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. Demostrando que los datos tienen una variabilidad tolerable y en consecuencia se asume que los resultados de la resistencia a la compresión para todas las edades son aceptables.

- **Ensayo de la resistencia a la compresión del grupo experimental 2**

**Tabla 27 — Resistencia a la compresión del grupo experimental 2**

	Código de muestra	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar	Límite máximo	Límite mínimo
CONCRETO + 2% PET (07 DIAS)	C2%PET-7-A	176.4	177.0	3.3	180.3	173.8
	C2%PET-7-B	181.7				
	C2%PET-7-C	175.3				
	C2%PET-7-D	172.6				
	C2%PET-7-E	176.3				
	C2%PET-7-F	179.9				
CONCRETO + 2% PET (14 DIAS)	C2%PET-14-A	192.5	196.1	2.9	198.9	193.2
	C2%PET-14-B	193.6				
	C2%PET-14-C	194.7				
	C2%PET-14-D	197.9				
	C2%PET-14-E	199.6				
	C2%PET-14-F	198.1				
CONCRETO + 2% PET (28 DIAS)	C2%PET-28-A	199.5	205.5	4.2	209.7	201.3
	C2%PET-28-B	201.4				
	C2%PET-28-C	208.7				
	C2%PET-28-D	209.4				
	C2%PET-28-E	208.5				
	C2%PET-28-F	205.6				
<p>NOTA</p> <p>El “grupo experimental 2” es perteneciente al diseño de concreto + 2% de PET</p>						

La Tabla 27 muestran valores de las resistencia a la compresión para el “Grupo Experimental 2”, la medias fueron de 177.0 kg/cm<sup>2</sup>, 196.1 kg/cm<sup>2</sup> y 205.5 kg/cm<sup>2</sup> para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente, para la edad de 28 días el valor



de la resistencia es cercana-baja al valor del diseño teórico ( $210 \text{ kg/cm}^2$ ) planteado en la presente investigación. Además los valores de la desviación estándar fueron de  $3.3 \text{ kg/cm}^2$ ,  $2.9 \text{ kg/cm}^2$ , y  $4.2 \text{ kg/cm}^2$  para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. Demostrando que los datos tienen una variabilidad tolerable y en consecuencia se asume que los resultados de la resistencia a la compresión para todas las edades son aceptables.

- **Ensayo de la resistencia a la compresión del grupo experimental 3**

**Tabla 28 — Resistencia a la compresión del grupo experimental 3**

	Código de muestra	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Media ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Desviación estándar	Límite máximo	Límite mínimo
CONCRETO + 3% PET (07 DIAS)	C3%PET-7-A	151.4	157.3	3.5	160.7	153.8
	C3%PET-7-B	156.1				
	C3%PET-7-C	158.3				
	C3%PET-7-D	156.7				
	C3%PET-7-E	159.6				
	C3%PET-7-F	161.5				
CONCRETO + 3% PET (14 DIAS)	C3%PET-14-A	177.6	176.9	4.7	181.6	172.2
	C3%PET-14-B	183.9				
	C3%PET-14-C	174.0				
	C3%PET-14-D	169.8				
	C3%PET-14-E	178.4				
	C3%PET-14-F	177.5				
CONCRETO + 3% PET (28 DIAS)	C3%PET-28-A	188.2	185.7	2.8	188.5	182.9
	C3%PET-28-B	182.6				
	C3%PET-28-C	189.8				
	C3%PET-28-D	184.9				
	C3%PET-28-E	183.6				
	C3%PET-28-F	185.1				
NOTA El “grupo experimental 3” es perteneciente al diseño de concreto + 3% de PET						

La Tabla 28 muestran valores de las resistencia a la compresión para el “Grupo Experimental 3, la medias fueron de  $157.3 \text{ kg/cm}^2$ ,  $176.9 \text{ kg/cm}^2$  y  $185.7 \text{ kg/cm}^2$  para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente, para la edad de 28 días el valor de la resistencia es muy baja al valor del diseño teórico ( $210 \text{ kg/cm}^2$ ) planteado en la presente investigación.. Además los valores de la desviación estándar fueron de  $3.5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $4.7 \text{ kg/cm}^2$ , y  $2.8 \text{ kg/cm}^2$  para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. Demostrando que los datos tienen una variabilidad holgada y en consecuencia se asume que los resultados de la resistencia a la compresión para



todas las edades son discrepantes.

- **Ensayo de la resistencia a la compresión del grupo control**

**Tabla 29 — Resistencia a la compresión grupo control**

	Código de muestra	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar	Límite máximo	Límite mínimo
Concreto patrón (07 días)	CP7-A	175.4	177.7	3.6	181.3	174.0
	CP7-B	178.7				
	CP7-C	180.2				
	CP7-D	182.9				
	CP7-E	171.4				
	CP7-F	177.3				
Concreto patrón (14 días)	CP14-A	191.4	195.6	4.0	199.6	191.6
	CP14-B	199.5				
	CP14-C	189.4				
	CP14-D	196.3				
	CP14-E	196.7				
	CP14-F	200.3				
Concreto patrón (28 días)	CP28-A	207.8	205.4	4.5	209.9	201.0
	CP28-B	209.3				
	CP28-C	201.2				
	CP28-D	198.5				
	CP28-E	211.1				
	CP28-F	204.6				
NOTA						
El “grupo control” es perteneciente al diseño de concreto patrón						

La Tabla 29 muestran valores de las resistencia a la compresión para el “Grupo control”, la medias fueron de 177.7 kg/cm<sup>2</sup>, 195.6 kg/cm<sup>2</sup> y 205.4 kg/cm<sup>2</sup> para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente, para la edad de 28 días el valor de la resistencia es cercana-baja al valor del diseño teórico (210 kg/cm<sup>2</sup>) planteado en la presente investigación. Además los valores de la desviación estándar fueron de 3.6 kg/cm<sup>2</sup>, 4.0 kg/cm<sup>2</sup>, y 4.5 kg/cm<sup>2</sup> para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. Demostrando que los datos tienen variabilidad que es tolerable y en consecuencia asumimos que los resultados de la resistencia a la compresión para todas las edades son aceptables.



5.1.4. Análisis de resultados del segundo objetivo específico

- Ensayo de la resistencia a la flexión del grupo experimental 1

**Tabla 30 — Resistencia a flexión para todos los grupos a edad de 28 días**

Diseño	Código de muestra	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Media (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar	Límite máximo	Límite mínimo
Concreto patrón (28 días)	CP-V-28-A	30.3	29.9	0.5	30.4	29.3
	CP-V-28-B	29.7				
	CP-V-28-C	29.8				
	CP-V-28-D	28.8				
	CP-V-28-E	30.5				
	CP-V-28-F	30.1				
Concreto + 1% PET (28 días)	CV1%PET-28-A	32.1	32.6	0.9	33.5	31.7
	CV1%PET-28-B	31.3				
	CV1%PET-28-C	32.3				
	CV1%PET-28-D	32.6				
	CV1%PET-28-E	33.1				
	CV1%PET-28-F	34.2				
Concreto + 2% PET (28 días)	CV2%PET-28-A	29.5	30.0	0.7	30.7	29.3
	CV2%PET-28-B	28.9				
	CV2%PET-28-C	31.1				
	CV2%PET-28-D	30.5				
	CV2%PET-28-E	30.1				
	CV2%PET-28-F	29.8				
Concreto + 3% PET (28 días)	CV3%PET-28-A	23.2	25.3	1.4	26.7	23.9
	CV3%PET-28-B	27.8				
	CV3%PET-28-C	24.4				
	CV3%PET-28-D	24.9				
	CV3%PET-28-E	25.3				
	CV3%PET-28-F	26.1				
NOTA						
El “grupo control” es perteneciente al diseño de concreto patrón						

La Tabla 30 muestran valores de las resistencia a flexión para todos los grupos experimentales, detallando: “Grupo Experimental 1” pertenece al diseño de concreto + 1% de PET, “Grupo Experimental 2” pertenece al diseño de concreto + 2% de PET, “Grupo Experimental 3” pertenece al diseño de concreto + 3% de PET, “Grupo Control” pertenece al diseño de concreto patrón.

Dentro de los grupo experimentales 1, 2, 3 y control para la edad de 28 días, la medias fueron de 32.6 kg/cm<sup>2</sup>, 30.0 kg/cm<sup>2</sup>, 25.3 kg/cm<sup>2</sup> y 29.9 kg/cm<sup>2</sup>



respectivamente. Demostrando haber una similitud entre el “Grupo experimental 2” y “Grupo Control”, así como una disminución muy considerada de la resistencia a flexión para el “Grupo experimental 3”, mientras que el “Grupo experimental 1” demuestra tener el más alto valor..

Los valores de la desviación estándar fueron de 0.9 kg/cm<sup>2</sup>, 0.7 kg/cm<sup>2</sup>, 1.4 kg/cm<sup>2</sup> y 0.5 kg/cm<sup>2</sup> para los grupo experimentales 1, 2, 3 y 4 respectivamente, estos para la edad de 28 días. Se observa que la variabilidad es tolerable y en consecuencia se asume que los resultados de la resistencia a flexión para esa edad son aceptables.

### 5.1.5. Análisis de resultados del tercer objetivo específico

- **Ensayo de permeabilidad**

**Tabla 31 — Permeabilidad para todos los grupos**

Diseño	Código de muestra	Resistencia (cm/s)	Media (cm/s)	Desviación estándar	Límite máximo	Límite mínimo
Concreto patrón (28 días)	PC-0%PET-A	0.325	0.322	0.011	0.333	0.311
	PC-0%PET-B	0.315				
	PC-0%PET-C	0.324				
	PC-0%PET-D	0.333				
	PC-0%PET-E	0.304				
	PC-0%PET-F	0.330				
Concreto + 1% PET (28 días)	PC-1%PET-A	0.327	0.341	0.009	0.350	0.333
	PC-1%PET-B	0.336				
	PC-1%PET-C	0.341				
	PC-1%PET-D	0.351				
	PC-1%PET-E	0.348				
	PC-1%PET-F	0.344				
Concreto + 2% PET (28 días)	PC-2%PET-A	0.369	0.366	0.010	0.376	0.357
	PC-2%PET-B	0.360				
	PC-2%PET-C	0.357				
	PC-2%PET-D	0.374				
	PC-2%PET-E	0.380				
	PC-2%PET-F	0.357				
Concreto + 3% PET (28 días)	PC-3%PET-A	0.441	0.428	0.010	0.438	0.418
	PC-3%PET-B	0.424				
	PC-3%PET-C	0.434				
	PC-3%PET-D	0.425				
	PC-3%PET-E	0.433				
	PC-3%PET-F	0.411				
NOTA El “grupo control” es perteneciente al diseño de concreto patrón						



La Tabla 31 muestra valores de la permeabilidad para todos los grupos experimentales, detallando: “Grupo Experimental 1” pertenece al diseño de concreto + 1% de PET, “Grupo Experimental 2” pertenece al diseño de concreto + 2% de PET, “Grupo Experimental 3” pertenece al diseño de concreto + 3% de PET, “Grupo control” pertenece al diseño de concreto patrón.

Dentro de los grupo experimentales 1, 2, 3 y 4, las medias de la permeabilidad fueron de, 0.341 cm/s, 0.366 cm/s, 0.428 cm/s, y 0.322 cm/s respectivamente. Demostrando haber un incremento, es decir que el “Grupo experimental 1” aumento 5.9%, el “Grupo experimental 2” aumento 13.7%, el “Grupo experimental 3” aumento 32.9%, el aumento porcentual se dio todos con respecto al “Grupo Control”.

#### 5.1.6. Contrastación de Hipótesis

- **Contrastación de hipótesis general**

Para poder contrastar nuestra hipótesis se usó el ANOVA (análisis de varianza) de un factor, porque se trata de una prueba paramétrica, el cual nos permitió comprobar la diferencia de medias poblacionales sobre mediciones a una misma unidad de análisis (resistencia a la compresión), pero en tres o más grupos diferentes (3 grupos experimentales y 1 grupo control).

- **En la resistencia a la compresión del concreto permeable**

**Paso 1:** Definimos las medias muestrales ( $\bar{X}$ ) de los grupos experimentales y de control planteadas en la investigación:

$\bar{X}_{G1-n}$ : Media de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del Grupo Experimental 1 con diseño de Concreto + 1% de PET.

$\bar{X}_{G2-n}$ : Media de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del Grupo Experimental 2 con diseño de Concreto + 2% de PET.

$\bar{X}_{G3-n}$ : Media de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del Grupo Experimental 3 con diseño de Concreto + 3% de PET.



$\bar{X}_{G4-n}$ : Media de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del Grupo Control con diseño de Concreto patrón.

**Paso 2:** Realizamos las pruebas de Normalidad con Shapiro-Wilk, utilizando el software IBM SPSS Statistics, para determinar si los datos tienen una distribución normal.

**Hipótesis estadísticas**

**H<sub>0</sub>:** La muestra sigue una distribución normal. (Hipótesis Nula: H<sub>0</sub>)

**H<sub>1</sub>:** La muestra no sigue una distribución normal. (Hipótesis Alterna: H<sub>1</sub>)

**Regla de decisión**

**Si p-valor ≤ 0.05** Se rechaza la hipótesis nula.

**Si p-valor > 0.05** No se rechaza la hipótesis nula.

**Tabla 32 — Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión para edad de 7 días**

	Grupos (Ensayo a los 7 días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Grupo de control	0.990	6	0.988
	Grupo experimental 1	0.904	6	0.399
	Grupo experimental 2	0.954	6	0.774
	Grupo experimental 3	0.959	6	0.809

Como se detalla en la Tabla 32, mediante la prueba de Shapiro-Wilk, se determinó que el p-valor de los diferentes grupos experimentales es mayor a 0.05; por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula, confirmándose que los datos del “Grupo Experimental 1”, “Grupo Experimental 2”, “Grupo Experimental 3” y “Grupo de Control” a la edad de 7 días, cuentan con una distribución normal, de manera que se usó la estadística paramétrica.

**Tabla 33 — Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión para edad de 14 días**

	Grupos (Ensayo a los 14 días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Grupo de control	0.913	6	0.457
	Grupo experimental 1	0.910	6	0.435
	Grupo experimental 2	0.919	6	0.495
	Grupo experimental 3	0.958	6	0.807



Como se detalla en la Tabla 33, mediante la prueba de Shapiro-Wilk, se determinó que el p-valor de los diferentes grupos experimentales es mayor a 0.05; por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula, confirmándose que los datos del “Grupo Experimental 1”, “Grupo Experimental 2”, “Grupo Experimental 3” y “Grupo de Control” a la edad de 14 días, cuentan con una distribución normal, de manera que se usó la estadística paramétrica.

**Tabla 34 — Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión para edad de 28 días**

	Grupos (Ensayo a los 28 días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Grupo de control	0.952	6	0.754
	Grupo experimental 1	0.919	6	0.497
	Grupo experimental 2	0.861	6	0.194
	Grupo experimental 3	0.926	6	0.550

Como se detalla en la Tabla 34, mediante la prueba de Shapiro-Wilk, se determinó que el p-valor de los diferentes grupos es mayor a 0.05; por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula, confirmándose que los datos del “Grupo Experimental 1”, “Grupo Experimental 2”, “Grupo Experimental 3” y “Grupo de Control” a la edad de 28 días, cuentan con una distribución normal, de manera que se usó la estadística paramétrica.

**Paso 3:** Como todos los grupos tuvieron una distribución normal, entonces se procedió a realizar las pruebas del ANOVA (Análisis de Varianza) de un factor, con el uso del software IBM SPSS Statistics. Es por ello que se plantea la siguiente hipótesis nula ( $H_0$ ) y alterna ( $H_1$ ):

$H_0$  : No influye en la resistencia a la compresión la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos ( $\bar{X}_{G1-n}$ ,  $\bar{X}_{G2-n}$ ,  $\bar{X}_{G3-n}$ ,  $\bar{X}_{G4-n}$ ).

$H_1$ : Influye en la resistencia a la compresión la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos ( $\bar{X}_{G1-n}$ ,  $\bar{X}_{G2-n}$ ,  $\bar{X}_{G3-n}$ ,  $\bar{X}_{G4-n}$ ).

**Regla de decisión**

Si **p-valor < 0.05** Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Se acepta ( $H_1$ ).



Si  $p\text{-valor} \geq 0.05$  No se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

**Tabla 35 — ANOVA de un factor resistencia a la compresión del concreto a 7 días**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
<b>Entre grupos</b>	2365.883	3	788.628	53.738	0.000
<b>Dentro de grupos</b>	293.510	20	14.676		
<b>Total</b>	2659.393	23			

De la Tabla 35, el p-valor es menor a 0.05 con lo cual rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, indicativo en el cual manifiesta que por lo menos una de las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N° 8) para la edad de 7 días del “Grupo experimental 1”, “Grupo experimental 2”, “Grupo experimental 3”, “Grupo de control” es diferente, confirmándose que existe influencia en la resistencia a la compresión en una de las sustituciones parciales de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.

**Tabla 36 — ANOVA de un factor resistencia a la compresión del concreto a 14 días**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
<b>Entre grupos</b>	2050.925	3	683.642	48.929	0.000
<b>Dentro de grupos</b>	279.440	20	13.972		
<b>Total</b>	2330.365	23			

De la Tabla 36, el p-valor es menor a 0.05 con lo cual rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, indicativo el cual manifiesta que por lo menos una de las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N° 8) para la edad de 14 días del “Grupo experimental 1”, “Grupo experimental 2”, “Grupo experimental 3”, “Grupo de control” es diferente, confirmándose que existe influencia en la resistencia a la compresión en una de las sustituciones parciales de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.



**Tabla 37 — ANOVA de un factor resistencia a la compresión del concreto a 28 días**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
<b>Entre grupos</b>	2226.001	3	742.000	52.984	0.000
<b>Dentro de grupos</b>	280.085	20	14.004		
<b>Total</b>	2506.086	23			

De la Tabla 37, el p-valor es menor a 0.05 con lo cual rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, indicativo el cual manifiesta que por lo menos una de las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N° 8) para la edad de 28 días del “Grupo experimental 1”, “Grupo experimental 2”, “Grupo experimental 3”, “Grupo de control” es diferente, confirmándose que existe influencia en la resistencia a la compresión en una de las sustituciones parciales de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.

El análisis del p-valor para las edades de 7, 14 y 28 días demuestran ser menores a 0.05, con lo cual, de acuerdo al planteamiento de nuestras hipótesis rechazamos la hipótesis nula y por consecuencia aceptamos la hipótesis alterna, concluimos que por lo menos una de las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N° 8) del “Grupo experimental 1”, “Grupo experimental 2”, “Grupo experimental 3”, “Grupo de control” es diferente, confirmándose que existe influencia en la resistencia a la compresión en una de las sustituciones parciales de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos. Es por ello que realizamos las pruebas post hoc, específicamente la prueba Honestly Significant Difference Tukey, para determinar en cuales de los grupos existe esa diferencia.

La Tabla 38 nos muestra las comparaciones de las medias muestrales de las resistencias a compresión a los 7 días para todos los grupos experimentales, en el cual se detalla que el grupo control y el grupo experimental 2, poseen valores similares con un porcentaje del 99.2% de similitud.

**Paso 6:** Pruebas post hoc



**Tabla 38 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 7 días**

Grupos (I)	Grupos (J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.(p-valor)	Porcentaje (%)
<b>Grupo de control</b>	Grupo experimental 1	-5.93333	2.21175	0.063	6.3
	Grupo experimental 2	0.61667	2.21175	0.992	99.2
	Grupo experimental 3	20,38333*	2.21175	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 1</b>	Grupo de control	5.93333	2.21175	0.063	6.3
	Grupo experimental 2	6,55000*	2.21175	0.036	3.6
	Grupo experimental 3	26,31667*	2.21175	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 2</b>	Grupo de control	-0.61667	2.21175	0.992	99.2
	Grupo experimental 1	-6,55000*	2.21175	0.036	3.6
	Grupo experimental 3	19,76667*	2.21175	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 3</b>	Grupo de control	-20,38333*	2.21175	0.000	0.0
	Grupo experimental 1	-26,31667*	2.21175	0.000	0.0
	Grupo experimental 2	-19,76667*	2.21175	0.000	0.0

**Tabla 39 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 14 días**

Grupos (I)	Grupos (J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.(p-valor)	Porcentaje (%)
<b>Grupo de control</b>	Grupo experimental 1	-5.56667	2.15809	0.078	7.8
	Grupo experimental 2	-0.46667	2.15809	0.996	99.6
	Grupo experimental 3	18,73333*	2.15809	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 1</b>	Grupo de control	5.56667	2.15809	0.078	7.8
	Grupo experimental 2	5.10000	2.15809	0.117	11.7
	Grupo experimental 3	24,30000*	2.15809	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 2</b>	Grupo de control	0.46667	2.15809	0.996	99.6
	Grupo experimental 1	-5.10000	2.15809	0.117	11.7
	Grupo experimental 3	19,20000*	2.15809	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 3</b>	Grupo de control	-18,73333*	2.15809	0.000	0.0
	Grupo experimental 1	-24,30000*	2.15809	0.000	0.0
	Grupo experimental 2	-19,20000*	2.15809	0.000	0.0

La Tabla 39 nos muestra las comparaciones de las medias muestrales de las resistencias a compresión a los 14 días para todos los grupos experimentales, en el cual se detalla que el grupo control y el grupo experimental 2, poseen valores similares con un porcentaje del 99.6% de similitud.



La Tabla 40 nos muestra las comparaciones de las medias muestrales de las resistencias a compresión a los 28 días para todos los grupos experimentales, en el cual se detalla que el grupo control y el grupo experimental 2, poseen valores similares con un porcentaje del 100.0% de similitud.

**Tabla 40 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 28 días**

Grupos (I)	Grupos (J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.(p-valor)	Porcentaje (%)
<b>Grupo de control</b>	Grupo experimental 1	-5.60000	2.16057	0.076	7.6
	Grupo experimental 2	-0.10000	2.16057	1.000	100.0
	Grupo experimental 3	19,71667*	2.16057	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 1</b>	Grupo de control	5.60000	2.16057	0.076	7.6
	Grupo experimental 2	5.50000	2.16057	0.083	8.3
	Grupo experimental 3	25,31667*	2.16057	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 2</b>	Grupo de control	0.10000	2.16057	1.000	100.0
	Grupo experimental 1	-5.50000	2.16057	0.083	8.3
	Grupo experimental 3	19,81667*	2.16057	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 3</b>	Grupo de control	-19,71667*	2.16057	0.000	0.0
	Grupo experimental 1	-25,31667*	2.16057	0.000	0.0
	Grupo experimental 2	-19,81667*	2.16057	0.000	0.0

**Tabla 41 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 7 días**

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
<b>Grupo experimental 3</b>	6	157.2667		
<b>Grupo experimental 2</b>	6		177.0333	
<b>Grupo de control</b>	6		177.6500	177.6500
<b>Grupo experimental 1</b>	6			183.5833
<b>Sig.</b>		1.000	0.992	0.063

La Tabla 41 nos presenta los subconjuntos homogéneos de medias de todas las resistencias a la compresión a la edad de 7 días, indicando que el subconjunto conformado por el “Grupo Experimental 2” es homogéneo al “Grupo de control” a un nivel de significancia del 99.2%, así como también el subconjunto conformado por el “Grupo Experimental 1” es homogéneo al “Grupo de control” a un nivel de significancia del 6.3%, mientras que al “Grupo Experimental 3” es diferente a los demás grupos.



**Tabla 42 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 14 días**

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
<b>Grupo experimental 3</b>	6	176.8667	
<b>Grupo de control</b>	6		195.6000
<b>Grupo experimental 2</b>	6		196.0667
<b>Grupo experimental 1</b>	6		201.1667
<b>Sig.</b>		1.000	0.078

La Tabla 42 nos presenta los subconjuntos homogéneos de medias de todas las resistencias a la compresión a la edad de 14 días, indicando que los subconjuntos conformados por el “Grupo Experimental 1”, “Grupo Experimental 2”, “Grupo Control” son homogéneos al a un nivel de significancia del 7.8%, mientras que al “Grupo Experimental 3” es diferente a los demás grupos.

**Tabla 43 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 28 días**

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
<b>Grupo experimental 3</b>	6	185.7000	
<b>Grupo de control</b>	6		205.4167
<b>Grupo experimental 2</b>	6		205.5167
<b>Grupo experimental 1</b>	6		211.0167
<b>Sig.</b>		1.000	0.076

La Tabla 43 nos presenta los subconjuntos homogéneos de medias de todas las resistencias a la compresión a la edad de 28 días, indicando que los subconjuntos conformados por el “Grupo Experimental 1”, “Grupo Experimental 2”, “Grupo Control” son homogéneos al a un nivel de significancia del 7.6%, mientras que al “Grupo Experimental 3” es diferente a los demás grupos.

**Paso 7: Contrastación de hipótesis**

La primera hipótesis específica de este trabajo de investigación fue: “La sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas, influye en la compresión del concreto poroso en pavimentos”. De acuerdo a lo establecido en las tablas 26, 27, 28, para las edades de 07, 14 y 28 días se demuestra que las medias de las resistencias a la compresión tienen diferencia, es decir que el “Grupo Experimental 1” (diseño de Concreto + 1% de PET) tiene mayor resistencia a la compresión con



respecto al “Grupo control” (diseño de Concreto + 0% de PET), “Grupo Experimental 2” (diseño de Concreto + 2% de PET) y “Grupo Experimental 3” (diseño de Concreto + 3% de PET). Solo el “Grupo control” y “Grupo Experimental 1” presentan valores homogéneos en la resistencia a la compresión para todas las edades ensayadas, mientras que el “Grupo Experimental 3” tiene un valor muy bajo con respecto al resto. Con lo cual se argumenta que existe influencia cuando se sustituye fibras PET en el concreto permeable, concluyendo que esta sustitución (de fibras PET) en diferentes proporciones y más aún cuando se sustituye gran cantidad de fibras PET, influye inversamente proporcional a la resistencia a la compresión (ósea a mayor cantidad sustituida de fibras PET, más baja es la resistencia; o a menor cantidad sustituida de fibras PET aumenta la resistencia a compresión).

- **En la resistencia a flexión del concreto permeable**

**Paso 1:** Definimos las medias muestrales ( $\bar{X}$ ) de los grupos experimentales y de control planteadas en la investigación:

$\bar{X}_{G1-n}$  : Media de la resistencia a flexión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del Grupo Experimental 1 con diseño de concreto + 1% de PET.

$\bar{X}_{G2-n}$  : Media de la resistencia a flexión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del Grupo Experimental 2 con diseño de concreto + 2% de PET.

$\bar{X}_{G3-n}$  : Media de la resistencia a flexión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del Grupo Experimental 3 con diseño de concreto + 3% de PET.

$\bar{X}_{G4-n}$  : Media de la resistencia a flexión del concreto permeable (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del Grupo Control con diseño de concreto patrón.

**Paso 2:** Realizamos las pruebas de Normalidad con Shapiro-Wilk, utilizando el software IBM SPSS Statistics, para determinar si los datos tienen una distribución normal.

**Hipótesis estadísticas**

**H<sub>0</sub>:** La muestra sigue una distribución normal. (Hipótesis Nula: H<sub>0</sub>)

**H<sub>1</sub>:** La muestra no sigue una distribución normal. (Hipótesis Alterna: H<sub>1</sub>)

**Regla de decisión**

**Si p-valor ≤ 0.05** Se rechaza la hipótesis nula.

**Si p-valor > 0.05** No se rechaza la hipótesis nula.



**Tabla 44 — Prueba de normalidad de la resistencia a flexión para edad de 28 días**

	Grupos (Ensayo a los 28 días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Grupo control	0.915	6	0.469
	Grupo experimental 1	0.975	6	0.921
	Grupo experimental 2	0.999	6	1.000
	Grupo experimental 3	0.982	6	0.959

Como se detalla en la Tabla 44, mediante la prueba de Shapiro-Wilk, se determinó que el p-valor de los diferentes grupos es mayor a 0.05; por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula, confirmándose que los datos del “Grupo Experimental 1”, “Grupo Experimental 2”, “Grupo Experimental 3” y “Grupo de Control” a la edad de 28 días, cuentan con una distribución normal, de manera que se usó la estadística paramétrica.

**Paso 3:** Como todos los grupos tuvieron una distribución normal, entonces se procedió a realizar las pruebas del ANOVA (Análisis de Varianza) de un factor, con el uso del software IBM SPSS Statistics. Es por ello que se plantea la siguiente hipótesis nula ( $H_0$ ) y alterna ( $H_1$ ):

$H_0$  : No influye en la resistencia a la flexión la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos ( $\bar{X}_{G1-n}$ ,  $\bar{X}_{G2-n}$ ,  $\bar{X}_{G3-n}$ ,  $\bar{X}_{G4-n}$ ).

$H_1$ : Influye en la resistencia a la flexión la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos ( $\bar{X}_{G1-n}$ ,  $\bar{X}_{G2-n}$ ,  $\bar{X}_{G3-n}$ ,  $\bar{X}_{G4-n}$ ).

**Regla de decisión**

Si p-valor < 0.05 Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Se acepta ( $H_1$ ).

Si p-valor  $\geq$  0.05 No se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

**Tabla 45 — ANOVA de un factor resistencia a flexión del concreto a 28 días**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.(p-valor)
Entre grupos	166.443	3	55.481	50.691	0.000
Dentro de grupos	21.890	20	1.095		
Total	188.333	23			



De la Tabla 45, el p-valor es menor a 0.05 con lo cual rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, indicativo en el cual manifiesta que por lo menos una de las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable (HUSO N° 8) para la edad de 7 días del “Grupo experimental 1”, “Grupo experimental 2”, “Grupo experimental 3”, “Grupo de control” es diferente, confirmándose que existe influencia en la resistencia a la flexión en una de las sustituciones parciales de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.

Para la edad de 28 días el análisis del p-valor es menor a 0.05, con lo que se afirma de acuerdo a las hipótesis planteadas que se rechaza la hipótesis nula, por consecuencia se acepta la hipótesis alterna, respondiendo que todas las medias de la resistencia a flexión del concreto permeable (Huso N° 8) del “Grupo experimental 1”, “Grupo experimental 2”, “Grupo experimental 3”, “Grupo de control” son diferentes, a su vez para certificar los valores, comprobaremos en las pruebas post hoc, para este caso realizamos la prueba Honestly Significant Difference Tukey, para determinar la homogeneidad y cuáles son sus valores de significancia.

**Paso 6: Pruebas post hoc**

**Tabla 46 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – edad 28 días**

Grupos (I)	Grupos (J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Porcentaje (%)
Grupo control	Grupo experimental 1	-2,73333*	0.60401	0.001	1.0
	Grupo experimental 2	-0.11667	0.60401	0.997	99.7
	Grupo experimental 3	4,58333*	0.60401	0.000	0.0
Grupo experimental 1	Grupo control	2,73333*	0.60401	0.001	1.0
	Grupo experimental 2	2,61667*	0.60401	0.002	2.0
	Grupo experimental 3	7,31667*	0.60401	0.000	0.0
Grupo experimental 2	Grupo control	0.11667	0.60401	0.997	99.7
	Grupo experimental 1	-2,61667*	0.60401	0.002	2.0
	Grupo experimental 3	4,70000*	0.60401	0.000	0.0
Grupo experimental 3	Grupo control	-4,58333*	0.60401	0.000	0.0
	Grupo experimental 1	-7,31667*	0.60401	0.000	0.0
	Grupo experimental 2	-4,70000*	0.60401	0.000	0.0

La Tabla 46 nos muestra las comparaciones de las medias muestrales de las resistencias a flexión a los 28 días para todos los grupos experimentales, en el cual



se detalla lo más resaltante que: el “Grupo experimental 2” y el “Grupo control” poseen valores similares con un porcentaje del 99.7% de significancia.

**Tabla 47 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – edad 28 días**

GRUPOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Grupo experimental 3	6	25.2833		
Grupo control	6		29.8667	
Grupo experimental 2	6		29.9833	
Grupo experimental 1	6			32.6000
Sig.		1.000	0.997	1.000

La Tabla 47 nos presenta los subconjuntos homogéneos de medias de todas las resistencias a la flexión a la edad de 28 días, indicándonos que los subconjuntos conformado por el “Grupo control” y “Grupo Experimental 2”, presentan valores homogéneos con un nivel de significancia del 99.7%.

**Paso 7: Contrastación de hipótesis**

La segunda hipótesis específica de este trabajo fue: “La sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas influye en la resistencia a flexión del concreto poroso en pavimentos”. De acuerdo a las tablas 36, 37; para la edad de 28 días se demostró que la media de las resistencias a la flexión tienen muy baja variabilidad, es por ello que el “Grupo control” y el “Grupo experimental 2” son homogéneos a un nivel de significancia de 99.7%. El “Grupo experimental 3” (diseño de concreto + 3% de PET) y el “Grupo Experimental 1” (diseño de concreto + 1% de PET), tienen resistencias a la flexión diferentes al resto, del cual el “Grupo Experimental 1” presenta mayor resistencia a la flexión. También se describe del conjunto de grupos, que existe influencia cuando se sustituye fibras PET en el concreto permeable, concluyendo que esta sustitución (de fibras PET) en diferentes proporciones y más aún cuando se sustituye gran cantidad de fibras PET, influye inversamente proporcional a la resistencia a la flexión (ósea a mayor cantidad sustituida de fibras PET, más baja es la resistencia; o a menor cantidad sustituida de fibras PET aumenta la resistencia a la flexión).

- **En la permeabilidad de concreto (Huso N° 8)**

**Paso 1:** Definimos las medias muestrales ( $\bar{X}$ ) de los grupos experimentales y de



control planteadas en la investigación:

$\bar{X}_{G1-n}$  : Media de la permeabilidad del concreto (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del “Grupo Experimental 1” con diseño de “concreto + 1% de PET”.

$\bar{X}_{G2-n}$  : Media de la permeabilidad del concreto (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del “Grupo Experimental 2” con diseño de “concreto + 2% de PET”.

$\bar{X}_{G3-n}$  : Media de la permeabilidad del concreto (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del “Grupo Experimental 3” con diseño de “concreto + 3% de PET”.

$\bar{X}_{G4-n}$  : Media de la permeabilidad del concreto (HUSO N° 8) a la edad de “n” días del “Grupo Control” con diseño de “concreto patrón”.

**Paso 2:** Realizamos las pruebas de Normalidad con Shapiro-Wilk, utilizando el software IBM SPSS Statistics, para determinar si los datos tienen una distribución normal.

**Hipótesis estadísticas**

**H<sub>0</sub>:** La muestra sigue una distribución normal. (Hipótesis Nula: H<sub>0</sub>)

**H<sub>1</sub>:** La muestra no sigue una distribución normal. (Hipótesis Alterna: H<sub>1</sub>)

**Regla de decisión**

**Si p-valor ≤ 0.05** Se rechaza la hipótesis nula.

**Si p-valor > 0.05** No se rechaza la hipótesis nula.

**Tabla 48 — Prueba de normalidad de la permeabilidad**

	Grupos (Ensayo a los 14 días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Permeabilidad (cm/s)	Grupo de control	0.922	6	0.522
	Grupo experimental 1	0.959	6	0.815
	Grupo experimental 2	0.888	6	0.305
	Grupo experimental 3	0.956	6	0.787

Como se detalla en la Tabla 48, mediante la prueba de Shapiro-Wilk, se determinó que el p-valor de los diferentes grupos es mayor a 0.05; por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula, confirmándose que los datos del “Grupo Experimental 1”, “Grupo Experimental 2”, “Grupo Experimental 3” y “Grupo de Control” a la edad de 28 días, cuentan con una distribución normal, de manera que se usó la estadística paramétrica.

**Paso 3:** Como todos los grupos tuvieron una distribución normal, entonces se



procedió a realizar las pruebas del ANOVA (Análisis de Varianza) de un factor, con el uso del software IBM SPSS Statistics. Es por ello que se plantea la siguiente hipótesis nula ( $H_0$ ) y alterna ( $H_1$ ):

$H_0$  : No influye en la permeabilidad la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos ( $\bar{X}_{G1-n}$ ,  $\bar{X}_{G2-n}$ ,  $\bar{X}_{G3-n}$ ,  $\bar{X}_{G4-n}$ ).

$H_1$ : Influye en la permeabilidad la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos ( $\bar{X}_{G1-n}$ ,  $\bar{X}_{G2-n}$ ,  $\bar{X}_{G3-n}$ ,  $\bar{X}_{G4-n}$ ).

**Regla de decisión**

**Si p-valor < 0.05** Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Se acepta ( $H_1$ ).

**Si p-valor  $\geq$  0.05** No se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

**Tabla 49 — ANOVA de un factor permeabilidad**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Entre grupos</b>	0.038	3	0.013	130.574	0.000
<b>Dentro de grupos</b>	0.002	20	0.000		
<b>Total</b>	<b>0.040</b>	<b>23</b>			

De la Tabla 49, el p-valor es menor a 0.05 con lo cual rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, indicativo el cual manifiesta que por lo

menos una de las medias de la permeabilidad del concreto permeable (HUSO N° 8) del “Grupo experimental 1”, “Grupo experimental 2”, “Grupo experimental 3”, “Grupo de control” es diferente.

El análisis del p-valor demuestran ser menor a 0.05, con lo cual de acuerdo al planteamiento de nuestras hipótesis rechazamos la hipótesis nula y por consecuencia aceptamos la hipótesis alterna, concluimos que por lo menos una de las medias de la permeabilidad del concreto permeable (HUSO N° 8) del “Grupo experimental 1”, “Grupo experimental 2”, “Grupo experimental 3”, “Grupo de control” es diferente. Es por ello que realizamos las pruebas post hoc, específicamente la prueba Honestly Significant Difference Tukey, para determinar en cuales de los grupos existe esa diferencia.



**Paso 6: Pruebas post hoc**

**Tabla 50 — Comparaciones múltiples HSD Tukey – permeabilidad**

Grupos (I)	Grupos (J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Porcentaje (%)
<b>Grupo control</b>	Grupo experimental 1	-.019333*	0.005716	0.014	14.0
	Grupo experimental 2	-.044333*	0.005716	0.000	0.0
	Grupo experimental 3	-.106167*	0.005716	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 1</b>	Grupo control	.019333*	0.005716	0.014	14.0
	Grupo experimental 2	-.025000*	0.005716	0.002	2.0
	Grupo experimental 3	-.086833*	0.005716	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 2</b>	Grupo control	.044333*	0.005716	0.000	0.0
	Grupo experimental 1	.025000*	0.005716	0.002	2.0
	Grupo experimental 3	-.061833*	0.005716	0.000	0.0
<b>Grupo experimental 3</b>	Grupo control	.106167*	0.005716	0.000	0.0
	Grupo experimental 1	.086833*	0.005716	0.000	0.0
	Grupo experimental 2	.061833*	0.005716	0.000	0.0

La Tabla 50 nos muestra las comparaciones de las medias muestrales de permeabilidad para todos los grupos experimentales, en el cual se detalla que todos los grupos no poseen valores similares, descartando una cercana similitud.

**Tabla 51 — Subconjuntos homogéneos HSD Tukey – permeabilidad**

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
<b>Grupo control</b>	6	0.32183			
<b>Grupo experimental 1</b>	6		0.34117		
<b>Grupo experimental 2</b>	6			0.36617	
<b>Grupo experimental 3</b>	6				0.42800
<b>Sig.</b>		1.000	1.000	1.000	1.000

La Tabla 51 nos presenta los subconjuntos homogéneos de medias de todas las permeabilidades, indicando que los subconjuntos conformados por el “Grupo Experimental 1”, “Grupo Experimental 2”, “Grupo Experimental 3” y “Grupo Control”, son diferentes. Además resaltando que el “Grupo Experimental 3” tiene mayor permeabilidad en comparación de los otros grupos.

**Paso 7: Contrastación de hipótesis**

La tercera hipótesis específica planteada en este trabajo de investigación fue: “La sustitución de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas influye en la permeabilidad del concreto poroso en pavimentos”. De acuerdo a lo establecido



en las tablas 39, 40; se demostró que las medias de las permeabilidades de cada grupo analizado tienen alta variación, es decir que el “Grupo Control” (diseño de Concreto patrón) tiene menor permeabilidad, con respecto al “Grupo Experimental 1” (diseño de Concreto + 1% de PET), “Grupo Experimental 2” (diseño de Concreto + 2% de PET) y “Grupo Experimental 3” (diseño de Concreto + 3% de PET). Destacando que el “Grupo Experimental 3” posee la más alta permeabilidad en comparación con el resto de los grupos analizados. Es por ello que se manifiesta que existe influencia en la permeabilidad cuando sustituimos PET en el concreto permeable, además se concluye que la sustitución de fibras PET, aumenta directamente proporcional la permeabilidad del concreto permeable (ósea a mayor cantidad sustituida de fibras PET, más alta es la permeabilidad, o a menor cantidad sustituida de fibras PET disminuye la permeabilidad).

## 5.2. Discusión

### 5.2.1. Resistencia a la compresión

- Las medias de la resistencia a la compresión para un diseño de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de los grupos  $G_1$  (concreto + 1% de PET),  $G_2$  (concreto + 2% de PET),  $G_3$  (concreto + 3% de PET), y  $G_4$  (concreto patrón), fueron  $211.02 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $205.52 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $185.70 \text{ Kg/cm}^2$  y  $205.42 \text{ Kg/cm}^2$ , respectivamente. Se observa un aumento considerable cuando se sustituye fibras PET en el  $G_1$ , así como también un aumento muy ínfimo en el  $G_2$ , y una disminución en el  $G_3$  todas comparadas con respecto al grupo control  $G_4$ .

Bacilio y Méndez (2020), en una investigación a cerca del concreto permeable para agregados de  $1/2''$  y  $3/8''$ , sin la adición de aditivos comerciales y otros. Dentro de los resultados de la resistencia a la compresión, se observó que el agregado de  $1/2''$  obtuvo la mayor resistencia a la compresión a los 28 días de curado, siendo de  $211.65 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que para el agregado de  $3/8''$  se obtuvo resistencia de  $133.73 \text{ kg/cm}^2$ . Estos resultados reflejan ser: el primero muy similar a lo establecido en esta investigación, mientras que el segundo demuestra ser un valor muy bajo, esta diferencia abismal solo responde al diseño establecido por cada autor, además que está presente investigación se trabajó a manera de sustitución y no como adición, sin bien Bacilio y Méndez (2020) argumentan tener especímenes con porcentajes de porosidad muy altos (25% y 28%), este parámetro es esencial

para demostrar la baja resistencia, debido a que a mayor porosidad menor será la resistencia. Para el caso nuestro el porcentaje de vacíos dio un valor proximal a los 15% en promedio para el concreto patrón (sin adición de PET), esto demuestra que la resistencia es inversamente proporcional al contenido de vacíos, el cual se argumentó anteriormente.

García y Córdova (2021), hicieron un análisis de diseño del concreto permeable  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c=245$  kg/cm<sup>2</sup> con incorporación de 0.30%, 0.40% y 0.50% de fibras de polipropileno para cada diseño. Se observó que las incorporaciones de dichas fibras aumenta la resistencia a la compresión. Para el diseño de concreto permeable  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con la adición de fibras de polipropileno en 0.30, 0.40 y 0.50 % respecto al peso del cemento, fueron 219.90 kg/cm<sup>2</sup>, 222.60 kg/cm<sup>2</sup> y 228.50 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Estos valores en comparación con nuestra investigación demuestran ser más altos, esta diferencia se basa en la composición del polietileno (PET) y polipropileno, y el accionar dentro del concreto revelara también una distinción muy significativa para ambos casos, además de que ellos lo utilizaron de manera de incorporación y no como en nuestro caso de manera de sustitución, otra condición que se tomaría en cuenta sería el dimensionamiento, así como las formas y texturas de las fibras.

Hernández y Hernández (2022) afirma que la resistencia a la compresión para las muestras permeables están en un rango de 2.90 – 8.82 MPa, asumiendo que son evidentemente bajos, aclara que según la ACI 522R-10 la resistencia a la compresión de estos concretos deben estar entre 2.8 y 28 MPa, detalla que sus resultados evaluados se encontraban en un rango favorable, pero argumenta que se debe a la ausencia de agregado fino, también obtiene para muestras de concreto permeable diseñadas con un porcentaje de PET como agregado fino resistencias se encuentran entre los rangos de 2.90 a 8.82 MPa, cumpliendo lo establecido en la norma ACI 522R-10. Para el caso de nuestra investigación los resultados también se encuentran dentro del rango establecido la norma ACI 522R-10.

Navarro y Rayme (2021) en su investigación, haciendo uso de los diseños recomendados por el ACI 522R-10, y trabajando con agregados del HUSO 8 y agregados de HUSO 67, logra una resistencia a la compresión de 296.37 kg/cm<sup>2</sup>, el cual difiere ampliamente a los resultados existentes en nuestra investigación, demostrando que cada parámetro utilizado para determinar concretos incita a obtener datos y/ resultados muy alejados.



Maqbool y Sood (2020) indica que generalmente, la adición y sustitución de PET como refuerzo aumenta relativamente la resistencia a la compresión del hormigón, aunque esta relación no siempre será lineal. La mayoría de los investigadores informan que, hasta una cierta cantidad de contenido de PET en la mezcla, la resistencia a la compresión aumenta y luego disminuye con la adición y/o sustitución de PET. Maqbool y Sood (2020), agregaron fibras de PET con una relación respecto al concreto, específicamente como una fracción de volumen de cemento del 2% al 5% en la mezcla, y observaron un cambio en la resistencia a la compresión en relación con el control durante 7, 28 días. Informaron un aumento en la resistencia a la compresión en un promedio de 3 a 4 MPa en cada uno de los intervalos de tiempo, mostrando valores óptimos con un contenido de fibra del 3%,. La reducción de la resistencia a compresión más allá del porcentaje, se atribuye a la débil adherencia de las fibras a la matriz de hormigón. Algunos estudios han experimentado la adición de fibra de PET en una variedad de tamaños, texturas y formas (Kumar et al., 2019).

La principal desventaja de utilizar fibras de polietileno y polipropileno como refuerzo es su naturaleza no polar, que evita la adhesión a la matriz del hormigón. Varias metodologías en la literatura han utilizado aditivos reductores de la contracción, que ayudan a aumentar la compatibilidad de las fibras de polipropileno y/o polietileno, estos limitan el ancho de la fisura (Mora et al., 2019). El factor clave para obtener buenas propiedades mecánicas para el hormigón reforzado con fibra es la adherencia interfacial entre la matriz de hormigón y la fibra (Mohanty et al., 2022).

### 5.2.2. Resistencia a la flexión

- Las medias de la resistencia a la flexión para un diseño de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de los grupos  $G_4$  (concreto patrón),  $G_1$  (concreto + 1% de PET),  $G_2$  (concreto + 2% de PET) y  $G_3$  (concreto + 3% de PET), fueron  $29.87 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $32.60 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $29.98 \text{ Kg/cm}^2$  y  $25.28 \text{ Kg/cm}^2$ , respectivamente. Se observa un leve incremento en la resistencia a flexión cuando se sustituye fibras PET en el  $G_1$ , un equilibrio en el  $G_2$  y una disminución muy considerable en el  $G_3$ , todas con respecto al concreto patrón  $G_4$ .

Oyola y Romaní (2020) indica que la resistencia a flexión es óptima cuando se adiciona 1% de fibras PET de dimensión 2mm x 45mm, respecto al peso del



cemento, el cual mostro un incremento de  $5.87\text{kg/cm}^2$ , en comparación con nuestra investigación resulta no ser tan exacto con esa cantidad (aumento de  $2.73\text{kg/cm}^2$  con sustitución del 1% de fibras PET), del cual se podría tomar como aceptable y dentro del rango estadístico.

Ismael, et al., (2016) estudió las propiedades de resistencia a la flexión del hormigón armado con partículas de PET de desecho, este estudio concluyó que a una fracción de masa de partículas de PET del 20 %, hubo una disminución del 30,5 % en la resistencia a la flexión, en comparación con nuestra investigación la disminución porcentual de este investigador resulta ser muy alta, manifestando contrariamente que en este trabajo hubo un aumento significativo de la resistencia a flexión en el  $G_1$  (concreto + 1% de PET, así como también un aumento muy pequeño en el  $G_2$  (concreto + 2% de PET), la reducción solo se dio en el  $G_3$  (concreto + 3% de PET) pero no tan significativo como demuestra Ismael et al., (2016). Ismael, et al., (2016) argumenta que la disminución de la resistencia a la flexión se atribuyó a una reducción de la fuerza adhesiva debido a la naturaleza hidrófoba del PET, también ala alta cantidad de fibras PET que utilizo en los diferentes ensayos q propuso.

No obstante, la resistencia a la flexión se puede aumentar utilizando fibras de PET, que tienen una alta relación de aspecto, como se muestra en el estudio de Alani et al., (2020) y Borg, et al., (2018). Alani et al., (2020) informaron un aumento del 18 % en la resistencia a la flexión cuando se añadía un 1 % de fibras de PET. Este hallazgo estuvo en línea con la investigación de Borg, et al., (2018) quien informo un aumento de más del 18 % en la resistencia a la flexión del concreto con una adición de fibra de PET de menos del 1 %. En contraste con esta investigación, existe una similitud significativa porcentual, esta homogeneidad de aumento se manifiesta debido a la cantidad porcentual (1%) de fibras PET sustituida por el cemento, es por ello que podemos recalcar que un bajo porcentaje de adición y/o sustitución de fibras PET con respecto al cemento influyen en el aumento de resultados de dicha resistencia, sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para establecer las proporciones de aspecto de las fibras de PET que proporcionen datos óptimos de esta resistencia.

### 5.2.3. Permeabilidad

- Las medias de la permeabilidad para un diseño de  $210\text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de los



grupos  $G_1$  (concreto + 1% de PET),  $G_2$  (concreto + 2% de PET),  $G_3$  (concreto + 3% de PET), y  $G_4$  (concreto patrón), fueron 0.322 cm/s, 0.342 cm/s, 0.366 cm/s y 0.3428 cm/s, respectivamente. Se observa un aumento en la permeabilidad cuando se añade fibras de Polietileno (PET), demostrando que el diseño con la sustitución de PET de 3% con respecto al diseño sin aditivo de PET tiene una mejoría muy alta del 0.106 cm/s en la permeabilidad.

Muchos autores señalan que la permeabilidad del hormigón poroso es de 2 a 40 mm/s ratificando lo que manifiesta ACI 522R-10, es así que Hilares y Camacho (2023) manifiestan que los coeficientes de permeabilidad a los 28 días estuvieron dentro del rango de 1.44 mm/s y 12 mm/s, siendo mayor con una adición del 1% de plastómeros. Arcos (2019) detalla que los coeficientes de permeabilidad a los 28 días (Huso 8) con porcentajes de vacíos del 12%, 17% y 22% fueron: 0.107 cm/s, 0.135cm/s y 0.195cm/s respectivamente; a los 28 días (Huso 67) con porcentajes de vacíos del 12%, 17% y 22% fueron: 0.140cm/s, 0.228cm/s y 0.344cm/s respectivamente.

Medina (2019) encontró que la incorporación de tiras de plástico disminuye en la permeabilidad en todos los porcentajes (0.05%, 0.10%, 0.15% y 0.20%) de incorporación, siendo el de incorporación del 0.20% el más bajo con un valor de 0.222 cm/s.

En comparación con nuestra investigación los resultados de la permeabilidad indican estar en discordancia con los manifestados por los autores antes descritos, esto se podría deber al dimensionamiento de las tiras de plástico así como también las proporciones de incorporación y el diseño de mezcla.

Kevern, et al., (2015) en su estudio ha demostrado que las fibras del polímero son útiles para aumentar la permeabilidad. Sin embargo, se debe prestar especial atención a la selección del polímero, ya que se informó que algunas fibras macrosintéticas, por ejemplo, el polipropileno, reducen la permeabilidad del hormigón permeable resultante.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- El comportamiento mecánico y la permeabilidad del concreto poroso si influye con la sustitución de fibras PET recicladas con dimensionamientos de 2,5cm de largo y 3mm de ancho (macrofibras), estas sustituciones de fibras PET aumentan la resistencia a compresión así como la de flexión pero en proporciones menores iguales al 1%, mientras que en la permeabilidad existe un incremento muy discreto.
- La resistencia a la compresión para un diseño de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de los grupos  $G_1$  (concreto + 1% de PET),  $G_2$  (concreto + 2% de PET),  $G_3$  (concreto + 3% de PET), y  $G_4$  (concreto patrón), fueron  $211.02 \text{ Kg/cm}^2$  (100.48% de la resistencia de diseño),  $205.52 \text{ Kg/cm}^2$  (97.86% de la resistencia de diseño),  $185.70 \text{ Kg/cm}^2$  (88.42% de la resistencia de diseño) y  $205.42 \text{ Kg/cm}^2$  (97.81% de la resistencia de diseño) respectivamente, tal cual indica la Tabla 26, 27, 28 y 29. Esto demuestra que la sustitución de fibras PET (con respecto al cemento) con dimensiones de 2,5cm de largo y 3mm de ancho si influyen, traduciéndose a un incremento en la resistencia a la compresión.
- La resistencia a la flexión para un diseño de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de los grupos  $G_4$  (concreto patrón),  $G_1$  (concreto + 1% de PET),  $G_2$  (concreto + 2% de PET) y  $G_3$  (concreto + 3% de PET), fueron  $29.87 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $32.60 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $29.98 \text{ Kg/cm}^2$  y  $25.28 \text{ Kg/cm}^2$ , respectivamente tal cual indica la Tabla 30. Se demuestra la influencia de la sustitución de fibras PET en la resistencia a flexión, traducida a un ligero incremento con la sustitución del 1% de fibras PET de dicha resistencia, una homogeneidad con la sustitución del 2% de fibras PET y una disminución de esta resistencia con la sustitución del 3% de fibras PET.
- La permeabilidad para un diseño de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días de los grupos  $G_4$  (concreto patrón),  $G_1$  (concreto + 1% de PET),  $G_2$  (concreto + 2% de PET) y  $G_3$  (concreto + 3% de

PET), fueron 0.322 cm/s, 0.342 cm/s, 0.366 cm/s y 0.3428 cm/s, respectivamente tal cual indica la Tabla 31. Estos resultados demuestran existir influencia (sustitución de fibras PET) que es traducida a un aumento en la permeabilidad del 6.2% ,13.6% y 6.3% en los grupos experimentales  $G_1$ ,  $G_2$  y  $G_3$ ; en comparación con el concreto patrón ( $G_4$ ).

## 6.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios a largo plazo para evaluar el comportamiento y durabilidad del concreto poroso bajo diferentes condiciones tanto externas (climáticas y cargas de tráfico) como internas (adición y sustitución de materiales dentro del concreto). Estos van dirigidos a profesionales que diseñan y supervisan proyectos de infraestructura, también a entidades públicas como el gobierno regional de Apurímac y municipalidades provinciales de la región, Ellos deben considerar el concreto permeable como una alternativa viable, especialmente en zonas donde la gestión de aguas pluviales es crítica y también en épocas de lluvia. La implementación de concreto permeable es una medida efectiva para combatir la escorrentía superficial, reducir la contaminación de aguas pluviales y contribuir a la recarga de acuíferos, lo que es esencial en entornos urbanos.
- Se recomienda investigar y desarrollar nuevas mezclas de concreto permeable que mejoren su resistencia a compresión sin comprometer significativamente la permeabilidad Estas recomendaciones son particularmente relevantes para ingenieros que diseñan y especifican materiales para pavimentos, aceras, y otras infraestructuras que requieran tanto resistencia mecánica como permeabilidad. La resistencia a compresión es un factor crítico para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras hechas con concreto permeable, especialmente en aplicaciones con cargas pesadas o tráfico intenso. Mejorarla es esencial para ampliar el uso de este material en proyectos de infraestructura más exigentes.
- Se recomienda realizar investigaciones orientadas a mejorar la resistencia a flexión del concreto permeable, ya que es una de las áreas donde este material muestra limitaciones en comparación con el concreto convencional. Esto podría incluir el desarrollo de mezclas con otras fibras de refuerzo (como fibras de vidrio, polipropileno, o acero) que mejoren la capacidad de flexión sin afectar negativamente la permeabilidad. Estas van dirigidas principalmente a ingenieros que diseñan estructuras y pavimentos donde la resistencia a flexión es un factor crítico. Mejorar la resistencia a flexión del concreto permeable permitiría su uso en una mayor variedad de aplicaciones, incluyendo



pavimentos de tráfico ligero a moderado, estructuras peatonales elevadas, y otras construcciones que requieren una buena resistencia mecánica además de permeabilidad.

- Se recomienda realizar más investigaciones para optimizar la cantidad y distribución de fibras PET en la mezcla de concreto permeable, con el objetivo de maximizar la permeabilidad sin afectar negativamente otras propiedades mecánicas. Es importante entender cómo diferentes porcentajes de fibras PET impactan la estructura porosa y la capacidad de drenaje del concreto. La sustitución de fibras convencionales por fibras PET recicladas en concreto permeable no solo ayuda a mejorar la gestión de residuos plásticos, sino que también promueve la economía circular. Mejorar la permeabilidad en este contexto refuerza el valor ambiental del material.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 522R-10. (2010).** Report on Pervious Concrete. Michigan: American Concrete Institute.
- ACI 544.1 R-96 (2018).** State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. American Concrete Institute. Reapproved 2002. USA.
- ALANI A., M. JOHARI, AT NOAMAN, MN BUNNORI, TA MAJID.** Efecto de la incorporación de fibra de PET y aglutinante de mezcla ternaria en el comportamiento de flexión y tracción del hormigón verde de ultra alto rendimiento, *Constr. Construir. Mate.* 331 (2020) 1–8.
- ALVITER, A., CÁRDENAS, E. & JAIMES, J. (2019).** Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. Universidad Autónoma del Estado de México. [En línea] Recuperado el 20 de abril del 2020, desde; <http://www.redalyc.org/jatsRepo/104/10450491009/html/index.html>
- ALMESHAL, I., BA TAYEH, R. ALYOUSEF, H. ALABDULJABBAR, AM MOHAMED.** Concreto ecológico que contiene plástico reciclado como reemplazo parcial de la arena (doi: <https://doi.org/>), *J. Mater. Res. Tecnología* 9 (3) (2020) 4631–643, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.090>
- ARCOS, C.** Concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, 2019. Abancay - 2019. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2022. 163 pp. Disponible en: <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1080>
- ASTM C1688/C1688M.** Standard test method for density and void content of freshly mixed pervious concrete (2008). West Conshohocken. Retrieved from [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C642.** Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete (2013). West Conshohocken. <https://doi.org/10.1520/C0642-13>
- ASTM C39/C39M.** Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens (2017). West Conshohocken. [https://doi.org/10.1520/C0039\\_C0039M-17b](https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-17b)
- ASTM C143/C143M.** Standard test method for slump of hydraulic cement concrete (2015). West Conshohocken. [https://doi.org/10.1520/C0143\\_C0143M-15A](https://doi.org/10.1520/C0143_C0143M-15A)
- BACILIO, G. MÉNDEZ, R.** Evaluación del concreto permeable para su uso como pavimento rígido en la ciudad de Trujillo, Trujillo - 2020. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2020. 94 pp. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50724>
- BARROS, V. Y RAMÍREZ H. (2018),** Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Pifo, trabajo



de grado de la Universidad Central del Ecuador - Quito, Ecuador.

**BORG R., O. BALDACCHINO, L. FERRARA.** Rendimiento temprano y características mecánicas del hormigón reforzado con fibra de PET reciclado, *Constr. Construir. Mate.* 108 (2018) 29–47.

**BOSCO, J., LÓPEZ, T., MARTÍNEZ, G. & MENCHACA, C. (2018).** Materiales sustentables y reciclados en la construcción. *OmniaScience*. [Versión Electrónica] Recuperado en diciembre del 2019, desde; [https://books.google.com.pe/books?id=JI4wBwAAQBAJ&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=JI4wBwAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s)

**BUSTAMANTE, I. (2017).** Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.

**CALDERÓN, V. Y., & CHARCA, J. A. (2016).** Investigación en concreto poroso. ASOCEM, 13.

**CASTELLS, X. & JURADO, L. (2018).** Los Plásticos Residuales y sus Posibilidades de Valoración. Díaz de Santos. [Versión Electrónica] Recuperado en diciembre del 2019 desde; [https://books.google.com.pe/books?id=F0BeFOmQpnwC&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=F0BeFOmQpnwC&hl=es&source=gbs_navlinks_s)

**CÓRDOVA, R. (2016).** Determinación del grado de permeabilidad y evaluación de la resistencia a la colmatación, haciendo usos de aditivos de las marcas Sika y Euco para la fabricación de concreto poroso en la ciudad de Arequipa. Universidad Católica de Santa María.

**CÓRDOVA, Z., M. (2016).** Estadística Descriptiva e Inferencial. Aplicaciones. 5th edición. Lima-Perú.

**DELATTE, N. (2018).** Concrete Pavement Design, Construction, and Performance. CRC Press. [Versión Electrónica]. Recuperado en diciembre del 2019, desde; [https://books.google.com.pe/books?id=pWHSBQAAQBAJ&dq=pervious+concrete&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=pWHSBQAAQBAJ&dq=pervious+concrete&source=gbs_navlinks_s)

**FLORES, C. E., & PACOMPIA, I. A. (2015).** Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos  $f'c=175\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Puno. Universidad Nacional del Altiplano.

**EYNI, M. et al.** Investigación sobre las propiedades del hormigón con gránulos de tereftalato de polietileno (PET) reciclado como sustituto del árido fino [en línea]. Febrero, 2022, 2-11 [fecha de consulta: 23 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00934>

**GARCIA, C. CÓRDOVA, K.** Evaluación del concreto permeable con incorporación de fibra de polipropileno para pavimento de tránsito ligero – Ucayali, Ucayali - 2021. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali, 2021. 163 pp. Disponible en: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5152>



**GUTIERREZ, G. E.; VLADIMIROVNA, P.O.; (2016).** Estadística Inferencial 1 para Ingenierías y Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de Mexico. Primera Edición. Pág. 361.

**GUYER, J. (2019).** An Introduction to Permeable Concrete Pavement. Guyer Partners. [Versión Electrónica] Recuperado en diciembre del 2019 desde; [https://books.google.com.pe/books?id=pj6xDwAAQBAJ&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=pj6xDwAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s)

**HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. & MENDOZA, C (2018).** Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.

**HILARES, K., CAMACHO, J.** Evaluación del comportamiento del concreto poroso permeable mediante la incorporación de plastómeros en el distrito de Chalhuanca, provincia de Aymaraes - Apurímac. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Apurímac: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac, 2023. 152pp. Disponible en: [https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1341/T\\_133.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1341/T_133.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**IBRAHIM, A., MAHMOUD, E., YAMIN, M., & PATIBANDLA, V. C. (2016).** Experimental study on portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. *Construction and Building Materials*, 50, 524–529. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.022>

**ISMAEL Z., A. HASHMI.** Uso de desechos plásticos en mezclas de concreto como reemplazo de agregados, *Waste Manag.* 28 (2016) 2041-2047.

**KANGAVARA M. E., LOKUGEA W., MANOLOA., KARUNASENAA W., FRIGIONEB M.** Investigación sobre las propiedades del hormigón con granulos de tereftalato de polietileno (PET) reciclado como sustituto del árido fino. (2022), Escuela de Ingeniería, Centro de Materiales del Futuro, Universidad del Sur de Queensland, Campus de Springfield, QLD 4300, Australia. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00934>

**KEVERN J., BIDDLE D., CAO Q.** Efectos de las fibras macrosintéticas sobre las propiedades del hormigón permeable, *J. Mater. civ. Ing.* 27 (2015) 1–6.

**KUMAR, M., REDDY, I., SASIDHAR, C.** Investigaciones experimentales sobre la resistencia a la flexión del hormigón reforzado con PET. (2019).

**LI, W., M. FENG, X. LIU, M. HUANG, R. MA,** Ultra-high molecular weight polyethylene fibers/epoxy composites: effect of fiber treatment on properties, *Fiber Polym.* 20 (2019) 421–427.

**MAQBOOL, S., SOOD, H.** Efecto de las fibras de PET en el desempeño del concreto, *Int. J.*



Ciencia. Res. Educ. 4 (12) (2020).

**MENA, L. et al.** Evaluación de las propiedades mecánicas y la trabajabilidad del hormigón armado con fibras de tereftalato de polietileno [en línea]. Septiembre, 2021, 2-8 [fecha de consulta: 19 de agosto de 2023]. ISSN: 2307-2314. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.054>

**MEDINA, E.** Influencia de diferentes porcentajes de tiras de plástico en la permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable y su aplicación como pavimento rígido, Trujillo 2019. Tesis (Título de Ingeniero Civil). La Libertad: Universidad Privada del Norte, 2019. 157pp. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23973>

**MOHANTY A, DRZAL L., MISRA M.** Compuestos de polipropileno reforzados con fibra natural diseñados: influencia de las modificaciones superficiales y el nuevo proceso de impregnación de polvo, J. Adhes. Ciencia Tecnología 16 (2022) 999–1015.

**MONTALVO, M. (2017).** Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6117>

**MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.** Applied Statistics and Probability for Engineers. 7th ed. New York: Wiley, 2018. ISBN 978-1119409533.

**MORA J., GETTU R., AGUADO A.** Influencia de los aditivos reductores de retracción en la reducción del agrietamiento por retracción plástica en el hormigón, Cem. concr. Res. 39 (3) (2019) 141–146.

**NAVARRO, H., RAYME, J.** Elaboración del concreto poroso con fibra de polipropileno como alternativa para reducir la contaminación sonora causada por la interacción del neumático y la calzada aplicado en la avenida San Luis, distrito de San Borja. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2021. 192pp. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/656331>

**NOLBERTO, S. A.; PONCE, A.M.; (2017).** Estadística Inferencial Aplicada. Unidad de Post Grado de la faculta de educación de la UNMSM. Lima. Primera Edición. Pág. 166.

**NTP 339.046. CONCRETO.** Método de ensayo para determinar la densidad, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto (2008). Lima.

**NTP 339.035. CONCRETO.** Método de ensayo para medición del asentamiento del concreto de cemento Portland (2009). Lima.

**OYOLA, B. ROMANI, Y.** Influencia de adición de fibras de tereftalato de polietileno reciclable en las propiedades de concreto permeable para pavimento de tráfico liviano, Lima-diciembre del 2020. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana Union, 2020. 248 pp.



Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4071>

**QUISPE, I., TICONA, E.** Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en concreto permeable  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Tesis (Título de ingeniero civil). Juliaca: Universidad Peruana Union, 2017. 171pp. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/947>

**SÁNCHEZ, C., PEÑA, J. & RICO, L. (2018).** Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) Reciclado en la Ingeniería Civil. Universidad Cooperativa de Colombia. [En línea]. Recuperado el 10 de junio del 2019 de; [http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/4232/1/2018\\_identificacion\\_usos\\_actuales.pdf](http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/4232/1/2018_identificacion_usos_actuales.pdf)

**SONEBI M., BASSUONI M., YAHIA A.** Hormigón permeable: diseño de mezclas, propiedades y aplicaciones, RILEM Tech. Letón. 1 (2016) pag. 109.

**TRUJILLO, A., & QUIROZ, D. P. (2018).** Pavimentos porosos utilizados como sistema alternativo al drenaje urbano. Pontificia Universidad Javeriana.

**VELÁSQUEZ, J. (2018).** El concreto permeable y su aplicación al drenaje vial. Asocem. [Versión Electrónica] Recuperado en diciembre del 2019 desde; [http://web.asocem.org.pe/asocem/ebooks/book\\_84628/data/Concreto%20Permeable.pdf](http://web.asocem.org.pe/asocem/ebooks/book_84628/data/Concreto%20Permeable.pdf)

**WASSERMAN, L.** All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference. 2nd ed. New York: Springer, 2020. ISBN 978-0387402727.

**ZHANG C., GOPALARATNAM V., YASUDA H.** Mix design for recycled aggregate pervious concrete based on response surface methodology. Artículo Científico [en línea]. Noviembre -2019, mayo-2020.[fecha de consulta: 10 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119776>



## ANEXOS



ANEXO 1.

Tabla 52 — Matriz de consistencia

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
<p><b><u>Problema General</u></b></p> <p>¿Cuál es la influencia en el comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024?</p> <p><b><u>Problemas Específicos</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es la resistencia a la compresión de la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concretos porosos en pavimentos?</li> <li>• ¿Cuál es la resistencia a flexión de la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concretos porosos en pavimentos?</li> <li>• ¿Cuál es la permeabilidad de la sustitución de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concretos porosos en pavimentos?</li> </ul>	<p><b><u>Objetivo General</u></b></p> <p>Evaluar la influencia del comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concretos porosos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024</p> <p><b><u>Objetivos Específicos</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar la resistencia a compresión de la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concretos porosos en pavimentos.</li> <li>• Analizar la resistencia a flexión de la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concretos porosos en pavimentos.</li> <li>• Analizar la permeabilidad de la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concretos porosos en pavimentos.</li> </ul>	<p><b><u>Hipótesis General</u></b></p> <p>Influye en el comportamiento mecánico y permeabilidad la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024.</p> <p><b><u>Hipótesis Especificas</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Influye en la resistencia a la compresión la sustitución parcial del 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.</li> <li>• Influye en la resistencia a flexión la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.</li> <li>• Influye en la permeabilidad la sustitución parcial de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos.</li> </ul>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Fibras PET recicladas.</p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Comportamiento mecánico y permeabilidad de concretos porosos.</p>	<p>Porcentaje de fibras PET recicladas.</p> <p>Resistencia a la compresión del concretos poroso.</p> <p>Resistencia a la flexión del concretos poroso.</p> <p>Permeabilidad del concretos poroso.</p>	<p>Sustitución parcial de 0% de PET</p> <p>Sustitución parcial de 1% de PET</p> <p>Sustitución de 2% de PET</p> <p>Sustitución parcial de 3% de PET</p> <p>Esfuerzo</p> <p>Esfuerzo</p> <p>Velocidad de flujo</p>	<p>%</p> <p>%</p> <p>%</p> <p>%</p> <p>Kg/cm2</p> <p>Kg/cm2</p> <p>cm/s</p>



ANEXO 2. Instrumentos de recolección de datos



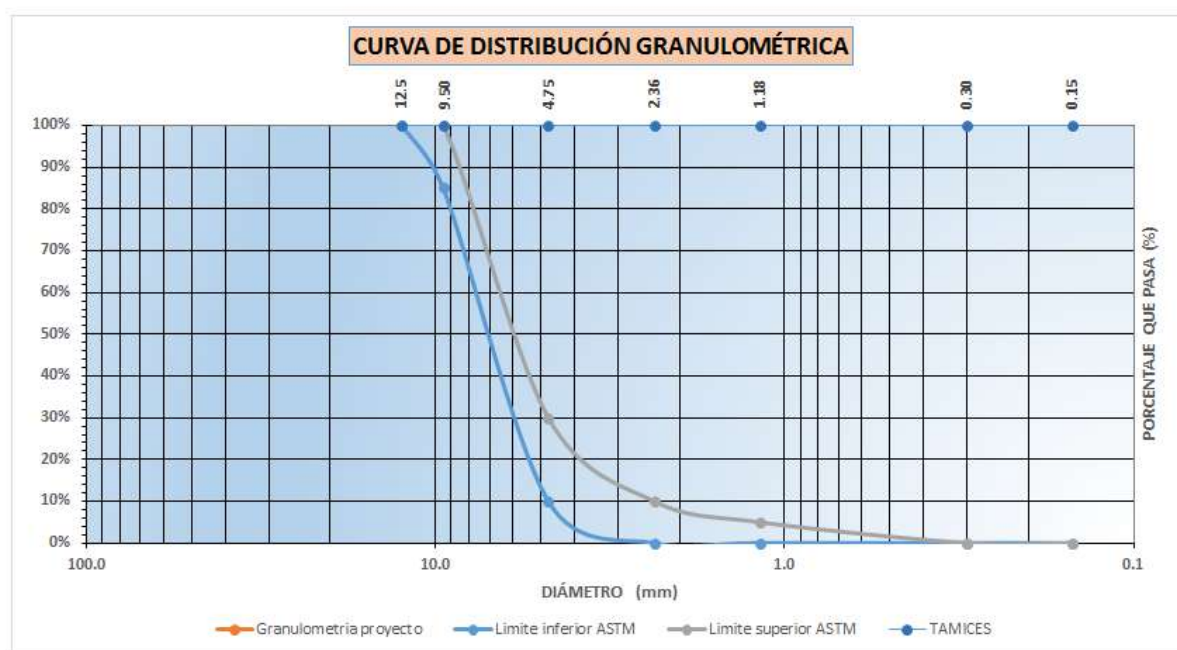
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 204, ASTM C 33, NTP 400.012:2001



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA :		TESISTA :	
CANTERA :		LUGAR DE ENSAYO :	
UBICACIÓN :		FECHA :	

TAMAÑO DEL TAMIZ		Peso retenido (g)	Retenido parcial	Retenido acumulado	Acumulado que pasa	Número de tamaño	Descripción de la muestra
mm	Pulg						
12.5	1/2"						<i>Tamaño máx.</i> : No 4
9.50	3/8"						
4.75	No 4						<i>Peso total (g)</i> : 0.00
2.36	No 8						
1.18	No 16						<i>Módulo de finura</i> : 0.00
0.30	No 50						
0.15	No 100						
0.075	No 200						
<No. 200	Cacerola						

TOTAL =



OBSERV. : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 TESISTA

\_\_\_\_\_  
 ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

Figura 23 — Formato N° 1: Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso





**PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO**

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 203, ASTM C 29, NTP 400.021:2001



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA :		TESISTA :	
CANTERA :		LUGAR DE ENSAYO :	
UBICACIÓN :		FECHA :	

	PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO	
	ENSAYO N° 1	ENSAYO N° 2
Peso del material + molde (gr.) <b>(A)</b>		
Peso del molde (gr.) <b>(B)</b>		
Peso neto del material (gr.) <b>(C = A-B)</b>		
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> ) <b>(D)</b>		
Peso unitario suelto (g/cm <sup>3</sup> ) <b>(E = C/D)</b>		
<b>PROMEDIO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>		

	PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO	
	ENSAYO N° 1	ENSAYO N° 2
Peso del material + molde (gr.) <b>(A)</b>		
Peso del molde (gr.) <b>(B)</b>		
Peso neto del material (gr.) <b>(C = A-B)</b>		
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> ) <b>(D)</b>		
Peso unitario suelto (g/cm <sup>3</sup> ) <b>(E = C/D)</b>		
<b>PROMEDIO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>		

**OBSERV.:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ **TESISTA**

\_\_\_\_\_ **ENCARGADO DEL LABORATORIO**

**PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "**

**Figura 24 — Formato N° 2: Peso unitario del agregado grueso**





**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 206, ASTM C 128, NTP 400.021:2001



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA :		TESISTA :	
CANtera :		LUGAR DE ENSAYO :	
UBICACIÓN :		FECHA :	

	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Peso de la canastilla sumergida (gr.) <b>(A)</b>		
Peso de la muestra seca (gr.) <b>(B)</b>		
Peso de la canastilla + muestra sumergida (gr.) <b>(C)</b>		
Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr.) <b>(D)</b>		
Peso de agua absorbida (gr.) <b>(E = D - B)</b>		
PESO ESPECÍFICO (gr/cm <sup>3</sup> )		
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN (%)		
<b>PESO ESPECÍFICO PROMEDIO (Kg/cm<sup>3</sup>)</b>		
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO (%)</b>		

**OBSERV. :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ TESISTA

\_\_\_\_\_ ENCARGADO DEL LABORATORIO

**PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "**

**Figura 25 — Formato Nº 3: Peso específico y absorción del agregado grueso**





**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 205, ASTM C 128, NTP 400.021:2001



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA :		TESISTA :	
CANTERA :		LUGAR DE ENSAYO :	
UBICACIÓN :		FECHA :	

	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Volumen del picnómetro (ml)		
Peso del picnómetro (gr.)		
Peso de la muestra seca (gr.)		
Peso del picnómetro + agua + muestra (gr.)		
Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr.)		
Peso del picnómetro + agua (gr.)		
Peso de la muestra sumergida (gr.)		
Peso del agua desplazada (gr.)		
Peso del agua absorbida (gr.)		
<b>Peso Especifico (gr/cm3)</b>		
<b>Capacidad de Absorción (%)</b>		
<b>PESO ESPECÍFICO PROMEDIO (Kg/cm3)</b>		
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO (%)</b>		

OBSERV. : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ TESISTA

\_\_\_\_\_ ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

**Figura 26 — Formato N° 4: Gravedad específica y absorción del agregado fino**





**HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 215, ASTM C 29, NTP 400.021:2001



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA :		TESISTA :	
CANTERA :		LUGAR DE ENSAYO :	
UBICACIÓN :		FECHA :	

	HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Peso de muestra húmeda (gr.) (A)		
Peso de muestra seca (secado en estufa a 110 ± 5 °C) (gr.) (B)		
Porcentaje de Humedad (%) (C = (A-B/B)*100)		
<b>PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD (%)</b>		

	HUMEDAD DEL AGREGADO FINO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Peso de muestra húmeda (gr.) (A)		
Peso de muestra seca (secado en estufa a 110 ± 5 °C) (gr.) (B)		
Porcentaje de Humedad (%) (C = (A-B/B)*100)		
<b>PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD (%)</b>		

**OBSERV. :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

TESISTA

\_\_\_\_\_

ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCA Y APURIMAC, 2024 "

**Figura 27 — Formato N° 5: Humedad del agregado grueso y agregado fino**





**REGISTRO DE DATOS DEL CONTENIDO DE VACÍOS DEL CONCRETO PERMEABLE**



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA :		TESISTA :	
ENSAYO :		LUGAR DE ENSAYO :	
DISEÑO DE MEZCLA :		FECHA :	

Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	$D_m$	$H_m$	$V_m$	$V_{H2O(D)}$	$C.V.$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							

CONTENIDO DE VACIOS

$$C.V. = \frac{V_m - V_{H2O(D)}}{V_m}$$

Donde:

- $C.V.$  = Contenido de Vacios (%)
- $V_m$  = Volumen de la muestra (L)
- $V_{H2O(D)}$  = Volumen de agua desplazada (L)
- $D_m$  = Diametro de la muestra (cm)
- $H_m$  = Altura de la muestra (cm)

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

**Figura 28 — Formato N° 6: Contenido de vacíos del concreto permeable**





**REGISTRO DE DATOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
Y FLEXIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE**



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA :		TESISTA :	
ENSAYO :		LUGAR DE ENSAYO :	
DISEÑO DE MEZCLA :		FECHA :	

Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					

**OBSERV. :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

TESISTA

\_\_\_\_\_

ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

**Figura 29 — Formato N° 7: Resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable**





**REGISTRO DE DATOS DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE**



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA :		TESISTA :	
ENSAYO :		LUGAR DE ENSAYO :	
DISEÑO DE MEZCLA :		FECHA :	

GRUPO	CÓDIGO DE REPETICIONES	L	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	A <sub>m</sub>	A <sub>E</sub>	ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	t	K
GRUPO DE CONTROL									
GRUPO EXPERIMENTAL 1									
GRUPO EXPERIMENTAL 2									
GRUPO EXPERIMENTAL 3									

**LEY DE DARCY**

$$K = \frac{L * A_M}{t * A_E} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

**Donde:**

- K = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)
- L = Longitud de muestra (cm)
- A<sub>M</sub> = Area de muestra (cm<sup>2</sup>)
- A<sub>E</sub> = Area de tubería de carga (cm<sup>2</sup>)
- t = Tiempo de descarga de h<sub>1</sub> a h<sub>2</sub> (seg)
- h<sub>1</sub> = Altura del agua, respecto al nivel de referencia (cm)
- h<sub>2</sub> = Altura hasta descarga del agua, respecto al nivel de referencia (cm)

\_\_\_\_\_  
TESISTA

\_\_\_\_\_  
ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE FIBRAS PET REICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

**Figura 30 — Formato N° 8: Permeabilidad del concreto permeable**



ANEXO 3. Resultados



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 204, ASTM C 33, NTP 400.012:2001

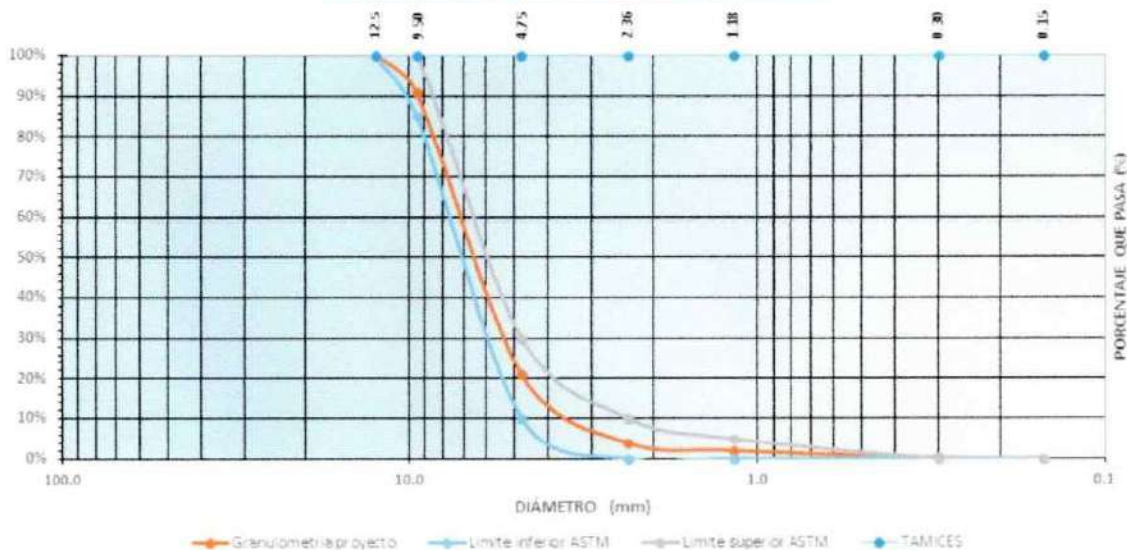


DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA : Agregado grueso	TESISTA : Reyner D. Barazorda Romero		
CANTERA : Pachachaca	LUGAR DE ENSAYO : Laboratorio LUNIX - RUC: 203923002		
UBICACIÓN : Abancay - Apurímac	FECHA : Mayo del 2023		

TAMAÑO DEL TAMIZ	Peso retenido (g)	Retenido parcial	Retenido acumulado	Acumulado que pasa	Número de tamaño	Descripción de la muestra
12.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
9.50	90.00	9.00%	9.00%	91.00%		Tamaño máx. : No 4
4.75	700.00	70.00%	79.00%	21.00%		Peso total (g) : 1000.00
2.36	170.00	17.00%	96.00%	4.00%		Módulo de finura : 5.82
1.18	20.00	2.00%	98.00%	2.00%		
0.30	18.00	1.80%	99.80%	0.20%		
0.15	2.00	0.20%	100.00%	0.00%		
0.075	0.00	0.00%	100.00%	0.00%		
<No. 200	Cacerola	0.00%	100.00%	0.00%		

TOTAL = 1000.00 g

**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**



OBSERV. : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

TESISTA

JOSÉ AUGUSTO QUISPE MUNARES  
 ING. CIVIL  
 CIP N° 100560  
 ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURÍMAC, 2024 "

Figura 31 — Resultado del análisis granulométrico del agregado grueso





**PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO**

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 203, ASTM C 29, NTP 400.021:2001



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA	: Agregado grueso	TESISTA	: Reyner D. Barazorda Romero
CANTERA	: Pachachaca	LUGAR DE ENSAYO	: Laboratorio LUNIX - RUC: 203923002
UBICACIÓN	: Abancay - Apurímac	FECHA	: Mayo del 2023

	PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Peso del material + molde (gr.) (A)	19180	19170
Peso del molde (gr.) (B)	3950	3950
Peso neto del material (gr.) (C = A-B)	15230	15220
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> ) (D)	9530	9530
Peso unitario suelto (g/cm <sup>3</sup> ) (E = C/D)	1.598	1.597
<b>PROMEDIO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1597.60</b>	

	PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Peso del material + molde (gr.) (A)	20580	20590
Peso del molde (gr.) (B)	3950	3950
Peso neto del material (gr.) (C = A-B)	16630	16640
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> ) (D)	9530	9530
Peso unitario compactado (g/cm <sup>3</sup> ) (E = C/D)	1.745	1.746
<b>PROMEDIO (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1745.50</b>	

OBSERV.: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

  
 \_\_\_\_\_  
 TESISTA

  
 JOSÉ AUGUSTO QUIJPE MUNARES  
 ING. CIVIL  
 CIP. N° 300569  
 \_\_\_\_\_  
 ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

Figura 32 — Resultado del peso unitario del agregado grueso





**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 206, ASTM C 128, NTP 400.021:2001



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA	: Agregado grueso	TESISTA	: Reyner D. Barazorda Romero
CANTERA	: Pachachaca	LUGAR DE ENSAYO	: Laboratorio LUNIX - RUC: 203923002
UBICACIÓN	: Abancay - Apurimac	FECHA	: Mayo del 2023

	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Peso de la canastilla sumergida (gr.) (A)	1097.5	1101.3
Peso de la muestra seca (gr.) (B)	3310	3301
Peso de la canastilla + muestra sumergida (gr.) (C)	3122.7	3134.2
Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr.) (D)	3338.4	3334.7
Peso de agua absorbida (gr.) (E = D - B)	28.4	33.7
PESO ESPECÍFICO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.52	2.54
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN (%)	0.86%	1.02%
<b>PESO ESPECÍFICO PROMEDIO (Kg/cm<sup>3</sup>)</b>	2528.1	
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO (%)</b>	0.94%	

OBSERV.: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

  
 \_\_\_\_\_  
 TESISTA

  
  
 JOSÉ AUGUSTO QUISPE MUNARES  
 ING. CIVIL  
 CIP. N° 300569  
 ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

Figura 33— Resultados del peso específico y absorción del agregado grueso





**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 205, ASTM C 128, NTP 400.021:2001



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA	: Agregado fino	TESISTA	: Reyner D. Barazorda Romero
CANTERA	: Pachachaca	LUGAR DE ENSAYO	: Laboratorio LUNIX - RUC: 203923002
UBICACIÓN	: Abancay - Apurimac	FECHA	: Mayo del 2023

	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Volumen del picnómetro (ml)	500	500
Peso del picnómetro (gr.)	189.6	189.6
Peso de la muestra seca (gr.)	489.3	487.6
Peso del picnómetro + agua + muestra (gr.)	988.6	987.3
Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr.)	503.6	502.2
Peso del picnómetro + agua (gr.)	682.5	684.6
Peso de la muestra sumergida (gr.)	306.1	302.7
Peso del agua desplazada (gr.)	183.2	184.9
Peso del agua absorbida (gr.)	14.3	14.6
<b>Peso Especifico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.67	2.64
<b>Capacidad de Absorcion (%)</b>	2.92%	2.99%
<b>PESO ESPECÍFICO PROMEDIO (Kg/cm<sup>3</sup>)</b>	2653.9	
<b>CAPACIDAD DE ABSORCIÓN PROMEDIO (%)</b>	2.96%	

OBSERV.: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

  
 \_\_\_\_\_  
 TESISTA

  
 ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

Figura 34 — Resultados del peso específico y absorción del agregado fino





**HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 215, ASTM C 29, NTP 400.021:2001



DATOS DE LA GENERALES	
MUESTRA : Agregado grueso y fino	TESISTA : Reyner D. Barazorda Romero
CANTERA : Pachachaca	LUGAR DE ENSAYO : Laboratorio LUNIX - RUC: 203923002
UBICACIÓN : Abancay - Apurimac	FECHA : Mayo 2023

	HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Peso de muestra húmeda (gr.) (A)	523.1	525.3
Peso de muestra seca (secado en estufa a 110 ± 5 °C) (gr.) (B)	522.3	524.6
Porcentaje de Humedad (%) (C = (A-B/B)*100)	0.15	0.13
<b>PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD (%)</b>	0.14	

	HUMEDAD DEL AGREGADO FINO	
	ENSAYO Nº 1	ENSAYO Nº 2
Peso de muestra húmeda (gr.) (A)	397.6	388.4
Peso de muestra seca (secado en estufa a 110 ± 5 °C) (gr.) (B)	393.3	383.9
Porcentaje de Humedad (%) (C = (A-B/B)*100)	1.09	1.17
<b>PROMEDIO DEL % DE HUMEDAD (%)</b>	1.13	

**OBSERV. :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

  
 \_\_\_\_\_  
 TESISTA

   
 JOSÉ AUGUSTO QUISPE MUNARES  
 ING. CIVIL  
 CIP. N° 300569  
 \_\_\_\_\_  
 ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024"

**Figura 35 — Resultados de la humedad del agregado grueso y agregado fino**





**REGISTRO DE DATOS DEL CONTENIDO DE VACÍOS DEL CONCRETO PERMEABLE**  
 NORMAS TÉCNICA: ASTM C 624



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA	: Especímenes de concreto permeable	TESISTA	: Bach. Reyner D. Barazorda Romero
ENSAYO	: Contenido de vacios	LUGAR DE ENSAYO	: Laboratorio Lunix Ingenieros
DISEÑO DE MEZCLA	: Todos los diseños	FECHA	: 17-08-2023

DISEÑO DE MEZCLA	Nº DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	A	C	D	C.V.
CONCRETO PATRÓN	1	17/08/2023	2468.9	2642.3	1477.3	14.884
	2	17/08/2023	2528.2	2705.9	1568.6	15.625
	3	17/08/2023	2478.7	2652.8	1512.9	15.273
	4	17/08/2023	2440.8	2612.1	1438.5	14.596
CONCRETO + 1% DE PET	5	17/08/2023	2544.3	2722.4	1537.3	15.028
	6	17/08/2023	2397.7	2558.6	1571.4	16.299
	7	17/08/2023	2466.5	2619.3	1614.8	15.212
	8	17/08/2023	2509.1	2684.7	1489.1	14.687
CONCRETO + 2% DE PET	9	17/08/2023	2337.8	2500.4	1497.3	16.210
	10	17/08/2023	2294.4	2453.8	1398.9	15.110
	11	17/08/2023	2376.2	2541.6	1576.4	17.136
	12	17/08/2023	2312.5	2473.2	1452.8	15.749
CONCRETO + 3% DE PET	13	17/08/2023	3189.2	3448.9	1987.4	17.769
	14	17/08/2023	2764.9	2955.4	1832.5	16.965
	15	17/08/2023	2589.5	2768.0	1745.1	17.450
	16	17/08/2023	2683.3	2868.4	1788.7	17.144

CONTENIDO DE VACIOS

Donde:

$$C.V. = \left( \frac{C - A}{C - D} \right) \times 100$$

C.V. = Contenido de Vacios (%)

A: Masa de la probeta seca en el horno (g)

C: Masa de la probeta después de inmersión y ebullición en agua (g)

D: Masa aparente de la probeta después de inmersión y ebullición en agua (g)

  
 TESISISTA

  
 JOSÉ AUGUSTO QUISPE MUNARES  
 ING. CIVIL  
 CIP. N° 300569  
 ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

Figura 36 — Resultados del contenido de vacíos del concreto permeable





## REGISTRO DE DATOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA	: Especímenes de concreto permeable	TESISTA	: Bach. Reyner D. Barazorda Romero
ENSAYO	: Resistencia a la Compresión	LUGAR DE ENSAYO	: Laboratorio Lunix Ingenieros
DISEÑO DE MEZCLA	: Concreto Patrón y Concreto + 1% de PET	FECHA	:

DISEÑO DE MEZCLA: CONCRETO PATRÓN					
Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	CP-7-A	20/06/2023	27/06/2023	07 días	175.4
2	CP-7-B	20/06/2023	27/06/2023	07 días	178.7
3	CP-7-C	20/06/2023	27/06/2023	07 días	180.2
4	CP-7-D	20/06/2023	27/06/2023	07 días	182.9
5	CP-7-E	20/06/2023	27/06/2023	07 días	171.4
6	CP-7-F	20/06/2023	27/06/2023	07 días	177.3
7	CP-14-A	20/06/2023	4/07/2023	14 días	191.4
8	CP-14-B	20/06/2023	4/07/2023	14 días	199.5
9	CP-14-C	20/06/2023	4/07/2023	14 días	189.4
10	CP-14-D	20/06/2023	4/07/2023	14 días	196.3
11	CP-14-E	20/06/2023	4/07/2023	14 días	196.7
12	CP-14-F	20/06/2023	4/07/2023	14 días	200.3
13	CP-28-A	20/06/2023	18/07/2023	28 días	207.8
14	CP-28-B	20/06/2023	18/07/2023	28 días	209.3
15	CP-28-C	20/06/2023	18/07/2023	28 días	201.2
16	CP-28-D	20/06/2023	18/07/2023	28 días	198.5
17	CP-28-E	20/06/2023	18/07/2023	28 días	211.1
18	CP-28-F	20/06/2023	18/07/2023	28 días	204.6

DISEÑO DE MEZCLA: CONCRETO + 1% DE PET					
Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	C1%PET-7-A	20/06/2023	27/06/2023	07 días	184.3
2	C1%PET-7-B	20/06/2023	27/06/2023	07 días	178.5
3	C1%PET-7-C	20/06/2023	27/06/2023	07 días	186.4
4	C1%PET-7-D	20/06/2023	27/06/2023	07 días	177.9
5	C1%PET-7-E	20/06/2023	27/06/2023	07 días	189.1
6	C1%PET-7-F	20/06/2023	27/06/2023	07 días	185.3
7	C1%PET-14-A	20/06/2023	4/07/2023	14 días	202.3
8	C1%PET-14-B	20/06/2023	4/07/2023	14 días	199.4
9	C1%PET-14-C	20/06/2023	4/07/2023	14 días	202.5
10	C1%PET-14-D	20/06/2023	4/07/2023	14 días	198.4
11	C1%PET-14-E	20/06/2023	4/07/2023	14 días	205.1
12	C1%PET-14-F	20/06/2023	4/07/2023	14 días	199.3
13	C1%PET-28-A	20/06/2023	18/07/2023	28 días	209.8
14	C1%PET-28-B	20/06/2023	18/07/2023	28 días	212.2
15	C1%PET-28-C	20/06/2023	18/07/2023	28 días	208.5
16	C1%PET-28-D	20/06/2023	18/07/2023	28 días	214.3
17	C1%PET-28-E	20/06/2023	18/07/2023	28 días	207.9
18	C1%PET-28-F	20/06/2023	18/07/2023	28 días	213.4

OBSERV.: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

  
 \_\_\_\_\_  
 TESISTA

  
 JOSE AUGUSTO QUISPE MUNARES  
 ING. CIVIL  
 CIP. N° 300569  
 \_\_\_\_\_  
 ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURÍMAC, 2021"

Figura 37 — Resultados de la resistencia a la compresión del concreto permeable (concreto patrón y concreto +1% de PET)





## REGISTRO DE DATOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE



DATOS DE LA GENERALES			
<b>MUESTRA</b>	: Especímenes de concreto permeable	<b>TESISTA</b>	: Bach. Reynier D. Barazorda Romero
<b>ENSAYO</b>	: Resistencia a la Compresión	<b>LUGAR DE ENSAYO</b>	: Laboratorio Lunix Ingenieros
<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>	: Concreto + 2% de PET y Concreto + 3% de PET	<b>FECHA</b>	:

DISEÑO DE MEZCLA: CONCRETO + 2% DE PET					
Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	C2%PET-7-A	27/06/2023	04/07/2023	07 días	176.4
2	C2%PET-7-B	27/06/2023	04/07/2023	07 días	181.7
3	C2%PET-7-C	27/06/2023	04/07/2023	07 días	175.3
4	C2%PET-7-D	27/06/2023	04/07/2023	07 días	172.6
5	C2%PET-7-E	27/06/2023	04/07/2023	07 días	176.3
6	C2%PET-7-F	27/06/2023	04/07/2023	07 días	179.9
7	C2%PET-14-A	27/06/2023	11/07/2023	14 días	192.5
8	C2%PET-14-B	27/06/2023	11/07/2023	14 días	193.6
9	C2%PET-14-C	27/06/2023	11/07/2023	14 días	194.7
10	C2%PET-14-D	27/06/2023	11/07/2023	14 días	197.9
11	C2%PET-14-E	27/06/2023	11/07/2023	14 días	199.6
12	C2%PET-14-F	27/06/2023	11/07/2023	14 días	198.1
13	C2%PET-28-A	27/06/2023	25/07/2023	28 días	199.5
14	C2%PET-28-B	27/06/2023	25/07/2023	28 días	201.4
15	C2%PET-28-C	27/06/2023	25/07/2023	28 días	208.7
16	C2%PET-28-D	27/06/2023	25/07/2023	28 días	209.4
17	C2%PET-28-E	27/06/2023	25/07/2023	28 días	208.5
18	C2%PET-28-F	27/06/2023	25/07/2023	28 días	205.6

DISEÑO DE MEZCLA: CONCRETO + 3% DE PET					
Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	C3%PET-7-A	27/06/2023	04/07/2023	07 días	151.4
2	C3%PET-7-B	27/06/2023	04/07/2023	07 días	156.1
3	C3%PET-7-C	27/06/2023	04/07/2023	07 días	158.3
4	C3%PET-7-D	27/06/2023	04/07/2023	07 días	156.7
5	C3%PET-7-E	27/06/2023	04/07/2023	07 días	159.6
6	C3%PET-7-F	27/06/2023	04/07/2023	07 días	161.5
7	C3%PET-14-A	27/06/2023	11/07/2023	14 días	177.6
8	C3%PET-14-B	27/06/2023	11/07/2023	14 días	183.9
9	C3%PET-14-C	27/06/2023	11/07/2023	14 días	174.0
10	C3%PET-14-D	27/06/2023	11/07/2023	14 días	169.8
11	C3%PET-14-E	27/06/2023	11/07/2023	14 días	178.4
12	C3%PET-14-F	27/06/2023	11/07/2023	14 días	177.5
13	C3%PET-28-A	27/06/2023	25/07/2023	28 días	188.2
14	C3%PET-28-B	27/06/2023	25/07/2023	28 días	182.6
15	C3%PET-28-C	27/06/2023	25/07/2023	28 días	189.8
16	C3%PET-28-D	27/06/2023	25/07/2023	28 días	184.9
17	C3%PET-28-E	27/06/2023	25/07/2023	28 días	183.6
18	C3%PET-28-F	27/06/2023	25/07/2023	28 días	185.1

**OBSERV.:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

TESISTA

ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURÍMAC, 2024"

**Figura 38 — Resultados de la resistencia a la compresión del concreto permeable (concreto +2% de PET y concreto +3% de PET)**





## REGISTRO DE DATOS DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA : Especímenes de concreto permeable	TESISTA : Bach. Reyner D. Barazorda Romero		
ENSAYO : Resistencia a Flexión	LUGAR DE ENSAYO : Laboratorio Lunix Ingenieros		
DISEÑO DE MEZCLA : Todos los diseños	FECHA :		

DISEÑO DE MEZCLA: CONCRETO PATRÓN					
Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	CP-V-28-A	29/06/2023	27/07/2023	28 días	30.3
2	CP-V-28-B	29/06/2023	27/07/2023	28 días	29.7
3	CP-V-28-C	29/06/2023	27/07/2023	28 días	29.8
4	CP-V-28-D	29/06/2023	27/07/2023	28 días	28.8
5	CP-V-28-E	29/06/2023	27/07/2023	28 días	30.5
6	CP-V-28-F	29/06/2023	27/07/2023	28 días	30.1

DISEÑO DE MEZCLA: CONCRETO + 1% DE PET					
Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	CV1%PET-28-A	30/06/2023	28/07/2023	28 días	32.1
2	CV1%PET-28-B	30/06/2023	28/07/2023	28 días	31.3
3	CV1%PET-28-C	30/06/2023	28/07/2023	28 días	32.3
4	CV1%PET-28-D	30/06/2023	28/07/2023	28 días	32.6
5	CV1%PET-28-E	30/06/2023	28/07/2023	28 días	33.1
6	CV1%PET-28-F	30/06/2023	28/07/2023	28 días	34.2

DISEÑO DE MEZCLA: CONCRETO + 2% DE PET					
Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	CV2%PET-28-A	4/07/2023	1/08/2023	28 días	29.5
2	CV2%PET-28-B	4/07/2023	1/08/2023	28 días	28.9
3	CV2%PET-28-C	4/07/2023	1/08/2023	28 días	31.1
4	CV2%PET-28-D	4/07/2023	1/08/2023	28 días	30.5
5	CV2%PET-28-E	4/07/2023	1/08/2023	28 días	30.1
6	CV2%PET-28-F	4/07/2023	1/08/2023	28 días	29.8

DISEÑO DE MEZCLA: CONCRETO + 3% DE PET					
Nº DE MUESTRA	CÓDIGO DE MUESTRA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	CV3%PET-28-A	5/07/2023	2/08/2023	28 días	23.2
2	CV3%PET-28-B	5/07/2023	2/08/2023	28 días	27.8
3	CV3%PET-28-C	5/07/2023	2/08/2023	28 días	24.4
4	CV3%PET-28-D	5/07/2023	2/08/2023	28 días	24.9
5	CV3%PET-28-E	5/07/2023	2/08/2023	28 días	25.3
6	CV3%PET-28-F	5/07/2023	2/08/2023	28 días	26.1

OBSERV. : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

  
 TESISTA

  
 JOSÉ AUGUSTO QUISPE MUNARES  
 ING. CIVIL  
 CIP. N° 300569  
 ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECANICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURÍMAC, 2024"

Figura 39 — Resultados de la resistencia a flexión del concreto permeable





**REGISTRO DE DATOS DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE**



DATOS DE LA GENERALES			
MUESTRA	: Especímenes de concreto permeable	TESISTA	: Bach. Reyner D. Barazorda Romero
ENSAYO	: Permeabilidad	LUGAR DE ENSAYO	: Laboratorio Lunix Ingenieros
DISEÑO DE MEZCLA	: Todos los diseños	FECHA	: 09 - 08 - 2023

GRUPO	CÓDIGO DE REPETICIONES	L	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	A <sub>m</sub>	A <sub>E</sub>	ln(h <sub>1</sub> /h <sub>2</sub> )	t	K
GRUPO DE CONTROL	PC-0%PET-A	9.0	8.0	3.0	78.540	78.540	0.981	27.120	0.325
	PC-0%PET-B	9.0	8.0	3.0	78.540	78.540	0.981	28.040	0.315
	PC-0%PET-C	9.0	8.0	3.0	78.540	78.540	0.981	27.280	0.324
	PC-0%PET-D	9.0	8.0	3.0	78.540	78.540	0.981	26.520	0.333
	PC-0%PET-E	9.0	8.0	3.0	78.540	78.540	0.981	29.080	0.304
	PC-0%PET-F	9.0	8.0	3.0	78.540	78.540	0.981	26.760	0.330
GRUPO EXPERIMENTAL 1	PC-1%PET-A	10.4	10.0	3.0	78.540	78.540	1.204	38.280	0.327
	PC-1%PET-B	10.4	10.0	3.0	78.540	78.540	1.204	37.240	0.336
	PC-1%PET-C	10.4	10.0	3.0	78.540	78.540	1.204	36.720	0.341
	PC-1%PET-D	10.4	10.0	3.0	78.540	78.540	1.204	35.720	0.351
	PC-1%PET-E	10.4	10.0	3.0	78.540	78.540	1.204	35.960	0.348
	PC-1%PET-F	10.4	10.0	3.0	78.540	78.540	1.204	36.400	0.344
GRUPO EXPERIMENTAL 2	PC-2%PET-A	9.6	6.9	1.9	78.540	78.540	1.290	33.560	0.369
	PC-2%PET-B	9.6	6.9	1.9	78.540	78.540	1.290	34.400	0.360
	PC-2%PET-C	9.6	6.9	1.9	78.540	78.540	1.290	34.640	0.357
	PC-2%PET-D	9.6	6.9	1.9	78.540	78.540	1.290	33.120	0.374
	PC-2%PET-E	9.6	6.9	1.9	78.540	78.540	1.290	32.560	0.380
	PC-2%PET-F	9.6	6.9	1.9	78.540	78.540	1.290	34.640	0.357
GRUPO EXPERIMENTAL 3	PC-3%PET-A	9.2	7.2	2.2	78.540	78.540	1.186	24.720	0.441
	PC-3%PET-B	9.2	7.2	2.2	78.540	78.540	1.186	25.720	0.424
	PC-3%PET-C	9.2	7.2	2.2	78.540	78.540	1.186	25.120	0.434
	PC-3%PET-D	9.2	7.2	2.2	78.540	78.540	1.186	25.680	0.425
	PC-3%PET-E	9.2	7.2	2.2	78.540	78.540	1.186	25.200	0.433
	PC-3%PET-F	9.2	7.2	2.2	78.540	78.540	1.186	26.520	0.411

**LEY DE DARCY**

$$K = \frac{L * A_M}{t * A_E} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

**Donde:**

- K = Coeficiente de permeabilidad (cm<sup>2</sup>/s)
- L = Longitud de muestra (cm)
- A<sub>M</sub> = Area de muestra (cm<sup>2</sup>)
- A<sub>E</sub> = Area de tubería de carga (cm<sup>2</sup>)
- t = Tiempo de descarga de h<sub>1</sub> a h<sub>2</sub> (seg)
- h<sub>1</sub> = Altura del agua, respecto al nivel de referencia (cm)
- h<sub>2</sub> = Altura hasta descarga del agua, respecto al nivel de referencia (cm)

  
TESISTA

  
  
JOSÉ AUGUSTO QUISPE MUNARES  
ING. CIVIL  
CIP. N° 300569  
ENCARGADO DEL LABORATORIO

PROYECTO DE TESIS: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE LA SUSTITUCION PARCIAL DE FIBRAS PET RECICLADAS PARA CONCRETO POROSO EN PAVIMENTOS, EN LA CIUDAD DE ABANCAY, APURIMAC, 2024 "

Figura 40 — Resultados de la permeabilidad del concreto permeable



**ANEXO 4.** Certificado de validación de los instrumentos**A. Resumen de valoración de instrumentos**

<b>Baremación de datos obtenidos</b>				
<b>Criterios</b>	<b>Validación 01</b>	<b>Validación 02</b>	<b>Validación 03</b>	<b>Validación 04</b>
Pertinencia	3	3	2	3
Coherencia	2	3	3	3
Congruencia	2	3	3	2
Objetividad	2	3	3	3
Consistencia	3	3	2	2
Suficiencia	3	2	3	3
Organización	3	3	3	3
Claridad	3	3	3	2
Formato	2	2	2	3
Estructura	3	3	3	3

<b>Coefficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach</b>					
Validez nula	Validez muy baja	Validez baja	Validez aceptable	Validez buena	Validez muy buena
0.00 - 0.49	0.50 - 0.59	0.60 - 0.69	0.70 - 0.79	0.80 - 0.89	0.90 - 1.00

**Resultado Obtenido:** Coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach 0.897 equivalentes a validez buena, por lo tanto, se valida el instrumento de investigación.

## B. Valoración del experto 01



### FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO



#### I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Investigador:	: Reyner Dennis Barazorda Romero	Nº DNI	70779383
1.2. Título de la Investigación:	"Comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024"		
1.3. Universidad:	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac		
1.3. Experto:	: <u>Jimmer Bravo Apaza</u>	Nº DNI	<u>42632848</u>
1.4. Grado Académico:	: <u>Magister</u>		
1.5. Institución laboral:	: <u>Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac</u>		
1.2. Nombre del Instrumento:	: Formato Nº 6: "Contenido de vacíos del concreto poroso" : Formato Nº 7: "Resistencia a la compresión y flexión del concreto poroso" : Formato Nº 8: "Permeabilidad del concreto poroso"		

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa el recuadro (X), según la calificación que se asigna a cada uno de los indicadores.

1. DEFICIENTE (D) : Si menos de 30% de los ítems cumplen con el indicador.  
 2. REGULAR (R) : Si entre el 30% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.  
 3. BUENO (B) : Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

ASPECTOS DE VALIDACIÓN INSTRUMENTAL		D	R	B	OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	
PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
COHERENCIA	Los ítems responden a los que se debe medir en las variables y sus dimensiones.		X		
CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí, y con conceptos que miden.		X		
OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.		X		
CONSISTENCIA	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de las variables.			X	
SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.			X	
ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.			X	
CLARIDAD	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible.			X	
FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).		X		
ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuesta bien definidas.			X	
CONTEO TOTAL					TOTAL PUNTUACIÓN
Realizar el conteo de acuerdo a la puntuación asignada a cada indicador.		A	B	C	<u>26</u>

Coefficiente de Validez  $\frac{A+B+C}{30} = 0.86$

Intervalos	Resultados
0.00 - 0.49	Validez nula
0.50 - 0.59	Validez muy baja
0.60 - 0.69	Validez baja
0.70 - 0.79	Validez aceptable
0.80 - 0.89	Validez buena
0.90 - 1.00	Validez muy buena

#### Calificación Global

Mide el coeficiente validez obtenido en el intervalo respectivo

Escriba sobre el espacio el resultado.

Validez buena.

Abancay, 14 de Junio del 2024



Figura 41 — Valoración de experto N° 1

### C. Valoración del experto 02



#### FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO



#### I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Investigador:	: Reyner Dennis Barazorda Romero	Nº DNI	70779383
1.2. Título de la Investigación:	: "Comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024"		
1.3. Universidad:	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac		
1.3. Experto:	: Edwin Meza Tintaya	Nº DNI	47480923
1.4. Grado Académico:	: Magíster		
1.5. Institución laboral:	: Gobierno Regional de Apurímac		
1.2. Nombre del Instrumento:	Formato Nº 6: "Contenido de vacíos del concreto poroso" Formato Nº 7: "Resistencia a la compresión y flexión del concreto poroso" Formato Nº 8: "Permeabilidad del concreto poroso"		

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa el recuadro (X), según la calificación que se asigna a cada uno de los indicadores.

- 1. DEFICIENTE (D) : Si menos de 30% de los ítems cumplen con el indicador.
- 2. REGULAR (R) : Si entre el 30% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.
- 3. BUENO (B) : Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

ASPECTOS DE VALIDACIÓN INSTRUMENTAL		D	R	B	OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	
PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
COHERENCIA	Los ítems responden a los que se debe medir en las variables y sus dimensiones.			X	
CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí, y con conceptos que miden.			X	
OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.			X	
CONSISTENCIA	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de las variables.			X	
SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.		X		
ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.			X	
CLARIDAD	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible.			X	
FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).		X		
ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuesta bien definidas.			X	
CONTEO TOTAL					TOTAL PUNTUACIÓN
Realizar el conteo de acuerdo a la puntuación asignada a cada indicador.		A	B	C	28

Coefficiente de Validez  $\frac{A + B + C}{30} = 0.93$

Intervalos	Resultados
0.00 - 0.49	Validez nula
0.50 - 0.59	Validez muy baja
0.60 - 0.69	Validez baja
0.70 - 0.79	Validez aceptable
0.80 - 0.89	Validez buena
0.90 - 1.00	Validez muy buena

Calificación Global  
Mide el coeficiente validez obtenido en el intervalo respectivo

Escriba sobre el espacio el resultado.

Validez muy buena.

Abancay, 20 de junio del 2024

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
EDWIN MEZA TINTAYA  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 171827

Figura 42 — Valoración de experto N° 2



### D. Valoración del experto 03



#### FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO



#### I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Investigador:	: Reyner Dennis Barazorda Romero	Nº DNI	70779383
1.2. Título de la Investigación:	"Comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024"		
1.3. Universidad:	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac		
1.3. Experto:	: Victor Hugo Sarmiento Casavilca	Nº DNI	28337046
1.4. Grado Académico:	: Magister		
1.5. Institución laboral:	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac		
1.2. Nombre del Instrumento:	Formato Nº 6: "Contenido de vacíos del concreto poroso" Formato Nº 7: "Resistencia a la compresión y flexión del concreto poroso" Formato Nº 8: "Permeabilidad del concreto poroso"		

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Revisar cada uno de los ítems del instrumento y marcar con un aspa el resultado (X), según la calificación que se asigna a cada uno de los indicadores.

- 1. DEFICIENTE (D) : Si menos de 30% de los ítems cumplen con el indicador.
- 2. REGULAR (R) : Si entre el 30% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.
- 3. BUENO (B) : Si más del 70% de los ítems cumplen con el indicador.

ASPECTOS DE VALIDACIÓN INSTRUMENTAL		D	R	B	OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	
PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.		X		
COHERENCIA	Los ítems responden a los que se debe medir en las variables y sus dimensiones.			X	
CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí, y con conceptos que miden.			X	
OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.			X	
CONSISTENCIA	Los ítems se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de las variables.		X		
SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.			X	
ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.			X	
CLARIDAD	Los ítems están redactados en un lenguaje entendible.			X	
FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).		X		
ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuesta bien definidas.			X	
CONTEO TOTAL					TOTAL PUNTUACIÓN
Realizar el conteo de acuerdo a la puntuación asignada a cada indicador.		A	B	C	27

Coefficiente de Validez  $\frac{A+B+C}{30} = 0.90$

Intervalos	Resultados
0.00 - 0.49	Validez nula
0.50 - 0.59	Validez muy baja
0.60 - 0.69	Validez baja
0.70 - 0.79	Validez aceptable
0.80 - 0.89	Validez buena
0.90 - 1.00	Validez muy buena

#### Calificación Global

Mide el coeficiente validez obtenido en el intervalo respectivo

Escriba sobre el espacio el resultado.

Validez muy buena.

Abancay, 15 de JUNIO del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
 Mg. Sc. Victor Hugo Sarmiento Casavilca  
 DOCENTE

Figura 43 — Valoración de experto N° 3



E. Valoración del experto 04



FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO



I. INFORMACION GENERAL

1.1. Investigador:	: Reyner Dennis Barazorda Romero	Nº DNI	70779383
1.2. Título de la Investigación:	"Comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024"		
1.3. Universidad:	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac		
1.4. Experto:	: Wilson John Mollocondo Flores	Nº DNI	01322422
1.5. Grado Académico:	: Doctor		
1.6. Institución laboral:	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac		
1.7. Nombre del instrumento:	: Formato Nº 6: "Contenido de vacíos del concreto poroso" : Formato Nº 7: "Resistencia a la compresión y flexión del concreto poroso" : Formato Nº 8: "Permeabilidad del concreto poroso"		

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Revisar cada uno de los Items del instrumento y marcar con un aspa el recuadro (X), según la calificación que se asigna a cada uno de los indicadores.

- 1. DEFICIENTE (D) : Si menos de 30% de los items cumplen con el indicador.
- 2. REGULAR (R) : Si entre el 30% y 70% de los items cumplen con el indicador.
- 3. BUENO (B) : Si mas del 70% de los items cumplen con el indicador.

ASPECTOS DE VALIDACIÓN INSTRUMENTAL		D	R	B	OBSERVACIONES Y/O SUGERENCIAS
CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	
PERTINENCIA	Los items miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
COHERENCIA	Los items responden a los que se debe medir en las variables y sus dimensiones.			X	
CONGRUENCIA	Los items son congruentes entre si, y con conceptos que miden.		X		
OBJETIVIDAD	Los items miden comportamiento y acciones observables.			X	
CONSISTENCIA	Los items se han formulado en concordancia a los fundamentos teóricos de las variables.		X		
SUFICIENCIA	Los items son suficientes en cantidad para medir las variables.			X	
ORGANIZACIÓN	Los items estan secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.			X	
CLARIDAD	Los items estan redactados en un lenguaje entendible.		X		
FORMATO	Los items estan escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado, nitidez).			X	
ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuesta bien definidas.			X	
CONTEO TOTAL					TOTAL PUNTUACIÓN
Realizar el conteo de acuerdo a la puntuación asignada a cada indicador.		A	B	C	27

Coefficiente de Validez  $\frac{A+B+C}{30} = 0.90$

Intervalos	Resultados
0.00 - 0.49	Validez nula
0.50 - 0.59	Validez muy baja
0.60 - 0.69	Validez baja
0.70 - 0.79	Validez aceptable
0.80 - 0.89	Validez buena
0.90 - 1.00	Validez muy buena

Calificación Global

Mide el coeficiente validez obtenido en el intervalo respectivo

Escriba sobre el espacio el resultado.

Validez muy buena.

Abancay, 19 de junio del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
 Dr. Wilson J. Mollocondo Flores  
 DOCENTE

Figura 44 — Valoración de experto N° 4



#### ANEXO 4. Declaración jurada de originalidad y no plagio

##### DECLARACION JURDA DE ORIGINALIDAD Y DE NO PLAGIO

Tesista:

Yo, Bach. Reyner Dennis Barazorda Romero, Identificado con DNI 70779383, egresado de la Escuela Académico Profesional de ingeniería Civil – UNAMBA, autor de la tesis titulada: **“Comportamiento mecánico y permeabilidad de la sustitución parcial de fibras PET recicladas para concreto poroso en pavimentos, en la ciudad de Abancay, Apurímac, 2024”**.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

El tema y contenido de tesis es original, siendo resultado de mi esfuerzo y trabajo personal, no ha sido copiado, no se han utilizado ideas, formulaciones, citas integrales ni ilustraciones diversas sacadas de otras tesis, obras, artículos, memorias, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma exacta y clara su origen, fuente o autor, tanto en el cuerpo o texto, gráficos o figuras, cuadros, tablas u otro contenido protegido por derechos de autor o que no hayan sido debidamente citadas.

En ese sentido, soy consciente de que la falta de respeto a los derechos de autor y plagiar son acciones que serán castigados mediante sanciones universitarias y/o legales.

Me afirmo y me ratifico en lo expresado, en señal de lo cual firmo el presente documento en la ciudad de Tamburco, a los 12 días del mes de junio de del 2024.



.....  
Tesista: Bach. Reyner D. Barazorda Romero  
DNI: 70779383

Figura 45 — Declaración jurada de originalidad y no plagio



## ANEXO 5. Galería de fotos del proceso de investigación



Figura 46 — Agregado de cantera



Figura 47 — Análisis granulométrico del agregado de cantera



Figura 48 — Tamizado del agregado



Figura 49 — Peso específico y absorción del agregado grueso; gravedad específica y absorción del agregado fino



Figura 50 — Peso unitario suelto y compactado



Figura 51 — Proporciones de materiales para elaborar especímenes de concreto permeable



Figura 52 — Mezclado de materiales



Figura 53 — Elaboración de especímenes de concreto permeable



Figura 54 — Curado del concreto



Figura 55 — Rotura de probetas cilíndricas de concreto permeable



Figura 56 — Probetas de concreto permeable después del ensayo de resistencia a la compresión.



Figura 57 — Probetas prismáticas antes del ensayo de resistencia a flexión



Figura 58 — Ensayo de resistencia a flexión de probetas prismáticas



Figura 59 — Medición de esfuerzo de la máquina de ensayos de resistencia a flexión





Figura 62 — Permeámetro con especímenes de prueba



Figura 63 — Ensayo de permeabilidad a especímenes de concreto permeable



Figura 64 — Ensayo de contenido de vacíos.

## ANEXO 4. Certificación de calibración de equipos de laboratorio.

### LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.

Carrera 104 B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia  
 (+57 60 1) 745 4555 - Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
 www.pinzuar.com.co



### Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza

Calibration Certificate - Laboratory of Force

F-28988-001 RO

Page / Pág. 1 de 5

<b>Equipo</b> <i>Instrument</i>	MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESION UNIAXIAL	<p>Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
<b>Fabricante</b> <i>Manufacturer</i>	PINZUAR	
<b>Modelo</b> <i>Model</i>	C020504//PC-42D	
<b>Número de Serie</b> <i>Serial Number</i>	312 // 521	
<b>Identificación Interna</b> <i>Internal Identification</i>	No presenta	
<b>Capacidad Máxima</b> <i>Maximum Capacity</i>	1000 kN	
<b>Solicitante</b> <i>Customer</i>	LUNIX INGENIEROS S.R.L.	
<b>Dirección</b> <i>Address</i>	AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA	
<b>Ciudad</b> <i>City</i>	APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY	
<b>Fecha de Calibración</b> <i>Date of calibration</i>	2023 - 05 - 09	
<b>Fecha de Emisión</b> <i>Date of issue</i>	2023 - 05 - 16	
<b>Número de páginas del certificado, incluyendo anexos</b> <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	05	

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.  
 Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

#### Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate

  
 Ing. Sergio Ilyán Martínez  
 Director Laboratorio de Metrología

  
 Tecg. Javier López Poveda  
 Metrólogo Laboratorio de Metrología

LM-FC-05-F-01 R.12.0

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 65 — Certificado de calibración de la máquina de ensayos a compresión uniaxial



**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.**

Carrera 104 B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia  
 (+57 60 1) 745 4555 • Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
 www.pinzuar.com.co



LABORATORIO DE METROLOGÍA

ISO/IEC 17025:2017  
11-LAC-004**F-28988-001 R0**

Pág. 2 de 5

**DATOS TÉCNICOS****Máquina de Ensayo Bajo Calibración**

<b>Clase</b>	1,0
<b>Dirección de Carga</b>	Compresión
<b>Tipo de Indicación</b>	Digital
<b>División de Escala</b>	0,1 kN
<b>Resolución</b>	0,1 kN
<b>Intervalo de Medición Calibrado</b>	Del 20 % al 100 % de la carga máxima.
<b>Límite Inferior de la Escala</b>	20 kN

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system, en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C a 35°C, con una variación máxima de 2°C durante cada serie de medición. Se utilizó el método de comparación directa aplicando Fuerza Indicada Constante.

Se realizó una inspección general de la máquina y se determina que: Se puede continuar la calibración como se recibe el equipo

**Tabla 1.**

Indicaciones como se entrega la máquina

Indicación del IBC		Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie					Promedio S <sub>1, 2 y 3</sub> kN
		S <sub>1</sub> Ascendente kN	S <sub>2</sub> Ascendente kN	S <sub>2</sub> ' No Aplica ----	S <sub>3</sub> Ascendente kN	S <sub>4</sub> No Aplica ----	
%	kN						
20	200,0	199,82	199,65	----	199,76	----	199,75
30	300,0	299,53	299,50	----	299,70	----	299,58
40	400,0	399,15	399,31	----	399,35	----	399,27
50	500,0	498,79	498,63	----	498,59	----	498,67
60	600,0	598,11	598,15	----	598,20	----	598,15
70	700,0	698,36	698,16	----	698,29	----	698,27
80	800,0	798,04	797,82	----	797,72	----	797,86
90	900,0	897,23	896,98	----	897,08	----	897,10
100	1 000,0	997,11	996,91	----	996,80	----	996,94

LM-PC-05-F-01 R12.6

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**

Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura



**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.**

Carrera 104 B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia  
 (+57 60 1) 745 4555 · Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
 www.pinzuar.com.co



**F-28988-001 RO**

Pág. 3 de 5

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...**

**Tabla 2.**

Error realtivo de cero,  $f_{0,s}$ , calculado para cada serie de medición a partir de su cero residual

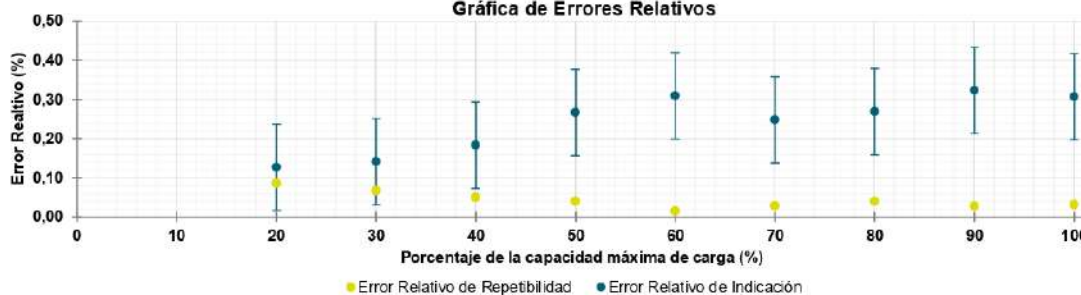
$f_{0,s1}$ %	$f_{0,s2}$ %	$f_{0,s2'}$ %	$f_{0,s3}$ %	$f_{0,s4}$ %
0,010	0,010	---	0,010	---

**Tabla 3.**

Resultados de la Calibración de la máquina de ensayo

Indicación del IBC	Errores Relativos				Resolución Relativa a %	Incertidumbre Expandida U		k $p=95\%$ ----
	Indicación q %	Repetibilidad b %	Reversibilidad v %	kN		kN	%	
20	200,0	0,13	0,09	---	0,050	0,22	0,11	2,05
30	300,0	0,14	0,07	---	0,033	0,33	0,11	2,05
40	400,0	0,18	0,05	---	0,025	0,44	0,11	2,03
50	500,0	0,27	0,04	---	0,020	0,55	0,11	2,02
60	600,0	0,31	0,01	---	0,017	0,66	0,11	2,01
70	700,0	0,25	0,03	---	0,014	0,77	0,11	2,01
80	800,0	0,27	0,04	---	0,013	0,88	0,11	2,02
90	900,0	0,32	0,03	---	0,011	0,99	0,11	2,01
100	1 000,0	0,31	0,03	---	0,010	1,1	0,11	2,02

**Gráfica de Errores Relativos**



**CONDICIONES AMBIENTALES**

El lugar de la Calibración fue LABORATORIO de la empresa LUNIX INGENIEROS S.R.L. ubicada en ABANCAY. Durante la Calibración se presentaron las siguientes condiciones ambientales.

<b>Temperatura Ambiente Máxima:</b>	21,0 °C	<b>Temperatura Ambiente Mínima:</b>	19,0 °C
<b>Humedad Relativa Máxima:</b>	63 % HR	<b>Humedad Relativa Mínima:</b>	62 % HR

LM-PC-05-F-01 R12.6

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**

Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura



**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.**

Carrera 104 B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia  
 (+57 60 1) 745 4555 - Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
 www.pinzuar.com.co



**F-28988-001 R0**

Pág. 4 de 5

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...**

**Tabla 4.**

Coefficientes para el cálculo de la fuerza en función de su deformación y su R<sup>2</sup>, el cual refleja la bondad del ajuste del modelo a la variable.

A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	---	R <sup>2</sup>
4,48937 E-01	9,96940 E-01	-5,62338 E-07	7,23906 E-11		1,0000 E00

Ecuación 1: donde F (kN) es la fuerza calculada y X (kN) es el valor de deformación evaluado

$$F = A_0 + (A_1 * X) + (A_2 * X^2) + (A_3 * X^3)$$

**Tabla 5.**

Valores calculados en función de la fuerza aplicada ( kN )

Indicación kN	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0
100,0	100,14	110,11	120,07	130,04	140,01
150,0	149,98	159,95	169,91	179,88	189,85
200,0	199,82	209,78	219,75	229,72	239,68
250,0	249,65	259,62	269,58	279,55	289,52
300,0	299,48	309,45	319,41	329,38	339,35
350,0	349,31	359,28	369,24	379,21	389,17
400,0	399,14	409,10	419,07	429,03	439,00
450,0	448,96	458,93	468,89	478,86	488,82
500,0	498,79	508,75	518,72	528,68	538,64
550,0	548,61	558,57	568,54	578,50	588,46
600,0	598,43	608,39	618,35	628,32	638,28
650,0	648,24	658,21	668,17	678,13	688,09
700,0	698,06	708,02	717,98	727,94	737,91
750,0	747,87	757,83	767,79	777,75	787,72
800,0	797,68	807,64	817,60	827,56	837,52
850,0	847,49	857,45	867,41	877,37	887,33
900,0	897,29	907,25	917,21	927,17	937,14
950,0	947,10	957,06	967,02	976,98	986,94
1 000,0	996,90				

**Tabla 6.**

Valores Residuales

Indicación del IBC kN	Promedio S1, 2 y 3 kN	Por Interpolación kN	Residuales kN
200,0	199,75	199,82	0,1
300,0	299,58	299,48	- 0,1
400,0	399,27	399,14	- 0,1
500,0	498,67	498,79	0,1
600,0	598,15	598,43	0,3
700,0	698,27	698,06	- 0,2
800,0	797,86	797,68	- 0,2
900,0	897,10	897,29	0,2
1 000,0	996,94	996,90	0,0

LM-PC-05-F-01 R12.6

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**  
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura



**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.**

Carrera 104 B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia  
 (+57 60 1) 745 4555 - Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
 www.pinzuar.com.co



LABORATORIO DE METROLOGÍA ISO/IEC 17025:2017  
 11-LAC-004

**F-28988-001 R0**

Pág. 5 de 5

**INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN**

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura  $k=2,05$  y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor. La incertidumbre expandida fue estimada bajo los lineamientos del documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

**TRAZABILIDAD**

Los resultados reportados en este certificado de calibración se obtuvieron utilizando patrones trazables al SI a través de institutos nacionales de metrología y/o laboratorios acreditados y son parte de un programa de aseguramiento metrológico que garantiza la exactitud e incertidumbres requeridas. El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página dos se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.



**Instrumento Patrón**

<b>Instrumento</b>	Transductor de Fuerza de 1 MN.
<b>Modelo</b>	C8S.
<b>Clase</b>	0,5.
<b>Número de Serie</b>	017432.
<b>Certificado de Calibración</b>	5927 del INM.
<b>Próxima Calibración</b>	2023-06-01.

**CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO**

La siguiente Tabla proporciona los valores máximos permitidos, para los diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza y para la resolución relativa del indicador de fuerza que caracteriza una escala de la máquina de ensayo de acuerdo con la clase apropiada para sus ensayos según la sección 7 de la Norma ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system

Clase de la escala de la máquina	Indicación	Repetibilidad	Reversibilidad*	Cero	Resolución relativa
0,5	0,5	0,5	0,75	0,05	0,25
1	1	1	1,5	0,1	0,5
2	2	2	3	0,2	1
3	3	3	4,5	0,3	1,5

\*El error realtivo de reversibilidad se determina solamente cuando es previamente solicitado por el cliente.

**OBSERVACIONES**

1. Se emplea la coma (,) como separador decimal.
2. En cualquier caso, la máquina debe calibrarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes. Numeral 9. ISO 7500-1:2018
3. Con el presente Certificado de Calibración se adjunta la etiqueta de Calibración No. F-28988-001

*Fin del Certificado*

LM-PC-05-F-01 R12.6

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**  
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura



**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.**

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao  
 (+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 118  
 www.pinzuar.com.co



LABORATORIO DE METROLOGÍA  
**IV-6821**

**Certificado de Verificación - Laboratorio de Metrología**

Verification Certificate - Metrology Laboratory

Fecha de verificación: 2023-04-26

**Datos del cliente**

**Solicitante:** LUNIX INGENIEROS S.R.L.

**Dirección:** AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA) APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY

**Trazabilidad**

El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.

Equipo de Medición	Código de Identificación	Certificado de Calibración
Pie de rey de 150 mm- Exteriores	025202P	L-23351-001
Pie de rey de 300 mm- Exteriores	015203P	L-25931-004



**Resultados de verificación**

**DISPOSITIVO PARA ENSAYOS DE VIGAS A LA FLEXIÓN**

Norma: ASTM C78

Referencia: PC105

Modelo: A020304

Cantidad: 1 und

CARACTERÍSTICAS	RESULTADO
Distancia de desplazamiento de la placa inferior	599,23 mm
Diámetro de los rodillos	31,99 mm
Longitud de los rodillos	172,54 mm
Ancho de la caja porta-rodillo	31,86 mm
Distancia de desplazamiento de la placa inferior	208,23 mm

Tec. Jhon Quinte  
 Técnico-Laboratorio Metrología



Ing. Felix Jaramillo  
 Metrologo-Laboratorio Metrología

(\*Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**  
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

**Figura 66 — Certificado de calibración del dispositivo para ensayos de viga a la flexión**



**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.**

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao  
 (+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 118  
 www.pinzuar.com.co



LABORATORIO DE METROLOGÍA  
**IV-6821**

**Certificado de Verificación - Laboratorio de Metrología**

Verification Certificate - Metrology Laboratory

Fecha de verificación: 2023-04-26

**Datos del cliente**

Solicitante: **LUNIX INGENIEROS S.R.L.**

Dirección: AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA) APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY

**Trazabilidad**

El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.

Equipo de Medición	Código de Identificación	Certificado de Calibración
Pie de rey de 300 mm- Exteriores	015203P	L-25931-004
Cinta Métrica - Clase II	015001P	L-25931-006



**Resultados de verificación**

**TAMIZADORA ELETRICA**

Norma: ASTM E11

Referencia: PS35

Modelo: S010203

Cantidad: 1 und

CARACTERISTICAS	RESULTADO
Diametro del Marco	205,54 mm
Altura general	970,2 mm
Altura del Tamizado	550,42 mm

Tec. Aron Soriano  
 Técnico-Laboratorio Metrología




Ing. Felix Jaramillo  
 Metrólogo-Laboratorio Metrología

(\*Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**  
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 67 — Certificado de calibración de tamizadora eléctrica





**LABORATORIO DE METROLOGIA**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LM-2160-2023**

**DESTINATARIO** : LUNIX INGENIEROS S.R.L.  
**DIRECCION** : AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA APURIMAC - AB  
**FECHA** : 2023/04/17  
**LUGAR DE CALIBRACIÓN** : LABORATORIO DE MASA- PYS EQUIPOS

**INSTRUMENTO DE MEDICIÓN**: BALANZA  
**MARCA** : OHAUS **CAPACIDAD MÁXIMA** 620 g  
**Nº DE SERIE** : 834768536 **DIV. DE ESCALA ( d )** 0.01 g  
**MODELO** : NV622ZH **DIV. DE VERIFICACIÓN ( e )** 0.01 g  
**TIPO** : ELECTRÓNICA **CÓDIGO** NO INDICA  
**CLASE** II **CAPACIDAD MÍNIMA** 0.2 g

**PESAS UTILIZADAS:** **CERTIFICADO:** 335-CM-M-2022 / 336-CM-M-2022

**CALBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN:** NMP-003-96 y Procedimiento de Calibración de Balanzas de funcionamiento No Automático PC-011

**INSPECCIÓN VISUAL**

AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

	Inicial	Final		Inicial	Final
Temp °C	27.1	27.1		65	64

Medición Nº	Carga L1 = 300.00g			Carga L2 = 600.00g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	300.00	0.007	-0.002	599.99	0.004	-0.009
2	300.00	0.007	-0.002	600.00	0.007	-0.002
3	300.00	0.007	-0.002	600.00	0.007	-0.002
4	300.00	0.008	-0.003	599.99	0.004	-0.009
5	299.99	0.004	-0.009	599.99	0.004	-0.009
6	300.00	0.006	-0.001	599.99	0.004	-0.009
7	299.99	0.004	-0.009	599.99	0.004	-0.009
8	300.00	0.007	-0.002	599.99	0.005	-0.010
9	299.99	0.004	-0.009	600.00	0.008	-0.003
10	300.00	0.007	-0.002	599.99	0.004	-0.009

E = I + ½e - ΔL - L

Carga (g)	Diferencia Máxima (g)	E.M.P. (g)
300.00	0.008	0.03
600.00	0.008	0.03


**OBSERVACIONES:**  
 1. Este informe de calibración NO podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la autorización de PyS EQUIPOS EIRL.  
 2. El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos de medición. Se recomienda realizar la calibración en intervalos de 06 meses dependiendo del uso y movilización de la misma

Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31

Tel.: 485 3873 Cel.: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989

E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe

Web Page: www.pys.pe



\*PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.\*

Figura 68 — Certificado de calibración de balanza

# PyS EQUIPOS

## LABORATORIO DE METROLOGIA

### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de las Cargas

2	5
ANCA Y 1	
3	4

Temp. °C	Inicial	Final
	27.1	27.1

H.R. (%)	Inicial	Final
	64	64

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				E. M. P. ± (g)	
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)		Ec (g)
1	0.1	0.10	0.007	-0.002	200	200.00	0.007	-0.002	0.000	0.02
2		0.10	0.008	-0.003		200.01	0.009	0.006	0.009	0.02
3		0.09	0.004	-0.009		200.01	0.009	0.006	0.015	0.02
4		0.09	0.004	-0.009		199.99	0.004	-0.009	0.000	0.02
5		0.09	0.004	-0.009		199.98	0.002	-0.017	-0.008	0.02

\* Valor entre 0 y 10e

$$E = I + \frac{1}{2}e - \Delta L - L$$

$$E_c = E - E_o$$

### ENSAYO DE PESAJE

Temp. °C	Inicial	Final
	27.1	27.1

Inicial	Final
64	64


Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				E. M. P. ± (g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
0.20	0.19	0.004	-0.009						
1.00	1.00	0.007	-0.002	0.007	1.00	0.005	0.000	0.009	0.01
10.00	9.99	0.004	-0.009	0.000	9.99	0.007	-0.012	-0.003	0.01
50.00	49.99	0.004	-0.009	0.000	49.99	0.004	-0.009	0.000	0.01
100.00	99.99	0.005	-0.010	-0.001	99.99	0.007	-0.012	-0.003	0.02
150.00	149.99	0.005	-0.010	-0.001	149.99	0.005	-0.010	-0.001	0.02
200.00	200.00	0.008	-0.003	0.006	200.00	0.007	-0.002	0.007	0.02
300.00	300.00	0.008	-0.003	0.006	300.00	0.009	-0.004	0.005	0.03
400.00	400.01	0.009	0.006	0.015	400.01	0.004	0.011	0.020	0.03
500.00	500.01	0.009	0.006	0.015	500.01	0.007	0.008	0.017	0.03
600.00	599.99	0.005	-0.010	-0.001	599.99	0.005	-0.010	-0.001	0.03

$$E = I + \frac{1}{2}e - \Delta L - L$$

$$E_c = E - E_o$$

OBSERVACIONES: La Incertidumbre de la medición ha sido determinada con un factor de cobertura K = 2, para un nivel de confianza del 95%. Donde I = Indicación de la balanza.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN:  $U = 6 \text{ mg} + (1,3 \times 10^{-6})|$

  
Revisado por:  
Eler Pozo S  
Dpto. Metrología

  
Calibrado por:  
Javier Negron C.  
Dpto. Metrología



Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31  
Telf.: 485 3873 Cel.: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989

E-mail: [ventas@pys.pe](mailto:ventas@pys.pe) / [metrologia@pys.pe](mailto:metrologia@pys.pe)  
Web Page: [www.pys.pe](http://www.pys.pe)

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.



**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.**

Carrera 104-B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia  
 (+57 60 1) 745 4555 - Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
 www.pinzuar.com.co



**Certificado de Calibración - Laboratorio de Temperatura**

**T-28988-003 R0**

Calibration Certificate - Temperature Laboratory

Page / Pág 1 de 3

<b>Equipo</b> <i>Instrument</i>	HORNO	<p>Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados reportados a patrones nacionales o internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This calibration certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals</i></p>
<b>Fabricante</b> <i>Manufacturer</i>	PINZUAR	
<b>Modelo</b> <i>Model</i>	PG-2002	
<b>Número de Serie</b> <i>Serial Number</i>	174	
<b>Identificación Interna</b> <i>Internal Identification</i>	No presenta	
<b>Intervalo de Medición</b> <i>Measurement Range</i>	30 °C a 200 °C	
<b>Solicitante</b> <i>Customer</i>	LINUX INGENIEROS S.R.L	
<b>Dirección</b> <i>Address</i>	AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA)	
<b>Ciudad</b> <i>City</i>	APURIMAC - ABANCAY	
<b>Fecha de Calibración</b> <i>Date of Calibration</i>	2023 - 05 - 10	
<b>Fecha de Emisión</b> <i>Date of Issue</i>	2023 - 05 - 17	
<b>Número de páginas del certificado, incluyendo anexos</b> <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	03	

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

**Firmas que Autorizan el Certificado**

Signatures Authorizing the Certificate

**Ing. Sergio Iván Martínez**  
 Director Laboratorio de Metrología

**Tecg. Andrés Molina Ruiz**  
 Metrólogo Laboratorio de Metrología

LU-PC-21-F-01 R0.1

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**  
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 69 — Certificado de calibración del horno

**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.**

Carrera 104-B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia  
 (+57 60 1) 745 4555 - Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
 www.pinzuar.com.co



T-28988-003 RO

Page / Pág 2 de 3

**DATOS TÉCNICOS**

**Método Empleado** Comparación Directa  
**Resolución** 0,01 °C  
**Volumen Útil** 80 L (Alto: 0,4 m, Ancho:0,4 m, Profundo:0,5 m) Ver Figura 1.  
**Documento de Referencia** DAKKS DKD-R 5 - 7 Kalibrierung von Klimaschränken Ausgabe 09/2018

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

Al medio isotermo en referencia se le efectuó una inspección visual y se determinó que estaba en buen estado. Se establece que el medio presentaba una buena condición para la calibración, luego se procedió a la calibración y caracterización respectiva en los puntos acordados con el cliente ejecutando las pruebas definidas del Metodo A) Calibración realizada en el volumen útil abarcado por la ubicación de los sensores en un medio isotermo aire sin carga

Tabla 1.

Resultados de la medición de temperatura en posición de referencia

Set Point <sup>1</sup> °C	Indicación Promedio del Patrón °C	Indicación Promedio del IBC °C	Corrección a la Indicación °C	Incertidumbre Expandida U °C	k <sub>p=95,45%</sub> -----
110,0	111,2	109,6	1,6	1,8	2,01



Figura 1. Posición de cada sensor.

Tabla 2.

Resultados de la caracterización del volumen del IBC para 110 °C

Set Point <sup>1</sup> °C	Uniformidad <sup>3</sup> °C	Estabilidad <sup>2</sup> °C	Efecto de Radiación <sup>4</sup> °C	Efecto de Carga <sup>5</sup> °C
110,0	1,153	0,132	0,977	No Aplica

Tabla 3.

Valores de temperatura promedio medidos en cada posición del volumen para el Set Point igual a 110 °C

Posición de Referencia °C	Posición 1 °C	Posición 2 °C	Posición 3 °C	Posición 4 °C	Posición 5 °C	Posición 6 °C	Posición 7 °C	Posición 8 °C
111,18	110,02	110,78	111,13	110,24	110,73	110,64	110,60	111,39

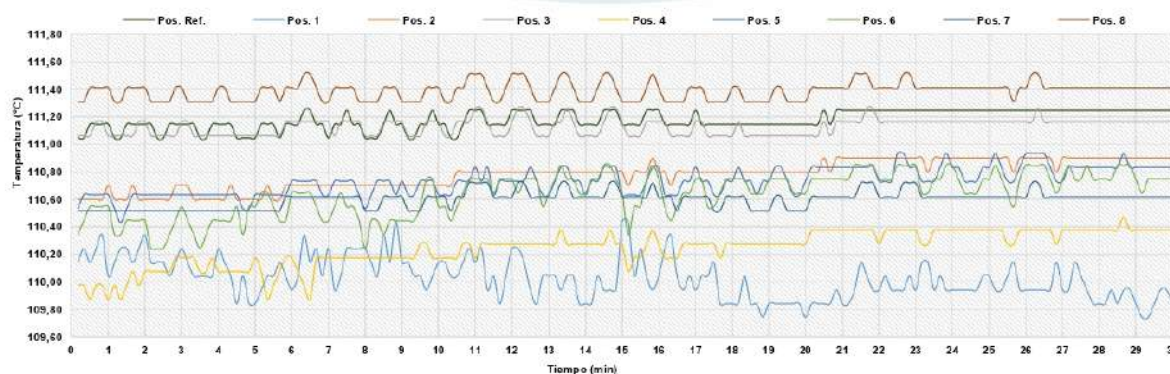


Figura 2. Comportamiento de la temperatura en cada posición durante el registro de datos en estado considerado estable.

LM-PG-21-F-01 R9.1

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**  
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura



**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.**

Carrera 104-B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia  
 (+57 60 1) 745 4555 - Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
 www.pinzuar.com.co



**T-28988-003 R0**

Página / Page 3 de 3

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN (Continuación)**

**Definiciones**

- <sup>1</sup> Valor de temperatura programado en el controlador de equipo.
- <sup>2</sup> Fluctuación de la temperatura determinada por un registro de datos durante un periodo mayor o igual a 30 minutos, después de alcanzado el estado estable en la posición de referencia (centro del volumen útil).
- <sup>3</sup> Diferencia máxima de temperatura en un lugar de medición determinado por los extremos del volumen útil desde la posición de referencia.
- <sup>4</sup> Aplica para medios isotermos con aire como fluido y corresponde al intercambio de calor por radiación dado por la temperatura ambiente y la pared interna de la cámara que se diferencian a la temperatura del aire medida con un termómetro que está protegido contra la influencia con un escudo.
- <sup>5</sup> Aplica para medios isotermos con aire como fluido y corresponde a la máxima diferencia de temperatura encontrada por el sensor ubicado en la posición de referencia cuando el volumen útil del equipo está parcialmente ocupado y cuando se encuentra vacío. Esta prueba se ejecuta según acuerdo previo con el cliente.

**CONDICIONES AMBIENTALES**

El lugar de calibración fue LABORATORIO ; LUNIX INGENIEROS S.R.L ; ABANCAY . Durante la calibración se registraron las siguientes condiciones ambientales:

<b>Temperatura Máxima</b>	20,1 °C	<b>Humedad Máxima</b>	61 %HR
<b>Temperatura Mínima</b>	19,2 °C	<b>Humedad Mínima</b>	60 %HR

**INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN**

La incertidumbre expandida de la medición reportada (página No. 2 Tablas de resultados), se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95 % y no menor a este valor. Basados en el documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

**TRAZABILIDAD**

El/Los resultado(s) reportado(s) en este certificado(s) de calibración se obtuvieron utilizando patrones trazables al SI a través de institutos nacionales de metrología y/o laboratorios acreditados y son parte de un programa de aseguramiento metrológico que garantiza la exactitud e incertidumbres requeridas. El/Los certificado (s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan posteriormente se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.)



<b>Equipo</b>	<b>Certificado de Calibración</b>
Termómetro Digital Multicanal	T-27401-003 R0 de Pinzuar

**OBSERVACIONES**

- 1. Se usa la coma como separador decimal.
- 2. El número de puntos de calibración, cantidad de sensores y ubicación son acordados y aceptados por el cliente
- 3. El volumen útil o zona de trabajo donde es válida la caracterización es acordada con el cliente.
- 4. Se adjunta la etiqueta de calibración **No. T-00028-988**

Fin del Documento

LM-PC-21-F-01 R9.1

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**  
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

