

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

INFLUENCIA DEL REEMPLAZO Y PORCENTAJE DE RESIDUOS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN ADOQUINES TIPO I SOBRE LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN Y ABRASIÓN, TRUJILLO, 2020

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Br. Juan Fernando Toribio Mauricio

Asesor:

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo - Perú

2020



DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicada a mis padres, ya que gracias a ellos y a su apoyo constante durante estos 5 años de la carrera de Ingeniería Civil han logrado formar en mí, una persona con buenos valores, sentimientos y hábitos de seguir creciendo como profesional. Y a la vez, con su gran amor y sus palabras de aliento para seguir adelante han sido de gran ayuda para culminar este proyecto.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Sonia y Martín por apoyarme constantemente en cada decisión y proyecto. A mi profesor y asesor el ingeniero Iván Vásquez Alfaro, que con sus conocimientos y apoyo han servido de guía para culminar esta investigación. A los profesionales del Laboratorio y grupo de investigación ACIMAT (Asociación de la construcción e Innovación de materiales), por todo el tiempo y conocimientos durante este periodo. A toda mi familia por su gran amor y comprensión.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema	40
1.3. Objetivos	40
1.3.1. Objetivo general.....	40
1.3.2. Objetivos específicos	40
1.4. Hipótesis	41
1.4.1. Hipótesis general.....	41
1.4.2. Hipótesis específicas.....	41
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	42
2.1. Tipo de investigación	42
2.1. Según el propósito.....	42
2.2. Según el diseño	42
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	43
2.2.1. Población	43
2.2.2. Muestra	43
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	46
2.3.1. Técnicas de recolección de datos.....	46
2.3.2. Instrumento de recolección de datos.....	46
2.4. Procedimiento	47
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIONES	87
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
4.1. Conclusiones	108
4.2. Recomendaciones.....	109
REFERENCIAS	110
ANEXOS.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre propiedades físicas del PET virgen y el PET reciclado	18
Tabla 2. Huellas medidas promedio de acuerdo al porcentaje y tamaño de grano del vidrio	20
Tabla 3. Consistencias utilizadas en la construcción	25
Tabla 4. Compuestos principales del cemento Pórtland.....	28
Tabla 5. Clasificación de los agregados según el tamaño de sus partículas.....	30
Tabla 6. Resistencias de probetas compactadas manualmente.....	39
Tabla 7. Resistencias de probetas vibradas de forma mecánica.....	40
Tabla 8. Matriz de diseño experimental global propia	42
Tabla 9. Valores de la distribución normal o estandarizada.....	44
Tabla 10. Antecedentes de pruebas de concreto realizadas.....	44
Tabla 11. Muestra de unidad de estudio 1, reemplazo de agregado grueso x PET	45
Tabla 12. Muestra de unidad de estudio 2, reemplazo de agregado fino x PET	45
Tabla 13. Muestra de unidad de estudio 3, reemplazo de A. grueso y A. fino x PET.....	45
Tabla 14. Muestra de unidad de estudio 4, adición de PET a la mezcla de diseño patrón.....	45
Tabla 15. Diagrama de flujo para la recolección de información	47
Tabla 16. Tamices y aberturas para agregado grueso y agregado fino	50
Tabla 17. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.....	50
Tabla 18. Formato de registro del análisis granulométrico del agregado grueso	51
Tabla 19. Formato de registro del análisis granulométrico del agregado fino	52
Tabla 20. Rango para módulo de finura del agregado fino	52
Tabla 21. Formato de registro del contenido de humedad del agregado grueso y fino.....	53
Tabla 22. Formato de registro del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y fino .	55
Tabla 23. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.....	56
Tabla 24. Formato de registro del peso específico del agregado grueso.....	57
Tabla 25. Formato de registro del peso específico del agregado fino	58
Tabla 26. Formato de registro del porcentaje de vacíos del agregado grueso y fino	59
Tabla 27. Peso de agregado y número de esferas para agregado grueso hasta de 1 1/2”	60
Tabla 28. Formato de registro del desgaste a la abrasión del agregado grueso.....	61
Tabla 29. Clasificación de los suelos según su pH.....	62
Tabla 30. Clasificación de los suelos en base a su conductividad eléctrica	62
Tabla 31. Formato de registro de la evaluación química del agregado grueso y fino	62
Tabla 32. Clasificación del agua según su pH.....	63
Tabla 33. Clasificación del agua según su salinidad.....	63
Tabla 34. Formato de registro de la evaluación química del agua	64
Tabla 35. Resistencia a la compresión requerida	64

Tabla 36. Asentamiento según el tipo de estructuras	64
Tabla 37. Volumen de agua por m ³	65
Tabla 38. Contenido de aire a partir del TMN del agregado grueso	65
Tabla 39. Relación Agua/cemento vs f'c.	66
Tabla 40. Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto (b/bo).....	67
Tabla 41. Diseño de mezcla final r a/c =0.42, y diseño de mezcla para un adoquín	68
Tabla 42. Diseño de mezcla final r a/c =0.30, y diseño de mezcla para un adoquín de 2.673 Kg ...	68
Tabla 43. Pruebas de estudio de elaboración de adoquines	68
Tabla 44. Tolerancia dimensional de adoquines de concreto.....	70
Tabla 45. Formato de registro del ensayo de la resistencia a la compresión.....	71
Tabla 46. Resistencia a la compresión de adoquines tipo I , II y III	71
Tabla 47. Formato de registro del ensayo a la absorción	73
Tabla 48. Absorción de adoquines tipo I, II y III.....	73
Tabla 49. Formato de registro del ensayo al desgaste a la abrasión.....	75
Tabla 50. Análisis de costos de un adoquín – diseño patrón.....	84
Tabla 51. Análisis de costos de un adoquín ecológico en reemplazo de AG x PET al 5%	85
Tabla 52. Análisis de costos de un adoquín ecológico en reemplazo de AF x PET al 5%	85
Tabla 53. Análisis de costos de adoquín ecológico en reemplazo de la mezcla de AG y AF al 2.5	85
Tabla 54. Análisis de costos de un adoquín ecológico adicionando PET a la mezcla de AF y AG.	86
Tabla 55. Resultados de la caracterización del agregado grueso	87
Tabla 56. Resultados de la caracterización del agregado fino.....	88
Tabla 57. Resultados de la caracterización química del agua	91
Tabla 58. Propiedades generales del tereftalato de polietileno (PET).....	92
Tabla 59. Diseño final de mezcla de concreto.....	93
Tabla 60. Cantidad de materiales en Kg por bolsa de cemento.....	93
Tabla 61. Prueba de normalidad – SPSS.....	106
Tabla 62. Análisis de la prueba Fisher - ANOVA	106
Tabla 63. Comparación de precios para la producción de 1m ² de adoquines	107
Tabla 64. Comparación de precios de venta con el mercado local, por unidad y por 1m ²	107
Tabla 65. Análisis granulométrico del agregado grueso	114
Tabla 66. Análisis granulométrico del agregado fino	115
Tabla 67. Contenido de humedad del agregado grueso y agregado fino.....	116
Tabla 68. Peso Unitario Suelto del agregado grueso y agregado fino.....	116
Tabla 69. Peso unitario compactado del agregado grueso y agregado fino.	116
Tabla 70. Peso específico y absorción del agregado Grueso	117
Tabla 71. Peso específico y absorción del agregado fino.....	117
Tabla 72. Porcentaje de vacíos del agregado grueso.....	117

Tabla 73. Desgaste a la abrasión del agregado grueso	118
Tabla 74. Análisis de Ph y conductividad del agregado grueso	118
Tabla 75. Resistencia a la compresión del reemplazo de agregado grueso x PET	119
Tabla 76. Resistencia a la compresión del reemplazo de agregado fino x PET	121
Tabla 77. Resistencia a la compresión del reemplazo de la mezcla de A. fino y A. grueso x PET	123
Tabla 78. Resistencia a la compresión de la adición de PET a la mezcla de A. fino y A. grueso..	125
Tabla 79. Ensayo de absorción del reemplazo de agregado grueso x PET	127
Tabla 80. Ensayo de absorción del reemplazo de agregado fino x PET	129
Tabla 81. Ensayo de absorción del reemplazo de la mezcla de agregado grueso y fino x PET	131
Tabla 82. Ensayo de absorción de la adición de PET a la mezcla de agregado grueso y fino	133
Tabla 83. Resistencia al desgaste a la abrasión del reemplazo de agregado grueso x PET	135
Tabla 84. Resistencia al desgaste a la abrasión del reemplazo de agregado fino x PET	137
Tabla 85. Resistencia al desgaste a la abrasión del reemplazo de agregado grueso y fino x PET	139
Tabla 86. Resistencia a la abrasión de la adición de PET a la mezcla de agregado grueso y fino .	141
Tabla 87. Datos y valores del F teórico.....	145
Tabla 88. F experimental para ensayo de resistencia a compresión.....	145
Tabla 89. Estimación de Y_j y Y_i para ensayo de resistencia a la compresión	146
Tabla 90. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de resistencia a la compresión	148
Tabla 91. F experimental para ensayo de absorción	149
Tabla 92. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de absorción	150
Tabla 93. F experimental para ensayo de desgaste a la abrasión	151
Tabla 94. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de desgaste a la abrasión	152
Tabla 95. Matriz de consistencia.....	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Huella (Hm) obtenida en adoquines con 5% de vidrio de granulometría fina.....	21
Figura 2. Cemento Inka Anti salitre tipo HS.....	28
Figura 3. Agregados para componentes del concreto.....	29
Figura 4. Modelo esquemático del peso volumétrico del agregado	33
Figura 5. Estados de saturación de los agregados	34
Figura 6. Codificación del tereftalato de polietileno plásticos (PET)	36
Figura 7. Estructura química del tereftalato de polietileno (PET).....	36
Figura 8. Dimensiones de un adoquín Tipo I.....	43
Figura 9. Obtención de residuos de plástico	48
Figura 10. Toma de muestra de la cantera el Milagro.....	49
Figura 11. Peso unitario suelto y compactado de los agregados	55
Figura 12. Ensayo de peso específico del agregado fino	58
Figura 13. Evaluación química de los agregados.....	62
Figura 14. Procedimiento del estado en fresco del adoquín prensado	70
Figura 15. Ensayo de compresión	72
Figura 16. Ensayo de absorción de adoquines	73
Figura 17. Medición la huella en mm	74
Figura 18. Desgaste a la abrasión de adoquines.....	75
Figura 19. Ingreso de datos en programa SPSS	77
Figura 20. Valores para los porcentajes de residuos PET	77
Figura 21. Ingreso de valores en la vista de datos.....	77
Figura 22. Pasos a seguir para realizar la prueba de normalidad	78
Figura 23. Proceso para analizar una variable independiente	78
Figura 24. Significancia de Kolmogorov-Smirnov; Reemplazo de AG x PET	79
Figura 25. Significancia de Kolmogorov-Smirnov; Reemplazo de AF x PET	79
Figura 26. Significancia de Kolmogorov-Smirnov; Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET .	79
Figura 27. Significancia de Kolmogorov-Smirnov; Adición de PET a la mezcla de AG y AF.....	80
Figura 28. Reemplazo de agregado grueso x PET	94
Figura 29. Reemplazo de agregado fino x PET.....	95
Figura 30. Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET.....	96
Figura 31. Adición de PET a la mezcla de AG y AF	97
Figura 32. Ensayo de absorción - reemplazo de AG x PET.....	98
Figura 33. Ensayo de absorción - reemplazo de AF x PET	99
Figura 34. Ensayo de Absorción - reemplazo de la mezcla de AF y AG x PET.....	100
Figura 35. Ensayo de absorción - Adición de PET a la mezcla de AF y AG.....	101

Figura 36. Ensayo de desgaste a la abrasión - reemplazo de AG x PET.....	102
Figura 37. Ensayo de desgaste a la abrasión - reemplazo de AF x PET	103
Figura 38. Ensayo de desgaste a la abrasión - reemplazo de la mezcla de AF y AG x PET.....	104
Figura 39. Ensayo de desgaste a la abrasión - adición a la mezcla de AF y AG x PET.....	105
Figura 40. Curva granulométrica del agregado grueso	114
Figura 41. Curva granulométrica del agregado fino.....	115
Figura 42. Daños generados en veredas de concreto.....	153
Figura 43. Instalación de adoquines tipo I	153
Figura 44. Gráfico de demanda anual de adoquines en el Perú.....	153
Figura 45. Pasaje adoquinado del Jr. Pizarro – Trujillo	154
Figura 46. Instalación de adoquines del Jr. Grau – Trujillo	154
Figura 47. Máquinas bloqueras para adoquines	154
Figura 48. Residuos plásticos de origen domiciliario	154
Figura 49. Botadero controlado El Milagro - Trujillo.....	154
Figura 50. Colapso de basura del botadero El Milagro.....	155
Figura 51. Laboratorio de la Universidad Privada del Norte - sede San Isidro - Trujillo	155

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Muestra probabilística de una variable cuantitativa	43
Ecuación 2. Módulo de finura	51
Ecuación 3. Contenido de humedad	53
Ecuación 4. Peso unitario suelto	54
Ecuación 5. Peso unitario compactado.....	54
Ecuación 6. Peso específico de masa	56
Ecuación 7. Absorción	56
Ecuación 9. Desgaste por abrasión.....	60
Ecuación 10. Salinidad.....	61
Ecuación 11. Resistencia a la compresión del adoquín, kg/cm^2	70
Ecuación 12. Porcentaje de absorción en adoquines, %.....	72
Ecuación 13. Desgaste por abrasión, mm.....	74

RESUMEN

El uso de residuos de Tereftalato de polietileno (PET) es considerada un desecho industrial. Sin embargo, en esta investigación, se muestra como una alternativa de reemplazo y adición para el diseño de mezclas de concreto, con el fin de mantener y mejorar la resistencia a la compresión, absorción y el desgaste a la abrasión en adoquines Tipo I.

En este estudio se evaluaron los ensayos de compresión (NTP 339.034), absorción (NTP 399.604) y desgaste a la abrasión (NTP 399.624/ NTE INEN 3040). Para el diseño de mezcla se utilizó la Norma ACI 211 con una relación agua/cemento de 0.30 utilizando dosificaciones de PET a 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5% respecto al reemplazo del peso del agregado grueso, agregado fino, a la mezcla del agregado grueso y agregado fino y a la adición de la mezcla del agregado grueso y agregado fino, con el fin de conseguir una determinada incidencia sobre las propiedades del concreto.

El diseño patrón fue ensayado a 28 días de curado a temperatura ambiente. De los cuales se obtuvo una resistencia de 441 kg/cm², absorción de 4.40 % y un ancho de huella de 19.5 mm.

Los mejores resultados se obtuvieron al reemplazar un máximo de 5% de PET. De los cuales al reemplazar el agregado grueso por PET se obtiene una resistencia de 418 kg/cm², absorción de 4.48% y un ancho de huella de 20.0 mm en el ensayo de desgaste a la abrasión respectivamente. Al reemplazar el agregado fino por PET se obtuvo una resistencia de 431 kg/cm², absorción de 4.48% y un ancho de huella de 20.0 mm. Sin embargo, en el tercer estudio al reemplazar a la mezcla de agregado grueso y agregado fino por PET se obtuvieron mejores resultados al reemplazar un máximo de 2.5% de PET logrando así una resistencia de 426 kg/cm², absorción de 5.33% y un ancho de huella de 20.5 mm. Con estos resultados, se establece que a mayor porcentaje de reemplazo de PET la resistencia a la compresión disminuye y la absorción y el ancho de huella aumenta.

Asimismo, al adicionar PET a la mezcla de agregado grueso y agregado fino al 5% se obtiene el mejor resultado, logrando una resistencia 445 kg/cm², absorción de 4.31% y un ancho de huella de 20.0 mm respectivamente. Con estos resultados, se establece que al adicionar PET hasta un 5% máximo la resistencia a la compresión aumenta, la absorción disminuye y el ancho de huella aumenta.

Palabras clave: Concreto con PET, adoquín peatonal, elementos constructivos, residuos PET.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El transporte sirve como medio para que transeúntes y transportistas puedan movilizarse o trasladarse de un lugar a otro, facilitando el comercio en todo el mundo y mejorando el desarrollo y crecimiento económico de una población. De esta manera, se logra que las actividades económicas se vean favorecidas siempre y cuando los medios de transporte sean buenos, seguros, rápidos y sobre todo económicos. Es por eso, que el pavimento es un elemento necesario para la construcción de vialidades ya que brinda una mejor movilidad de peatones y vehículos. Sin embargo, en los últimos años se ha considerado que estas superficies ya no solo se realicen con los criterios tradicionales como accesibilidad, resistencia y alta eficiencia económica, sino incorporar criterios sociales y ambientales, con la única finalidad de tener impactos positivos en la sociedad, en el agua, en el suelo, en el aire, en la flora y en la fauna; contribuyendo con la mejora del cuidado ambiental, ahorro energético y disminuyendo así la emisión de contaminantes. (Cárdenas, Albiter, & Jaimes, 2017)

En el Perú, los adoquines son ampliamente utilizados para la construcción de pavimentos articulados debido a la facilidad que tienen de instalarse y retirarse tantas veces sea, sin perder material en grandes cantidades luego de haberse realizado algún trabajo de mantenimiento. Asimismo, son más económicos en comparación a un pavimento de concreto o un pavimento asfáltico. (Espresac, 2019)

Durante los años 2013 y 2014 la demanda anual de adoquines en el Perú fue de más de 45 millones de unidades debido a la modernización de vías de transporte en las ciudades de Arequipa, Trujillo, Chiclayo y Piura. (Pastor, A., Salazar, J., Seminario, R., Tineo, A. y Zapata, J., 2015)

En la ciudad de Trujillo, las calles que tienen un pavimento adoquinado son el Jr. Pizarro en las cuadras 5, 6, 7 y 8 del Centro Histórico. Asimismo, las veredas de las cuadras 1, 2, 3 y 4 del jirón Orbegoso y las cuadras cuatro de los jirones Independencia, Pizarro y Almagro siendo un total de 2800 m². De los cuales, se instaló 2465.68 m² con adoquín de concreto en colores rojo, gris claro y gris oscuro, 259.68 m² con adoquín de concreto para invidentes y 69.40 m² que sirvieron para las rampas de concreto. (Andina, 2019)

Actualmente, las empresas más importantes a nivel nacional que fabrican y abastecen prefabricados de concreto se encuentran:

UNICON con RUC 20297543653, siendo una de las empresas líder en el mercado peruano con más de 50 años de experiencia en la producción de concreto premezclado, a través de la alianza estratégica con Master Builders Technologies (MBT). Entre sus productos ofrecen adoquines de concreto para implementación en pavimentos peatonales como veredas, plazas, parques, boulevards y pavimentos vehiculares ligeros y pesados como estacionamientos y accesos, vías urbanas, patios de contenedores en puertos, etc. Esta empresa ofrece adoquines de forma rectangular de ancho 10cm, largo 20 cm, espesor 4, 6 y 8 cm, con un rendimiento de 50 unid/m² y de forma estriada o unistone de ancho 11.25 cm, largo 22.50 cm, espesor 4 y 6 cm. con un rendimiento de 40 unid/m². Los colores comunes que ofrecen son gris/natural, rojo, negro, amarillo, gris claro y otros a pedido.

CONCRETOS SUPERMIX S.A. empresa del consorcio cementero del sur S.A., productor y comercializador de concreto premezclado, agregados para la construcción, productos prefabricados de concreto y varios otros productos y servicios para el sector de la construcción. Entre sus productos brindan tres tipos de adoquines producidos bajo la Norma Técnica Peruana NTP 399.611.

Tipo I de espesor de 4 cm, con una resistencia de 320 Kg/cm². Para pavimentos peatonales como veredas, pasadizos, patios, parques, pasos peatonales.

Tipo II de espesores de 6 y 8 cm, con una resistencia de hasta 420 Kg/cm². Para pavimento de tránsito vehicular ligero como calles, avenidas, cocheras, playas de estacionamiento, residenciales privadas.

Tipo III de espesores de 8 a 10 cm, con una resistencia de hasta 561 Kg/cm². Para pavimento de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

Distribuidora Norte Pacasmayo SRL. (DINO). Subsidiaria comercial de Cementos Pacasmayo S.A.A. DINO. Distribuye materiales para la construcción en todo el norte y oriente del Perú. Entre sus productos brindan dos tipos de adoquines producidos a base de cemento, agua y áridos finos/gruesos naturales y/o artificiales con o sin aditivos, incluidos pigmentos de forma nominal, prefabricado.

Adoquín de concreto 4. Para pavimentos de tránsito peatonal, de resistencia mínima de 320 Kg/cm² de dimensiones de 20 x 10 x 4 cm.

Adoquín de concreto 6. Para pavimentos de tránsito peatonal y vehicular, de resistencia mínima de 420 Kg/cm² de dimensiones de 20 x 10 x 6 cm.

En Trujillo, TECNICRETO SAC. Empresa peruana con más de 40 años de experiencia en la fabricación de prefabricados de concreto, ofrece una nueva línea para la construcción de pavimentos peatonales como adoquines de concreto para implementación de cocheras, patios y terrazas. Esta empresa brinda adoquines peatonales de dimensiones de 10 cm de ancho, 20 cm de largo y espesor de 4 y 6 cm en colores rojo, gris claro y amarillo.

Para la elaboración de estos prefabricados hay varias opciones, se puede usar los cementos tradicionales, cementos adicionados (ecológicos) y cementos especializados. Entre las empresas que abastecen este tipo de aglomerante son cemento Pacasmayo que, en relación a precios, dependerá del tipo de aglomerante que se requiera como Cemento Pacasmayo tipo I, cemento fortimax, cemento tipo V, cemento para prefabricados, etc. (Cementos pacasmayo, 2020)

Hoy en día, existen otra alternativa de cementos que están entrando en los sectores de Lima, Lima centro, Lima sur. Siendo cementos más cómodos y que tienen presentes las mismas características y comportamientos que los cementos tradicionales que se venden en Trujillo considerando propiedades como alta resistencia a sulfatos, salitres o cualquier agente externo que perjudique al material.

Para la conformación del producto se utilizan diversos tipos de equipos y máquinas. Entre ellas, máquinas bloqueras estacionarias, electromecánicas, semiautomáticas e hidráulicas produciendo en gran escala o de manera individual. En Perú, se encuentra la empresa Bloqueras Perú S.A.C., especialista en diseñar y fabricar máquinas bloqueras y equipos para la producción de prefabricados de concreto como: bloques, ladrillos y adoquines de arena cemento, productos utilizados en la industria de la construcción. (Bloqueras Perú S.A.C., 2020)

A nivel mundial, se conoce la gran diversidad de plásticos, clasificándose en termoplásticos y termoestables. Para la fabricación de adoquines se pueden utilizar aquellos que sean sumamente delgados y flexibles como por ejemplo el polipropileno, polietileno, polivinilo, cloruro de Polivinilo, nylon, polietileno de Tereftalato. (Hachi y Rodriguez, 2010)

De acuerdo a Asian machinery Usa, Inc. Empresa de servicio a la industria de plástico en Latinoamérica, brinda trituradoras para botellas y rígidos con cribas de 6, 8 y 10 mm, siendo personalizable a la dimensión que se requiera. (Asian machinery U.S.A., 2020). Y en Trujillo, las empresas más importantes referente al trabajo del reciclaje son Reciclapet Perú, Aprhinor SRL y Recicladora centauro Sac.

Actualmente en el Perú, no existen políticas sectoriales que busquen desarrollar el negocio de reciclaje. A pesar de que la producción de basura ha logrado ir creciendo al triple de rápido que la economía peruana, logrando que las empresas relacionadas al reciclaje aumenten un 119% en los últimos 3 años. (Pastor, A., Salasar, J., Seminario, R., Tineo, A. y Zapata, J., 2015)

En el Perú, durante el año 2013, de acuerdo al Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos de la Gestión del Ámbito Municipal y no Municipal emitido por el Ministerio del ambiente (MINAM), la generación de residuos sólidos en el ámbito urbano llegó a 18,533 t/día. De los cuales solo 7,656 t/día fueron dispuestos a un relleno sanitario autorizado, 8,545 t/día en botaderos municipales y más de 300.5 t/día en destinos no especificados. Tanto así y considerando la población urbana proyectada y el promedio de Generación Per Cápita de la región La Libertad, se determinó la generación de 780, 558 Kg/día de residuos de origen domiciliario. (Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos de la Gestión del Ámbito Municipal y no Municipal, 2013)

Anualmente, se estima que a nivel nacional se producen cerca de 5,349,960 t/año de residuos sólidos de origen domiciliario y solo en Lima Metropolitana y el Callao se generan 886 toneladas de residuos plásticos al día, representando el 46% de dichos residuos, en el departamento de La Libertad se producen cerca de 260,434 t/año y solo en la ciudad de Trujillo y distritos se producen cerca de 192,107 t/año (Sistema de información para la gestión de residuos sólidos, 2019).

Además, se identificó que de los residuos domiciliarios de la región Costa, solo el 25.23 % son residuos no peligrosos reaprovechables, de los cuales solo el 3.63 % es de plástico PET (Sistema de información de gestión de residuos sólidos, 2019)

Se estima que la contaminación del plástico pet es de 14.63%, provocando en el medio ambiente daños irreparables, debido a que anualmente se vierten 8 millones de toneladas de plástico al mar, y éstas siguen a corrientes marinas acumulándose en zonas específicas del océano, llegando a la fecha la acumulación de 6.3 billones de toneladas de plástico (Ministerio del ambiente, 2019).

Asimismo, en la actualidad se estima que en la ciudad de Trujillo cerca de mil toneladas llegan al botadero de basura “El Milagro” por lo que necesitarían cerca de 400 estaciones de reciclaje para mitigar los residuos sólidos (Segat, 2019)

Por ende, las leyes de residuos sólidos municipales se han establecido en el Decreto Legislativo N° 1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de

Residuos Sólidos, cuyo objeto es establecer derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, con la finalidad de conseguir la eficiencia en el uso de los materiales y asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos de forma económica, sanitaria y ambiental, con sujeción a las obligaciones, principios y lineamientos de este Decreto Legislativo.

Asimismo. La ley N° 30884, cuyo objetivo es de establecer el marco regulatorio sobre el plástico de un solo uso, plásticos no reutilizables y recipientes o envases descartables de poliestireno expandido (Tecnopor) para alimentos y bebidas de consumo humano en el territorio nacional en conjunto con el artículo 10 obligan el uso de un material reciclado en botellas de tereftalato de polietileno (PET), sustentando que los fabricantes de botellas de tereftalato de polietileno (PET) para bebidas de consumo humano, aseo personal y otras similares, deben obligatoriamente incluir en la cadena productiva material PET reciclado posconsumo (PET-PCR) en al menos quince por ciento (15%) de su composición, cumpliendo con las normas de inocuidad alimentaria. El Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo (SEGAT), constituye un Organismo Público Descentralizado de la Municipalidad Provincial de Trujillo y es responsable de la gestión integral de los residuos sólidos municipales, Ley 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, desde su generación hasta su disposición final; el mantenimiento de las áreas verdes así como la protección del medio ambiente, para que la población de Trujillo se desarrolle en un entorno ordenado limpio, verde, y saludable mejorando la calidad de vida. (SEGAT)

De acuerdo al anuario estadístico del Ministerio de Transportes y comunicaciones del Perú a través del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) sustentan que el Perú posee 173 500, 7 Km de longitud total de superficie de rodadura, de los cuales 140 799.6 Km están no pavimentadas y solo en el departamento de La Libertad existe 7754,0 Km. (Ministerio de transportes, 2018). Por tanto, es en esta longitud vial en la que se puede aplicar la instalación de un pavimento articulado. Sin embargo, en este país, los estudios, ensayos y fabricación de adoquines PET son escasos, debido a que en la actualidad no existe un documento certificado en la ingeniería peruana que nos hable sobre las propiedades del concreto con material reciclado, en el que se reúna los procesos de diseño, fabricación y mantenimiento. Sin embargo, uno de los pocos estudios que se han realizado sobre las propiedades del concreto PET ha sido en el 2015, en el que la Universidad de Piura, con el objetivo de diseñar una planta productora de adoquines a

base de cemento y plástico reciclado, encontraron que con una proporción de 1 de cemento por 1.5 de arena y 0.5 de PET, se obtiene una resistencia a la compresión a los 7 días de 100.63 kg/cm^2 de resistencia (Pastor, Salazar, Seminario, Tineo y Zapata, 2015)

Con el uso de tereftalato de polietileno (PET) se estaría determinando si este adoquín ecológico es adecuado para su aplicación en pavimentos de la ciudad de Trujillo, ya que, en nuestro país, todavía no se viene implementando como una alternativa de solución el reciclaje frente a los problemas que conlleva la acumulación de basura plástica en las calles y playas de la ciudad de Trujillo.

Las ventajas de implementar un pavimento adoquinado frente a un pavimento asfáltico son de garantizar un acabado más rápido, ya que su instalación y reinstalación es fácil y rápida, es seguro y confortable ya que, por lo general presentan una superficie antideslizante, aun cuando está húmedo. Son ecológicos y decorativos ya que son fabricados con materiales naturales y sin contaminantes. Asimismo, son más económicos.

Antecedentes

Becerra, (2019) con el fin de obtener el grado académico de maestro en ciencias con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible por la universidad nacional Jorge Basadre Grohmannen – Tacna en la investigación de tesis denominada “Reciclado de residuos plásticos PET en dosificación de mezclas de concreto para mitigar su impacto ambiental en la ciudad de Tacna”, su objetivo fue utilizar los residuos plásticos PET en la ciudad de Tacna, en una adecuada dosificación de mezclas para la fabricación de concretos, para mitigar su impacto ambiental en la ciudad de Tacna. Su resistencia de diseño fue de 100 kg/cm^2 En esta investigación utilizó como materia prima para el diseño de mezcla de a/c de 0.75, el cemento Portland Multi – propósito Yura, gravilla de 1/4", arena gruesa y los residuos de plástico PET, sustituyendo a la arena gruesa en los porcentajes en peso de 8%, 10% y 12% respectivamente. Se elaboraron probetas de concreto de 6"x12", realizando el ensayo de compresión a los 28 días de curado, con lo cual, concluyó que el concreto conteniendo 8% de plástico PET presentó la mejor resistencia a la compresión obteniendo una resistencia de 97 kg/cm^2 acercándose a la probeta patrón de 99 kg/cm^2 reduciendo 2.06% de la resistencia el PET. Este estudio aporta a mi investigación dando a conocer que se puede usar hasta un máximo de 8% de residuos para mantener una resistencia similar al

de la probeta patrón. A la vez, considera que conforme se aumenta el contenido de residuos PET en reemplazo de la arena gruesa, la resistencia va a ir disminuyendo.

Aguilera y Diestra (2017) realizaron la investigación “Influencia de la fibra de PET a partir de botellas recicladas sobre el comportamiento mecánico en un concreto aplicado en prefabricados” publicada por la Universidad Nacional de Trujillo, Perú; esta investigación tuvo como objetivo elaborar concreto adicionando fibras de PET de diámetro de 13 mm hasta 25 mm y con un espesor de 0.36 mm hasta 0.43 mm en 0%, 0.5%, 1.0% y 1.5% a una mezcla utilizando cemento portland Tipo I, arena gruesa y piedra de ½” basado en un relación a/c = 0.62 con una resistencia a la compresión de 210 Kg/cm² en probetas de 20 cm de altura y 10 cm de diámetro. La investigación en mención concluye que la adición de fibras de PET en el concreto disminuye la resistencia a la compresión y resistencia a la tracción a medida que va aumentando el porcentaje de fibras, la resistencia promedio a los 28 días de curado con adición de 0%, 0.5%, 1.0% y 1.5% obtienen resistencias a la compresión de 253 kg/cm², 232 kg/cm² evidenciando una reducción del 8%, 196 kg/cm², 177 kg/cm² respectivamente Asimismo, para el ensayo de resistencia a la tracción promedio a los 28 días de curado con adición de 0%, 0.5%, 1.0% y 1.5% obtienen resistencias de 27.2 kg/cm², 25.9 kg/cm², 23.5 kg/cm², 19.6 kg/cm² respectivamente. Este estudio aporta a mi investigación dando a conocer que al adicionar mayor contenido de fibras PET, la resistencia disminuye, teniendo en cuenta que solo el 0.5% de PET puede disminuir una resistencia de 8% al diseño patrón.

Asimismo, en este estudio se hizo una comparación de las propiedades físicas del PET virgen y el PET reciclado, basándose de una investigación científica del año 2005 titulada “Propiedades del tereftalato de polietileno reciclado / Mezcla de policarbonato fabricada por moldeo de inyección de barril ventilado”

Tabla 1. Comparación entre propiedades físicas del PET virgen y el PET reciclado

Propiedad	Unidad	PET virgen	PET reciclado
Módulo de Young	Mpa	1890	1630
Resistencia a la rotura	Mpa	47	24
Resistencia al impacto	Jm ⁻¹	12	20
Viscosidad intrínseca	dlg ⁻¹	0.72 - 0.84	0.46 - 0.76
Temperatura de fusión	°C	244 - 254	247 - 253
Masa Molecular	gmol ⁻¹	81,600	58,400

Fuente: Aguilera y Diestra, 2017

Léctor y Villarreal (2017) realizaron la investigación “Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de nuevo Chimbote” publicada por la Universidad Nacional del Santa, Perú; esta investigación tuvo como objetivo elaborar concreto adicionando plásticos de reciclaje PET en 0%, 5%, 10% y 15%. La investigación en mención concluye que la adición de material plástico reciclado (PET) no llegan a mejorar las propiedades físicos-mecánicas de una mezcla convencional de concreto logrando que para concretos de $f'c$ 175 kg/cm²: la resistencia promedio a los 28 días con adición de 0%, 5%, 10% y 15% obtienen resistencias a la compresión de 183 kg/cm², 144 kg/cm², 120 kg/cm², 94 kg/cm² respectivamente, estableciendo que al adicionar 5 % de PET la resistencia se reduce en un 21.42 %, al 10 % la resistencia se reduce en un 34.25 % y al 15 % la resistencia se reduce en 48.49 %. Asimismo, para concretos de $f'c$ 210 kg/cm²: se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 215 kg/cm², 184 kg/cm², 146 kg/cm², 111 kg/cm² para las mezclas de concreto con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente. Este estudio aporta a mi investigación dando a conocer que al adicionar mayor contenido de residuos PET, la resistencia disminuye, considerando que al adicionar 5 % de PET la resistencia se reduce en 14.61 %, al 10 % la resistencia se reduce en 32.28% y al 15 % la resistencia se reduce en 48.28 %.

Morales, (2016) con el fin de obtener el grado académico de ingeniero por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Lima – Perú. Realizó la investigación de tesis denominada “Estudio del comportamiento del concreto incorporando PET reciclado”, su objetivo fue determinar la variación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, sustituyendo de manera parcial el agregado grueso por residuos triturados de PET (Tereftalato de Polietileno) reciclado en probetas y vigas de concreto. Sus diseños para las mezclas de concreto con reemplazo de PET reciclado en peso del agregado grueso fueron de 5%,10% y 15% utilizando cemento Sol Tipo I, arena y agregado grueso basado en una relación $a/c = 0.60, 0.65$ y 0.70 en morteros, probetas y vigas de concreto. Concluyendo que, para un concreto en estado endurecido, los valores de las resistencias mecánicas a compresión axial, a compresión diametral y a flexión en vigas, disminuyen conforme mayor PET reciclado presentan las muestras de concreto. Asimismo, finaliza que el PET reciclado es una valoración como agregado artificial; ya que por sus características puede reemplazar ventajosamente un porcentaje del agregado grueso, utilizando el concreto con PET en distintos usos que se plantean según su resistencia. Además, contribuir a disminuir la acumulación de los plásticos de botellas residuales del medio ambiente. Este estudio aporta a mi investigación dando a conocer que conforme se aumenta el contenido de residuos PET

en reemplazo del agregado grueso, la resistencia va a ir disminuyendo, considerando a la vez que se puede usar hasta un máximo de 5% de residuos para mantener una resistencia similar al de la probeta patrón.

En el artículo de la revista ESAICA del Capítulo de Ingeniería Civil denominado “Diseño y elaboración de un sistema de adoquines de bajo costo y material reciclado para construcciones en núcleos rurales, Colombia”, el autor Di Marco (2015) tuvo como objetivo emplear residuos PET como sustituto de áridos (arena), ingrediente de morteros, en la fabricación de componentes constructivos y específicamente de adoquines de 24 cm de largo x 12 cm de ancho y 6 cm de espesor. En esta investigación utilizó como materia prima para el diseño de mezcla cemento Boyacá tipo I, arena bien gradada de densidad de 2.51 gr/cm³ y los residuos de plástico PET, sustituyendo a la arena en los porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% y 45%. Concluyendo que a un reemplazo de 25% se obtiene una mayor absorción de agua de 2.42%, mientras que en un reemplazo de 20% se obtiene la mayor resistencia a la compresión de 64.90 kg/cm². Este estudio aporta a mi investigación dando a conocer que conforme se aumenta el contenido de residuos PET en reemplazo de la arena gruesa, la resistencia va a ir disminuyendo. Considerando que solo se puede usar hasta un 20% para tener una resistencia cercana al del diseño patrón.

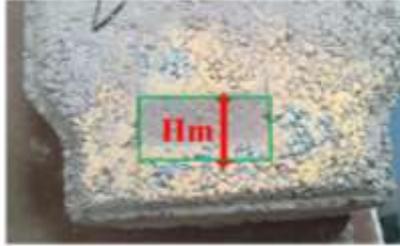
En el artículo de la revista Politécnica del capítulo de Ingeniería Civil de Quito – Ecuador denominado “Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A”, los autores (Poveda, Granja, Hidalgo, & Ávila, 2015) tuvieron como objetivo emplear residuos de vidrio molido como sustituto de los agregados tradicionales del hormigón para la fabricación artesanal de adoquines tipo. En esta investigación utilizó como materia prima para el diseño de mezcla cemento hidráulico marca Selvalegre tipo IP (Portland puzolánico), arena roja de MF de 2.83, piedra de MF de 6.61, residuos de vidrio fino con un D80 de 1.15 mm y MF de 2.4 y vidrio grueso con un D80 de 3.97 mm y MF de 4.55, sustituyendo a la arena en los porcentajes de 5%, 15%, 25% y 35%. Concluyendo que a un reemplazo de 5% de vidrio fino por arena se obtiene una mejor resistencia al desgaste.

Tabla 2. Huellas medidas promedio de acuerdo al porcentaje y tamaño de grano del vidrio

Descrip	Con vidrio fino				Con vidrio grueso				Trad.
	5%	15%	25%	35%	5%	15%	25%	35%	
% Vidrio	29,0	28,7	27,0	28,0	24,7	23,0	26,0	28,3	29,7
Huellas Medidas (mm)	27,7	26,8	27,0	27,0	28,3	28,0	27,3	28,0	29,0
	28,3	26,3	27,7	27,0	25,7	26,0	26,0	26,7	28,7
Promedio (mm)	28,3	27,3	27,2	27,3	26,2	25,7	26,4	27,7	29,1

Fuente: Poveda, Granja, Hidalgo y Ávila, 2015

Figura 1. Huella (Hm) obtenida en adoquines con 5% de vidrio de granulometría fina.



Fuente: Poveda, Granja, Hidalgo y Ávila, 2015

Jaimes, (2018) con el fin de obtener el título profesional de ingeniero civil por la universidad San Pedro – Huaraz en la investigación de tesis denominada “Resistencia de adoquines de concreto $F^C = 320 \text{ Kg/cm}^2$, sustituyendo el cemento en 15% y 30% por una combinación de cáscara de huevo y vidrio molido”, esta investigación tuvo como objetivo utilizar la combinación de los residuos de cáscara de huevo y vidrio molido en reemplazo del cemento en porcentajes en peso de 15% y 30% respectivamente para la fabricación de adoquines de concreto. Para esta investigación consideró una resistencia teórica de 320 Kg/cm^2 y con respecto al uso de la materia prima utilizó cemento Portland tipo I, gravilla de $3/8''$, arena gruesa y los residuos de cáscara de huevo y vidrio molido de dimensiones menores al tamiz N° 200 (0.075 mm). Se elaboraron adoquines de dimensiones de $20 \times 10 \times 6 \text{ cm}$ (Tipo I – peatonal) realizando el ensayo de compresión a los 7, 14 y 28 días de curado; con lo cual, concluyó que el adoquín al ser sustituido el cemento por el 15% de la combinación de residuos de cáscara de huevo y vidrio molido presentó la mejor compresión obteniendo una resistencia de 361.50 kg/cm^2 superando a la probeta patrón de 350.28 kg/cm^2 y para el reemplazo de 30% se obtuvo una resistencia de 325.18 kg/cm^2 reduciendo en un 7.17 % de la resistencia patrón.

Este estudio aporta a mi investigación dando a conocer que se puede usar residuos de cáscara de huevo y vidrio molido en porcentajes menores al 15% para mejorar la resistencia de las probetas patrón. Asimismo, se considera que, a mayor porcentaje de la combinación de los residuos en reemplazo del cemento, menor será la resistencia.

En una investigación de la revista de ingeniería INGENIUM del Capítulo de Ingeniería Civil denominado “Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto, Colombia”, el autor (Pérez, 2012) tuvo como objetivo emplear residuos de ladrillo reciclado como sustituto del agregado grueso (grava) para la fabricación de concreto en probetas cilíndricas considerando una resistencia teórica de 210 Kg/cm^2 . En esta investigación se utilizó como materia prima grava natural y triturado de ladrillo de clasificación SUCS: GP, grava mal gradada de densidad de 2.66 g/cm^3 y 1.95 g/cm^3 y arena

de clasificación SUCS: SW-SM, arena bien gradada con limo de densidad de 2.55 g/cm^3 . Se sustituyó la grava por residuos de ladrillo en porcentajes de 10%, 20% y 30% en un diseño de mezcla cuya R a/c fue de 0.5. En este estudio, se concluyó que el uso de los residuos de ladrillo como reemplazo de grava para la fabricación de concreto es óptimo cuando el porcentaje de residuos de ladrillo no exceda el 30%. Los resultados que se encontraron fueron que al reemplazar el 0% = 255.21 Kg/cm^2 , 10% = 247.83 Kg/cm^2 , 20% = 247.69 Kg/cm^2 y 30% = 241.15 Kg/cm^2 en donde la disminución varía entre 2 y 6% pero son mayores a los de un concreto convencional.

En la investigación de Montiel en el año 2017 con el tema “Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales” publicada por la Universidad Nacional Autónoma de México, México; esta investigación tuvo como objetivo elaborar adoquines tipo A ($f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$), B ($f'c = 400 \text{ Kg/cm}^2$) y C ($f'c = 450 \text{ Kg/cm}^2$) adicionando residuos de caucho reciclado en 12.5% y 25%. Para esta referencia, solo se consideró el adoquín tipo A de forma rectangular diseñado con una resistencia de 350 Kg/cm^2 . Para la fabricación del adoquín, se utilizó cemento Portland tipo I, grava reciclada de TMN de 3/8”, arena, caucho en polvo y en gránulo de tamaño entre 3 a 5 mm. La investigación en mención concluye que la adición de caucho no llega a mejorar las propiedades físicos-mecánicas de una mezcla convencional de concreto logrando que para concretos de $f'c 350 \text{ kg/cm}^2$: la resistencia promedio a los 28 días con adición de 12.5% obtiene una resistencia a la compresión de 138.55 kg/cm^2 y al adicionar 25 % de caucho la resistencia se reduce en un 84.11 % obteniendo una resistencia de 55.42 Kg/cm^2 . Este estudio aporta a mi investigación dando a conocer que los mater

iales reciclados como el tereftalato de polietileno y los residuos de caucho no logran mejorar las propiedades de los prefabricados de concreto ya que de acuerdo a esta investigación se informa que al adicionar mayor contenido de residuos de caucho la resistencia disminuye en grandes porcentajes, tanto así que en una adición de 25 % la resistencia disminuye en un 84.11 %.

Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de dar una posible solución a la problemática que tiene la acumulación de plásticos en la ciudad de Trujillo en beneficio social y ambiental, utilizando los residuos de PET para la fabricación de adoquines ecológicos, ya que actualmente en el mercado local trujillano hay evidencias del uso del

adoquín. Por ende, tiene un gran mercado de consumo en el sector construcción ya que es un producto sostenible en el tiempo de gran durabilidad, su instalación es simple, de rápida colocación y el mantenimiento es bajo, el cual minimiza los gastos debido a que, en un cambio de colector, cajas de agua, etc. va a permitir solo el desplazamiento e instalación del nuevo producto con poca maquinaria y un personal obrero de bajo conocimiento técnico. El uso de este tipo de pavimento se puede apreciar en diferentes lugares como en el ingreso de la sierra liberteña - Santiago de Chuco; en la zona de Trujillo, la campiña de Moche; en universidades como en el ingreso de la Universidad Nacional de Trujillo y Universidad Privada del Norte.

Se plantea elaborar adoquines peatonales Tipo I utilizando los residuos de plástico (PET) en forma de pellets de espesor de 0.05 - 0.15 mm y de dimensiones menores a 0.5 cm, debido a que al utilizar residuos de mayor dimensión perjudica al acabado y a las propiedades del prefabricado. Estos residuos, se mezclarán con los agregados tradicionales tales como el agregado grueso de TMN de 3/8" (gravilla) debido a que la altura del adoquín es de 6 cm por lo que una piedra de mayor pulgada afectaría tanto para el diseño como para el acabado y agregado fino (arena gruesa) para dar mejor apariencia al acabado final del producto. Asimismo, se utilizó cemento Inka tipo HS anti salitre debido a que actualmente tenemos una empresa grande como Cementos Pacasmayo que a generado en la globalización el ingreso de más marcas cementeras a Trujillo, encontrándose de que en los centros comerciales o grandes depósitos tienen una gran variedad de cementos del más bajo costo. Teniendo en consideración lo mencionado, uno de los nuevos productos de cementos es el cemento Inka, considerando que la planta se encuentra en Tarma hay evidencias que es un cemento sostenible en el uso para la construcción, debido a que hay un mercado que lo consume debido al costo más accesible y a la vez considerando las propiedades que posee como mayor impermeabilidad, durabilidad y resistencia en el tiempo, resistiendo mucho mejor al salitre y a la reacción álcali-sílice. Permitiendo así lograr una óptima resistencia a un bajo precio, dando a conocer a la población productos de buena calidad a un bajo costo y sobre todo con un menor impacto ambiental que puedan ser utilizados en avenidas, calles, plazas, estacionamientos, etc.

Este proyecto pretende lograr el desarrollo de una ingeniería más sostenible, reduciendo la contaminación de plástico y creando nuevas tecnologías de materiales. El reciclaje de plástico y los nuevos productos que se pueden crear a base de éstos es un campo amplio en el que se debe trabajar de forma constante para obtener nuevos logros.

El plástico se encuentra a disposición en diferentes centros de acopio de la ciudad de Trujillo, el acceso a obtener este material es libre, por lo que conlleva a ser factible la construcción de adoquines con residuos de plástico. Estos adoquines en su mayoría logran mantener las propiedades físicas y mecánicas de un típico adoquín industrial, siendo el reemplazo de 5% de PET en forma de pellets de tamaño menores a 0.5 cm el más óptimo para la sustitución o reemplazo del agregado grueso, agregado fino y a la vez para la adición de este material debido a que entre menor tamaño sean las partículas de plástico, mejor será el acabado del adoquín ecológico. Asimismo, para el reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino se consideró más óptimo un uso máximo de 2.5 % de reemplazo de PET.

Los ensayos que se realizaron fueron la resistencia a la compresión, absorción y desgaste a la abrasión, esto para ver el nivel de resistencia de cada adoquín en los distintos porcentajes de PET. El ensayo de compresión se hace con la finalidad de determinar un parámetro de diseño, la norma NTP 399.034 estipula capacidades de carga que el producto va a soportar por aplastamiento durante una carga distribuida en un área determinada. Esta unidad que se quiere elaborar tiene que superar el límite establecido de la norma, evitando deformarse o fisurarse durante el proceso de someterlo a carga ya que este producto va a estar sometido a aplastamiento en su uso peatonal. evitando que con ese valor el material tienda a deformarse.

Asimismo, las resistencias del producto deben cumplir con los requerimientos estipulados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y por la norma NTP 399.611 donde menciona que debe superar los 320 kg/cm², para que se puedan considerarse aptos como material de construcción. El ensayo de absorción se planteó con la finalidad de determinar si el prefabricado logró tener menos poros, disminuyendo la posibilidad de ingresar agua, cloruros y sulfatos. El ensayo de desgaste a la abrasión se realizó con el propósito de ver el comportamiento que tiene un adoquín durante una fricción, creando una fatiga y así produciendo un deterioro si es que el producto a evaluar no es compacto, rígido o resistente. Las porosidades en el material del adoquín pueden influir a un mayor deterioro o una menor durabilidad en el tiempo, es por ello que es importante evaluar la fricción para poder ver el ahuellamiento del material, verificando así la capacidad que tiene el adoquín de soportar el intemperismo, degradación y lluvias que se presenta en la localidad.

Bases teóricas

1. Adoquines de concreto

Es un elemento compacto de concreto, prefabricado, con la forma de prisma recto, cuyas bases son diversos polígonos, que permiten conformar superficies de rodadura de un pavimento articulado, utilizadas en estacionamientos, pistas, veredas, plazas, etc. (Instituto del cemento y del concreto de Guatemala, 2016)

2. Propiedades del concreto

Propiedades físicas

- **Trabajabilidad**

Es la facilidad con la que una mezcla de concreto puede manejarse, transportarse y vaciarse perdiendo al mínimo su homogeneidad.

Para medir la trabajabilidad es necesario visualizar la consistencia, fluidez o asentamiento del concreto. Esta se mide por medio de la prueba del cono de Abrams para concretos de consistencia fluida a seca y el consistómetro de Vebe para concretos de consistencia seca a extremadamente seca.

Tabla 3. *Consistencias utilizadas en la construcción*

	Cono de Abrams - Asentamiento (mm)	Cono de Abrams - Asentamiento (pulg)
Extremadamente seca	-	-
Muy seca	-	-
Seca	0 - 25	0 - 1
Seca plástica	25 - 75	1 - 3
Plástica	75 - 125	3 - 5
Muy plástica	125 - 190	5 - 8
Fluida	más de 190	más de 8

Fuente: ACI 211.3R-02, 200

- **Absorción**

Este ensayo se utiliza para calcular la cantidad de agua que una unidad de concreto puede absorber. La tasa de absorción o velocidad de ascensión capilar es una propiedad hidráulica que caracteriza a un material poroso la capacidad de absorber y transmitir agua a través de su masa mediante succión capilar representando la porosidad a la cual va a permitir el acceso al agua y por ende a los agentes agresivos ambientales. (Taus, 2003)

Los poros están entretejidos y entre conectados, permitiendo así el pasaje lento del agua a través del concreto. Mientras más denso es el concreto, más apretados los

poros y menos agua puede pasar a través. Frecuentemente los poros crean unas quebraduras finísimas dentro del concreto, debilitándolo. (López J. , 2004)

De acuerdo a López, existen varios tipos de poros en el concreto:

- Poros en el gel de cemento: Es de aproximadamente 2 nm. Y reside en la hidratación de productos que se acumulan entre la fase líquida y los granos anhídridos del cemento.
- Poros capilares pequeños:
- Poros capilares grandes
- Vacíos grandes (también incluidos en esta categoría pueden estar los vacíos intencionalmente agregados por ejemplo por el arrastre del aire.)
- Porosidad asociada con las zonas de interfaz de pasta-agregado
- Micro vacíos y discontinuidades asociadas con inestabilidades dimensionales que ocurren durante el curado
- Porosidad del agregado

De todos los tipos de poros, se considera que el diámetro de porosidad capilar más bajo es 100 nm.

Propiedades mecánicas

- **Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión del concreto f'_c es el parámetro de referencia más difundido para evidenciar las características resistentes y la calidad de un concreto. Según la NTP 399. 611 define a la resistencia a la compresión de bloques de concreto como la relación entre la carga de rotura a compresión de un adoquín y su sección. Asimismo, clasifica a los adoquines en tres tipos:

Tipo I: Adoquines para pavimentos de uso peatonal.

Tipo II: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.

Tipo III: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

Estos adoquines deben de seguir los requisitos mínimos establecidos por la Norma Técnica Peruana.

- **Desgaste a la abrasión**

De acuerdo a la NTP 399.624. “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto utilizando la máquina de desgaste”. Sostiene que la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto

consiste en someter a presión la cara vista de un adoquín mediante un flujo de material abrasivo llamado corindón que pasa tangencialmente por dicha superficie y la cara lateral de un disco metálico generando una huella, con la forma de la superficie curva del disco metálico, cuya longitud resultante es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste por abrasión, que posee el adoquín.

Asimismo, en conjunto con la norma técnica ecuatoriana INEN 3040 establece los métodos de ensayo para poder determinar la resistencia al desgaste a la abrasión de adoquines de concreto, mediante el ensayo de disco ancho metálico

3. Requisitos mínimos de calidad de los adoquines de concreto

La calidad de los adoquines va a depender tanto del tamaño y de la forma, ya que se requiere que éstos sean los más iguales posibles en relación a sus dimensiones, para facilitar la correcta colocación sobre la base. En cuanto a su superficie, deben presentar un color uniforme y sin fisuras, sus aristas y esquinas deben ser agudos sin desbordamientos o abombamientos o torceduras. (Buzón, 2010)

4. Materiales

- **Cemento Portland**

El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. (Clinker) que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento. Aporta distintas propiedades útiles y deseables, tales como resistencia a la compresión, durabilidad y estética para una diversidad de aplicaciones de construcción. (CEMEX, 2019)

Composición química

Los cementos, según la norma europea UNE-EN 197-1:2011, son conglomerantes hidráulicos, es decir, materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que al ser finamente molidos y convenientemente amasados con agua se logran formar pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables.

Por consiguiente. Rivera (2013), sostiene que se suelen considerar como los componentes principales del cemento se mencionan en la Tabla 4.

Tabla 4. *Compuestos principales del cemento Pórtland*

Nombre del compuesto	Fórmula	Abreviatura
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminoferrito tetra-cálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fuente: Rivera, G., 2013

Clasificación

A continuación, se detalla los siete tipos de cementos Pórtland. Especificaciones de la performance cuyas propiedades se han normalizado según la especificación NTP 334.082 y la ASTM C1157:

Tipo GU: Para construcciones generales, cuando no se requieran propiedades generales.

Tipo HE: De alta resistencia inicial.

Tipo MS: De moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo HS: De alta resistencia a los sulfatos.

Tipo MH: De moderado calor de hidratación.

Tipo LH: De bajo calor de hidratación.

Opción R: De baja reactividad con agregados reactivos álcali-sílice.

Figura 2. Cemento Inka Anti salitre tipo HS



Fuente: Cementos Inka

- **Agregados**

Los agregados son compuestos de materiales geológicos como la piedra, la arena y la grava, que se obtienen de minas naturales a cielo abierto o de fosas de arena y grava, canteras de roca dura, dragado de depósitos sumergidos o extracción de sedimentos subterráneos, aprovechándose en su estado natural o triturándose y convertirse en fragmentos más pequeños. siendo utilizados en las diversas gamas de aplicaciones de construcción (CEMEX, 2019)

Representan aproximadamente de 60% a 75% del volumen total del concreto premezclado, y además ejercen una importante influencia en las cualidades del concreto recién mezclado, así como también después de que éste endurece. (CEMEX, 2019)

Figura 3. Agregados para componentes del concreto



Fuente: Supermix

Además. Porrero, Ramos, Grases y Velazco (2014) argumentaron que los agregados que se utilicen en una mezcla de concreto deben ser aquellos en los que las características de éstos beneficien las propiedades del concreto, tales como: la trabajabilidad, el contenido de cemento, la adherencia con la pasta y las óptimas resistencias mecánicas.

Clasificación

Quiroz y Salamanca (2006) dieron a conocer diferentes definiciones según tres clasificaciones:

Por su procedencia

Agregados naturales: Formados por procesos geológicos

Agregados artificiales: Agregado que proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos agregados artificiales son productos secundarios como la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el concreto reciclado, piedra chancada, etc.

Piedra chancada: Producto que resulta de la trituración artificial de rocas, piedra boleada o pedruscos grandes, del cual todas las caras poseen aristas bien definidas, resultado de la operación de trituración.

Escoria siderúrgica: Residuo mineral no metálico, que consta en esencia de silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, y que se produce simultáneamente con la obtención del hierro.

Por su tamaño

Agregado grueso: Los depósitos de grava se producen por la acción del proceso natural de erosión y la acción de la intemperie. Este producto se puede utilizar para caminos, para manufacturar concreto o para efectos de decoración. (CEMEX, 2019). Este agregado es retenido por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm). El agregado grueso utilizado es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta

Agregado fino: La arena ocurre naturalmente y está compuesta de material rocoso fino y partículas minerales. Su composición varía dependiendo de la fuente. Esta se puede usar para construcción de caminos, manufacturar concreto o para proyectos sanitarios. (CEMEX, 2019).

Este agregado pasa por el tamiz de 3/4 pulg. (9.5 mm) y casi pasa por completo por el tamiz N°. 4 (de 4.75 mm). y es retenido de modo predominante por el tamiz N°. 200 (de 75 µm).

Rivera (2013) logró para los agregados una clasificación más específica, en la cual muestra los nombres de los elementos más usuales y su uso para morteros o concretos según el tamaño de sus partículas.

Tabla 5. Clasificación de los agregados según el tamaño de sus partículas

Tamaño en mm	Denominación más común	Clasificación	Uso como agregado de mezclas
< 0.002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
0.002 - 0.074 (N°200)	Limo	Fracción fina	No recomendable
0.074 - 4.76 (N°200 - N°4)	Arena	Agregado fino	Material apto para mortero o concreto
4.76 - 19.1 (N°4 - 3/4")	Gravilla	Agregado grueso	Material apto para concreto
19.1 - 50.8 (3/4" - 2")	Grava		Material apto para concreto
50.8 - 152.4 (2" - 6")	Piedra		-
> 152.4 - (6")	Rajón, Piedra bola		Concreto ciclópeo

Fuente: Rivera (2013)

Por su densidad relativa

Ligeros: $Dr < 2.5$. pertenecen a los agregados ligeros, como la arcilla esquistosa y la expandida, la escoria expandida, la Vermiculita, la Perlita, la Piedra Pómez y las Cenizas, se usan con la finalidad de producir concreto aislante, para la fabricación de unidades de mampostería o estructural ligero.

Normales: $2.5 < Dr < 2.75$. son los materiales principales que se utilizan en el concreto de peso normal, están incluidas las arenas, gravas, roca chancada y escoria siderúrgica. Las rocas trituradas de uso más común son el Granito, Basalto, Arenisca, Piedra Caliza y Cuarcita.

Pesados: $Dr > 2.75$. son los agregados pesados, como la Magnetita, la Barita o el Hierro de desecho, estos materiales son utilizados para la producción de concreto pesado, utilizado para blindaje contra la radiación y para contrapesos de concreto. (Quiroz & Salamanca, 2006)

Características

Para el uso de los agregados en la fabricación de concreto, es necesario realizar una variedad de pruebas y estudios que tengan por finalidad identificar si estos logran superar los requisitos mínimos de calidad. Asimismo, en estas pruebas están incluidas la tenacidad, solidez y resistencia a la abrasión.

Como es de conocimiento, la resistencia de las gravas proviene por su dureza, densidad, compacidad y módulo de elasticidad. Las arenas y el árido grueso influyen en la resistencia del concreto como consecuencia de su dureza y de la adherencia con la pasta de cemento. (Fernández M., 2013, p.111)

Forma

La forma externa del árido tiene una gran influencia en algunas propiedades del concreto fresco y endurecido. Dado que las partículas de un agregado se pueden asimilar a cuerpos de tres dimensiones siendo difícil describir la forma, aunque, en una clasificación muy escueta cabe dividir las en: redondeadas o rodadas, que son aquellas que provienen de ríos o playas en las que por rozamiento se eliminan las partes salientes de las mismas; angulosas que son las que presentan ángulos, aristas vivas y superficies más o menos planas generalmente son las que se originan por machaqueo; planas o laminares que son aquellas en las que predominan dos dimensiones sobre la otra y, aciculares que son las que predomina una dimensión sobre las otras dos dando lugar a partículas con forma de agujas. (Fernández, M., 2013, pp.123-124)

Textura superficial

La textura superficial del agregado, junto con su forma, tiene una gran influencia en las resistencias del concreto, repercutiendo más en la resistencia a flexo tracción que en la de compresión, especialmente cuando se quieren obtener concretos de altas resistencias. Este efecto parece ser debido a que cuanto más rugoso es un árido mayor superficie de contacto tiene con la pasta de cemento y, por consiguiente, mayor adherencia presentará con ella. (Fernández, M., 2013, pp.125-126)

Adherencia de la pasta al árido

La adherencia de la pasta de cemento al agregado va a depender de su forma, porosidad, naturaleza y especialmente de su estado superficial. La superficie del agregado debe ser la adecuada, puesto que superficies con presencia de arcilla es nefasta debido a que contribuye a disminuir la resistencia a tracción por falta de adherencia por lo que la eliminación debe hacerse por lavado. La adherencia mecánica que permite la unión a escala macroscópica depende del estado superficial de los agregados. Es mayor cuanto más rugosa es la superficie y así, los agregados machacados proporcionan la mayor adherencia y resistencia a tracción, siendo, por tanto, empleados en pavimentos de aeropuertos y carreteras (Fernández, M., 2013, p.126).

Caracterización de agregados

Análisis granulométrico

Se define como granulometría a la distribución por tamaños de las partículas de agregado. Ello se logra separando el material por procedimiento mecánico empleando tamices de aberturas cuadradas determinadas. En la práctica no existe ningún método que permita llegar a una “granulometría ideal”. Sin embargo, se han desarrollado especificaciones de granulometría las cuales, en promedio, permitirán obtener concretos de propiedades satisfactorias a partir de materiales disponibles en un área determinada.

El sistema usual de expresar la granulometría de un agregado es aquel en el cual las aberturas consecutivas de los tamices son constantemente dobladas. (Rivva, E., 2000)

Módulo de Fineza

Debe tenerse muy en claro que es un criterio que se aplica tanto a la piedra como a la arena, pues es general y sirve para caracterizar cada agregado independientemente a la mezcla de agregados en conjunto. La base experimental que apoya al concepto

de Módulo de fineza es que granulometrías que tengan igual M.F. independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia, lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas. (Fernández, M., 2013)

Peso unitario

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. También se aplica el mismo ensayo, pero sin compactar el agregado para determinar el "peso unitario suelto", sin embargo, este valor tampoco es necesariamente el del material en campo, por lo que se introducen también errores al hacer conversiones de diseños en peso a volumen.

Peso unitario compactado seco: Valor obtenido que se emplea en el diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen.

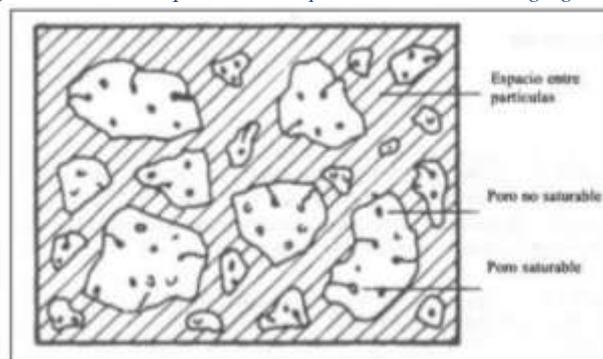
Peso unitario suelto seco: Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa.

Espacio entre partículas: Es el espacio que existe por la falta de compactación o por una mala graduación de agregados.

Poro saturable: Aquel poro superficial del agregado que no es capaz de retener más agua de la que posee.

Poro no saturable: Aquel poro superficial del agregado que aún es capaz de retener más agua de la que posee. (Carbajal, E., 1998, p.74)

Figura 4. Modelo esquemático del peso volumétrico del agregado



Fuente: Gutiérrez, L., 2003

Humedad

Al conocer la humedad que poseen los agregados, especialmente la arena, es muy importante por la gran repercusión que puede tener ésta, en la relación agua/cemento real que se esté empleando en el concreto.

De acuerdo con el contenido de agua de los agregados estos pueden clasificarse en:

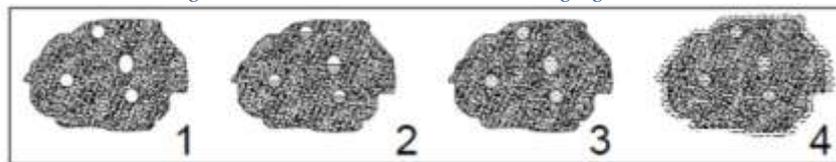
Secos en estufa, a temperatura superior a 100°C, hasta peso constante.

Húmedos o secos al aire, es decir, sin humedad superficial, pero sí interna.

Saturados con superficie seca, es decir, sin presentar agua libre superficial.

Mojados, con agua libre en la superficie.

Figura 5. Estados de saturación de los agregados



Fuente: Quiroz, M., Salamanca, L., 2006

En los dos primeros estados, los agregados pueden absorber más agua y de hecho así ocurre al fabricar el concreto; en el último estado, es decir, cuando los agregados están mojados ceden agua a los demás componentes del concreto. (Fernández, M., 2013, p.117)

Porosidad y Absorción

La porosidad y absorción de los áridos tiene una gran influencia en su adherencia con la pasta de cemento y por tanto, en las resistencias mecánicas del concreto.

En una partícula de agregado, considerada independientemente, podemos definir como “porosidad” a la relación existente entre el volumen de huecos accesibles al agua y el volumen real de dicha partícula.

• Agua

El agua empleada en las mezclas de concreto tiene la finalidad de hidratar el cemento y hacerlo más manejable. Además, es importante verificar que el agua a emplearse no contenga sustancias que afecten desfavorablemente en el fraguado, la resistencia o durabilidad, apariencia del concreto o que puedan modificar su composición y características con respecto a las conocidas en los que se permitieron el empleo de un líquido adecuado para la obtención de resultados satisfactorios. (ACI Perú, 2000, p. 254)

- **Plásticos**

El plástico es un producto artificial que comenzó a utilizarse con mayor abundancia en el decenio de 1950. Se obtiene de algunos derivados del petróleo y es sin duda, uno de los materiales más versátiles puesto que se puede encontrar plástico en casi todos los objetos cotidianos. Existen diversos tipos de plástico, cada una con características propias, y con muchas ventajas, como una baja permeabilidad y una buena resistencia a los productos químicos, al impacto, a la humedad y al fuego.

No obstante, la fabricación, procesamiento y utilización generan desechos y es esencial que éstos se gestionen de forma apropiada para proteger a las personas y al medio ambiente. (Sánchez, 2004)

Características de los plásticos

Se caracterizan por su alta relación entre resistencia y densidad, siendo excelentes aisladores térmicos y eléctricos con una buena resistencia a los ácidos álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que se componen pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. (Hachi y Rodríguez, 2010)

Clasificación de los plásticos

Los plásticos se clasifican en dos categorías, dependiendo de la plasticidad por elevación de la temperatura:

Termoplásticos

Son los plásticos que al calentarse empiezan a fluir como líquido viscoso y al enfriarse se solidifican. Este tipo de plástico componen aproximadamente el 85% de los plásticos consumidos y son reciclables ya que el proceso de enfriamiento y calentamiento se puede realizar varias veces sin perder sus propiedades. Los principales tipos son: Polietileno, polipropileno, poliestireno, cloruro de Polivinilo, nylon, polietileno de Tereftalato

Termoestables

Son los plásticos que no se funden cuando se aplica calor y se solidifican al aplicar aún más. Este tipo de plástico pueden reprocesarse por fusión, pero no pueden ser calentados y remodelados. Estos polímeros son más resistentes, aunque más frágiles, que los termoplásticos. Los principales tipos son: Resina de poliéster, melamina de formaldehído, urea formaldehído, fenol formaldehído (Nakelita)

Plástico PET

Es un material patentado como polímero para fibra por J.R. Whinfield y J.T. Dickinson en 1941, logrando 10 años más tarde la producción comercial de fibra poliéster en un continuo desarrollo y a un alto nivel de calidad y diversificación en sus empleos. En 1976 se emplea la fabricación de envases ligeros, transparentes y resistentes, principalmente para bebidas. Siendo inicialmente botellas gruesas y rígidas hasta la actualidad que son mucho más ligeros. (Hachi y Rodríguez, 2010)

Tereftalato de polietileno (PET)

Es uno de los materiales comúnmente utilizados en la industria embotelladora de bebidas. En los últimos años su porcentaje de uso de refrescos ha pasado de 9% hasta un 30% en la industria que incluye al vidrio, aluminio y cartón. Se caracteriza por su gran ligereza, resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, es 100% reciclable y se identifica con el número uno, o las siglas PET o PETE en inglés, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases fabricados con este material. (Hachi y Rodríguez, 2010)

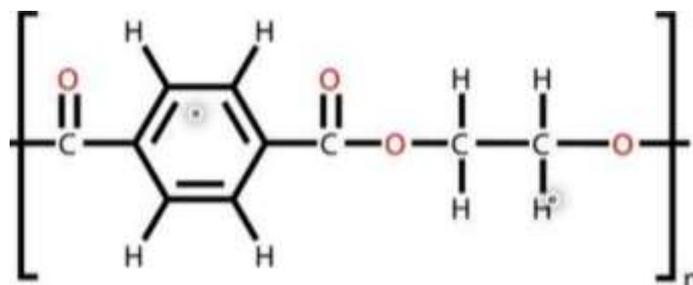
Figura 6. Codificación del tereftalato de polietileno plásticos (PET)



Fuente: Monografías-los plásticos pet

El PET se produce a partir del ácido Tereftálico y etilenglicol y su fórmula química es la siguiente:

Figura 7. Estructura química del tereftalato de polietileno (PET)



Fuente: www.arapack.com

Obtención del PET

El PET se obtiene a partir de dos materias primas derivadas del petróleo: etileno y paraxileno. Los derivados de estos compuestos (etilen glicol y ácido tereftálico) se hacen reaccionar a altas temperaturas y presión con el objetivo de obtener la resina PET en estado amorfo.

La resina se cristaliza y polimeriza para incrementar su peso molecular y su viscosidad resultando una resina que se utiliza para fabricar envases. (Toro, 2004)

Esterificación

Este proceso consiste en la eliminación de agua en el proceso del ácido tereftálico con el etilen glicol formando un monómero (bis-B-hidroxietyl tereftalato), que a través de una poli condensación se obtiene un polímero de cadena larga de 100 unidades repetidas, donde su peso molecular va aumentando conforme la cadena va alargándose proporcionando una mayor resistencia mecánica.

Al obtener una cadena suficientemente larga, el PET se enfría en agua y al momento que se encuentra en un estado semisólido se corta en pellets para obtener un material granulado. (Toro, 2004)

Polimerización

El gránulo que se obtiene de este proceso es brillante y transparente porque es amorfo con un bajo peso molecular por lo que se vuelve apto para la producción de botellas. Pero para darle un mayor acabado es necesario que este pase por el proceso de polimerización. Que consiste en calentar en una atmósfera inerte al material granulado con la finalidad de mejorar las propiedades brindando así una mayor facilidad y eficiencia del secado y moldeado durante la producción y calidad de la botella (Hachi y Rodríguez, 2010)

Cristalización

Es el cambio de estructura de los polímeros semicristalinos a través de un tratamiento térmico a 130 – 160 °C, cuya estructura transparente a la luz, cambia a una estructura cristalina (opaca a la luz) dando a la resina un color blanca lechosa. Con este proceso la densidad del OET pasa de 1.33 g/cm³ del amorfo a 1.4 del cristalino (Hachi y Rodríguez, 2010)

Polimerización en estado sólido Post polimerización

El gránulo cristalizado es sometido a un proceso por inyección o flujo de gas inerte (nitrógeno) a una temperatura superior a los 200 °C.

Con este proceso se logra aumentar el peso molecular de la resina con valores de Índice de viscosidad (0.72 – 0.86) idóneos para fabricar botellas a través de un proceso de inyección- estirado-soplado. (Hachi y Rodríguez, 2010)

Reciclaje de plásticos

El reciclaje de plástico consiste en someter el producto ya utilizado a un nuevo ciclo de tratamiento total, con la finalidad de generar materia prima a partir de desechos, minimizando el volumen y peso de los residuos para resolver el problema global de los mismos frente a la perspectiva del agotamiento de recursos naturales (Hachi y Rodríguez, 2010)

Reciclado Químico. Consiste en la ruptura de los residuos plásticos en fracciones con la finalidad de ser utilizables para su posterior transformación en monómeros u otros productos químicos. (Echeverría, 2017)

Reciclado mecánico

Consiste en la conversión de los desechos plásticos en gránulos o pequeñas partes con la finalidad u objetivo de ser reutilizados en la producción de otros productos o materiales. (Hachi y Rodríguez, 2010)

Para el desarrollo de este tipo de reciclaje, es necesario realizar las siguientes etapas:

Trituración: El plástico es colocado en una trituradora de PET para poder ser fragmentado en pequeñas partes.

Remoción de contaminantes: En esta etapa se quitan o se remueven las etiquetas o papeles que se encuentran impregnadas en las botellas de plástico.

Lavado: El plástico pasa por una etapa de lavado para eliminar la suciedad.

Secado: Se realiza el método de centrifugado, que consiste en retirar el exceso de agua que se encuentra en el plástico.

Aglutinación: Consiste en colocar los fragmentos de plástico en una extrusora para conseguir una masa plástica. Esta etapa también se utiliza para la incorporación de aditivos, tales como cargas, pigmentos y lubricantes.

Extrusión: Consiste en fundir y volver a la masa plástica homogénea. A la salida de la extrusora, el plástico sale como un “espagueti”, se enfría con agua y es picado en un granulador, logrando transformar en pellet (granos de plástico) (Hachi y Rodríguez, 2010)

Alternativas de uso con PET reciclado

De acuerdo a Hachi y Rodríguez, 2010, establece las siguientes alternativas de uso con PET reciclado: Fibras para producción de hilo para telas hasta con 70% de plástico, fibras para escobas, lonas para camiones, libras para alfombras, medias de nailon, tejas con PET reciclado.

Concreto vibro compactado

La vibración consiste en someter impulsos vibratorios a una mezcla de concreto en estado fresco con el fin de minimizar la fricción interna que se produce entre las múltiples superficies de contacto de las partículas de los agregados. Con la acción de estos impulsos, el concreto fluye como un líquido espeso extendiéndose dentro de los moldes, mientras el exceso de aire escapa a la superficie en forma de burbujas. (Vidau & Vidau, 2015)

Los factores más importantes en el concreto vibrado son: granulometría, relación agua/cemento y frecuencia de vibrado. Por las altas resistencias conseguidas en los concreto vibrados mecánicamente, en comparación con los concretos compactados manualmente, este método se utiliza en la elaboración de elementos prefabricados. (Arrieta & Peñaherrera, 2001)

El ACI 309R-96 (1998) recomienda como método de compactación para productos prefabricados una vibración de baja frecuencia y gran amplitud, más presión.

SENCICO (2007), por su parte, recomienda frecuencias de compactación comprendidas entre 1500 y 5000 vibraciones por minuto.

Propiedades del concreto vibrado

- **Resistencia mecánica.** La resistencia del concreto aumenta considerablemente si en el desarrollo de elaboración se aplica una vibración intensa.
- **Desmolde rápido.** En la fabricación de elementos prefabricados de concreto vibrado puede conseguir un desmolde inmediato si el concreto es de granulometría adecuada y se ha amasado con poca agua.

De acuerdo al estudio realizado por (Arrieta & Peñaherrera, 2001), muestran la diferencia entre un concreto compactado manual y un concreto vibrado

Tabla 6. Resistencias de probetas compactadas manualmente

CONCRETO VIBRADO MANUALMENTE	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)
N1	15	177	17560	99
N2	15	177	17000	96
N3	15	177	13700	77

Fuente: Arrieta & Peñaherrera, 2001

Tabla 7. Resistencias de probetas vibradas de forma mecánica

CONCRETO VIBRADO CON UNA MESA VIBRADORA	DIAMETRO (cm)	AREA (cm ²)	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)
V1	15	177	36400	206
V2	15	177	32800	185
V3	15	177	34800	197

Fuente: Arrieta & Peñaherrera, 2001

Proceso de curado

Para no alterar las dimensiones y características de los bloques se puede curar por regado a partir de las 6 horas y durante las 48 horas siguientes, hasta que adquiera una resistencia que permita el manipuleo. Teniendo presente que una condición imprescindible que deben poseer los bloques es su uniformidad, tanto en sus dimensiones, en su altura, densidad, calidad, textura superficial y acabado.

La uniformidad de los bloques de concreto va a depender en gran medida del proceso de fabricación, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- La cuidadosa selección de los agregados.
- El correcto estudio de la dosificación.
- El adecuado diseño del bloque.
- Una perfecta ejecución del mezclado, moldeo y compactación.
- Un adecuado curado y almacenamiento

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influye el reemplazo y el porcentaje de los residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I sobre la compresión, absorción y abrasión, Trujillo, 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia que tiene el reemplazo y el porcentaje de los residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I sobre la compresión, absorción y abrasión de la ciudad de Trujillo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar la mezcla por método ACI 211 y optimizar la dosificación para un adoquín reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno.

- Analizar el comportamiento de la resistencia a la compresión reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I.
- Evaluar el porcentaje de absorción reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I.
- Evaluar las dimensiones del ancho de huella a través del desgaste a la abrasión reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I.
- Contrastar a partir del SPSS y el ANOVA la influencia de las variables independientes sobre las dependientes.
- Realizar un contraste de costos entre los adoquines tradicionales y los adoquines con residuos de tereftalato de polietileno.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El reemplazo y porcentaje de residuos de tereftalato de polietileno influye significativamente en adoquines tipo I sobre la compresión, absorción y abrasión de la ciudad de Trujillo, 2020.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El aumento de residuos de tereftalato de polietileno disminuirá la resistencia a la compresión en adoquines tipo I para construcciones de obras viales.
- El incremento de residuos de tereftalato de polietileno aumentará la absorción en adoquines tipo I para construcciones de obras viales
- A mayor cantidad de residuos de tereftalato de polietileno, la resistencia al desgaste a la abrasión disminuye en adoquines tipo I para construcciones de obras viales.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Según el propósito

Investigación aplicada (práctica o empírica): porque basándonos en la investigación básica realizada, se aplicó los conocimientos alcanzados y con los resultados obtenidos, se pudo comparar y verificar la investigación.

2.1.2. Según el diseño

Investigación experimental: la variable dependiente se manipuló de manera intencional para poder analizar directamente los cambios que se produjeron en la variable inicial. Esta investigación, se resume en la elaboración de adoquines tipo I con distintos porcentajes de residuos de plástico (PET) el cual permitirá mantener e incrementar la resistencia a compresión, así como también conservar las propiedades de la absorción y el desgaste por abrasión.

Asimismo, la investigación es bifactorial debido a poseer dos variables independientes, en la cual se han realizado cuatro estudios con diversos porcentajes de reemplazo y adición de residuos de pet ensayados en tres pruebas.

Tabla 8. *Matriz de diseño experimental global propia*

		FACTOR B: Porcentajes de residuos PET					
		a1	a2	a3	a4	a5	a6
FACTOR A: Tipos de reemplazo de residuos PET	b1	b1a1	b1a2	b1a3	b1a4	b1a5	b1a6
	b2	b2a1	b2a2	b2a3	b2a4	b2a5	b2a6
	b3	b3a1	b3a2	b3a3	b3a4	b3a5	b3a6
	b4	b4a1	b4a2	b4a3	b4a4	b4a5	b4a6

Donde:

Variables independientes:

Factor A: Tipos de reemplazo de residuos PET

- a1 = Reemplazo de agregado grueso por PET
- a2 = Reemplazo de agregado fino por PET
- a3 = Reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino por PET
- a4 = Adición de PET a la mezcla de agregado grueso y agregado fino

Factor B: Porcentajes de residuos PET

- b1 = 2.5%, b2 = 5%, b3 = 7.5%, b4 = 10%, b5 = 12.5%

Variables dependientes:

Factor C: Compresión, Kg/cm²

Factor D: Absorción, %

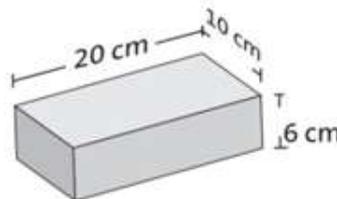
Factor E: Abrasión, mm

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

Todos los adoquines tipo I (20 cm x 10 cm x 6 cm) en la ciudad de Trujillo.

Figura 8. Dimensiones de un adoquín Tipo I



Fuente: Hormigones – Prefabricados

2.2.2. Muestra

La presente investigación usó la técnica de muestreo Probabilístico porque todos los adoquines adicionados con residuos de Tereftalato de polietileno elaborados tuvieron la misma posibilidad de ser elegidas.

Para el cálculo de la muestra se aplicó la siguiente fórmula de una variable cuantitativa: [Ecuación 1. Muestra Probabilística de una variable cuantitativa](#)

$$n_0 = \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

n_0 = Tamaño de muestra

Z = Es el valor de la distribución normal estandarizada para un nivel de confianza fijado por el investigador, Z=95% confiabilidad de 1.96

S = Valor de la desviación estándar estimado, de la variable fundamental del estudio o de interés para el investigador, obtenidas por estudios anteriores, muestra piloto, criterio de experto o por la distribución de la población

E = % de error de estimación del parámetro, fijada por el investigador

Tabla 9. Valores de la distribución normal o estandarizada

Valores de la distribución normal o estandarizada			
Error (Tipo I): Puede ser unilateral o bilateral			
Nivel de confianza (1- α)	Error (α)	Valor Z	
		Bilateral	Unilateral
90%	0.1	1.64	1.28
95%	0.05	1.96	1.64
99%	0.01	2.57	2.32

Fuente: Mego y Meza, 2018

Tabla 10. Antecedentes de pruebas de concreto realizadas

Espécimen ensayado	Resistencia (Kg/cm ²)	Desviación estándar (S)	Promedio (Kg/cm ²)
1	390.14		
2	360.63		
3	357.32		
4	354.57		
5	357.61		
6	310.55	19.25	355.96
7	350.70		
8	358.01		
9	357.78		
10	362.32		

Fuente: Mego y Meza, 2018

Calculando la formula con los siguientes datos, obtenemos:

$$n_0 = \frac{1.96^2 \times 19.25^2}{17.80^2} = 4.5 = 5 \text{ especímenes}$$

Según la ACI 318-08, solo es necesario 2 probetas de concreto para pruebas de resistencia. Sin embargo, se realizaron 7 probetas en cada unidad de estudio y en los diversos ensayos con la finalidad de mejorar la calidad de trabajo. Estos informes se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 11. *Muestra de unidad de estudio 1, reemplazo de agregado grueso x PET*

Unidad de estudio	% de Tereftalato de polietileno	Dimensiones			N° de adoquines
		Compresión	Absorción	Desgaste a la abrasión	
Adoquín	0	7	7	7	21
	2.50	7	7	7	21
	5	7	7	7	21
	7.50	7	7	7	21
	10	7	7	7	21
	12.50	7	7	7	21
Total de adoquines					126

Tabla 12. *Muestra de unidad de estudio 2, reemplazo de agregado fino x PET*

Unidad de estudio	% de Tereftalato de polietileno	Dimensiones			N° de adoquines
		Compresión	Absorción	Desgaste a la abrasión	
Adoquín	2.50	7	7	7	21
	5	7	7	7	21
	7.50	7	7	7	21
	10	7	7	7	21
	12.50	7	7	7	21
Total de adoquines					105

Tabla 13. *Muestra de unidad de estudio 3, reemplazo de A. grueso y A. fino x PET*

Unidad de estudio	% de Tereftalato de polietileno	Dimensiones			N° de adoquines
		Compresión	Absorción	Desgaste a la abrasión	
Adoquín	2.50	7	7	7	21
	5	7	7	7	21
	7.50	7	7	7	21
	10	7	7	7	21
	12.50	7	7	7	21
Total de adoquines					105

Tabla 14. *Muestra de unidad de estudio 4, adición de PET a la mezcla de diseño patrón*

Unidad de estudio	% de Tereftalato de polietileno	Dimensiones			N° de adoquines
		Compresión	Absorción	Desgaste a la abrasión	
Adoquín	2.50	7	7	7	21
	5	7	7	7	21
	7.50	7	7	7	21
	10	7	7	7	21
	12.50	7	7	7	21
Total de adoquines					105

N° de muestras para ensayos: 126 + 105 + 105 + 105 = 441

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.3.1. Técnicas de recolección de datos

La presente investigación utilizó la técnica de la observación, porque permitió obtener un registro visual de una situación real de ensayos de la resistencia a la compresión, la absorción y desgaste a la abrasión que tuvo un adoquín, así mismo permitió registrar datos cuantitativos y cualitativos.

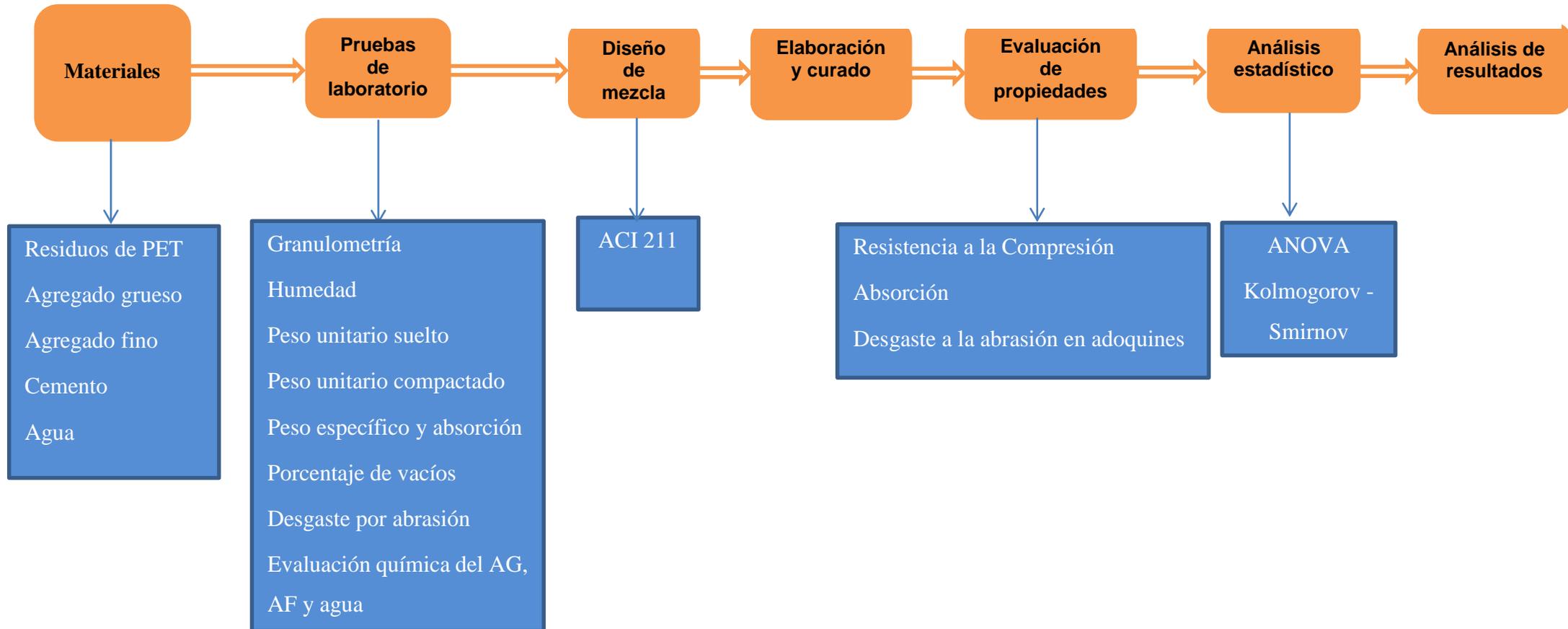
La clase de observación fue según la forma de registrar la conducta, a través del tipo de observación directa e indirecta porque permitió que el investigador esté en contacto personalmente con el hecho que se quiso investigar y a la vez porque se requirió de filmadoras, fotografías para poder constatar los hechos.

2.3.2. Instrumento de recolección de datos

El instrumento empleado para la técnica de la observación fue la guía de observación como las fichas técnicas, normas porque permitió visualizar y detallar el comportamiento del fenómeno en los ensayos y la lista de cotejo que se encuentran en las tablas de la metodología porque permitió registrar datos cuantitativos.

2.4. Procedimiento

Tabla 15. Diagrama de flujo para la recolección de información



A. Materiales

A.1. Residuos de Tereftalato de Polietileno (PET)

Los residuos de PET se obtuvieron de la acumulación de botellas de plástico PET de diversos volúmenes de rangos de medio litro a tres litros de los distintos centros de acopio de botellas de la ciudad de Trujillo. El material recogido, fue lavado y secado de forma manual. Del material seleccionado se procedió a reducir a un tamaño de partículas menor a 0.5 cm de ancho en forma de pellets a través de una trituradora de plástico. Este proceso se realizó en la Universidad Nacional de Trujillo.

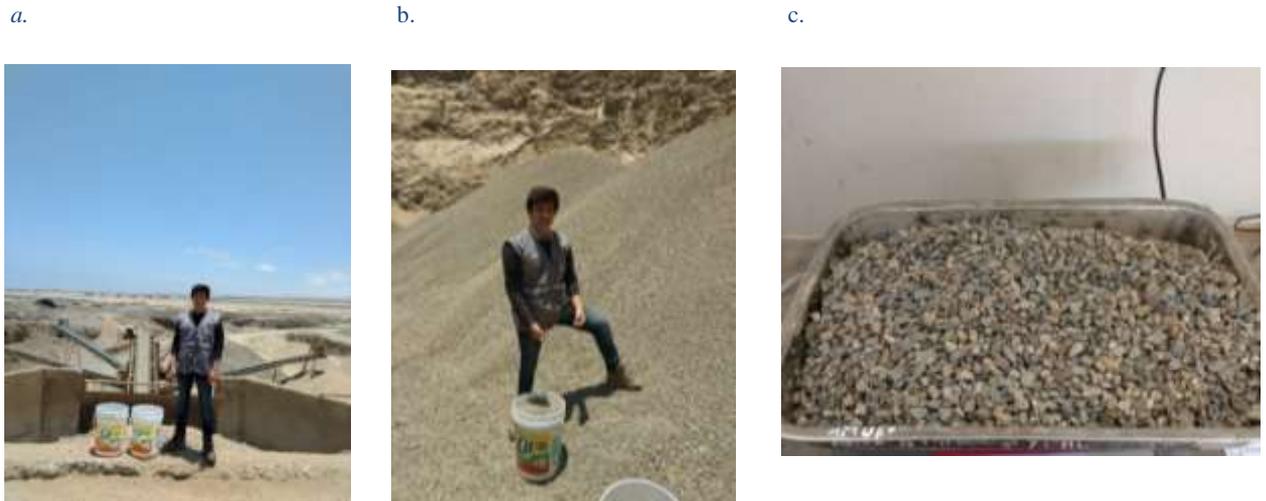
Figura 9. Obtención de residuos de plástico. a. Comparación en volumen de una botella de plástico, b. Máquina trituradora de plástico PET, c. Triturado de botellas de plástico



A.2. Agregado grueso y fino

El agregado se obtuvo de la cantera el Milagro que se encuentra a 14.6 Km de la Universidad Nacional de Trujillo debido a que es una de las principales que garantiza una buena calidad del material. Se adquirió un cubo de agregado fino (arena gruesa) y un cubo de agregado grueso de 3/8". La arena presentaba un exceso de finos, por lo que se tuvo que optimizar a partir de la eliminación de los finos. Para el manejo y/o almacenamiento de los agregados, se colocaron en baldes de plásticos en el laboratorio de concreto y reciclaje de la Universidad Nacional de Trujillo, evitando segregaciones o contaminaciones con sustancias u otros materiales perjudiciales, a la vez se mantuvo una condición de humedad uniforme antes de ser utilizados en la mezcla cumpliendo con los requisitos de la norma técnica NTP 400.010.

Figura 10. Toma de muestra de la cantera el Milagro, a. In situ. b. Toma de muestra del agregado grueso, c. Evaluación del agregado



A.3. Cemento

El cemento a utilizar para la elaboración de diseño de mezcla fue cemento Inka Tipo HS, el cual es un cemento anti salitre que se emplea en obras que requieren determinadas propiedades especiales. Para el almacenamiento, se consideró distribuir el cemento en bolsas de 5 kg, guardándose en sitios secos y aislados del suelo cumpliendo con los requisitos de la norma técnica NTP 334.009.

A.4. Agua

El agua que se empleó para el diseño de mezcla es de la zona de Trujillo, de las instalaciones de la ciudad universitaria UNT debiendo de cumplir con los requisitos de calidad del agua para el concreto, garantizando que el elemento sea potable, y por ende, estar libre de cualquier material perjudicial tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc. Cumpliendo con lo establecido en la norma NTP 339.088.

B. Pruebas de Laboratorios

Los ensayos de caracterización de los materiales se realizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo.

Caracterización de los agregados

Ensayo granulométrico del Agregado Grueso y Fino (NTP 400.012/ ASTM 136)

Para el desarrollo de este ensayo, se realizó la distribución por tamaños de las partículas del agregado. Para esto, se emplearon tamices normalizados y numerados, colocados en orden decreciente de acuerdo a lo estipulado en la NTP 400.012

Tabla 16. *Tamices y aberturas para agregado grueso y agregado fino*

Tamiz grueso	Abertura (mm)	Tamiz fino	Abertura (mm)
1"	25.000	3/8"	9.500
3/4"	12.500	N°4	4.750
1/2"	19.000	N°8	2.360
3/8"	9.500	N°16	1.180
N°4	4.750	N°30	0.600
N°8	2.360	N°50	0.300
N°16	1.180	N°100	0.150
		N°200	0.075

Materiales:

Agregado grueso: según la norma técnica peruana (NTP) la cantidad mínima de agregado grueso es de acuerdo a la siguiente tabla

Tabla 17. *Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global*

Tamaño Máximo Nominal	Cantidad de la Muestra de ensayo, Mínimo Kg (lb)
Aberturas Cuadradas mm (pulg)	
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: Norma Técnica Peruana (NTP) 400.012

Agregado fino: según la norma técnica peruana (NTP) la cantidad mínima es 500 g.

Ensayo granulométrico del Agregado Grueso (NTP 400.012/ ASTM 136)

Para este ensayo primero se obtuvo una muestra superior a 1 Kg, el cual se repitió para 3 ensayos granulométricos. Se colocó la muestra extraída en el horno a temperatura de $100^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ con un peso aproximado de lo requerido para el ensayo en un tiempo de 16 horas aproximadamente. Luego se extrajo la muestra y se determinó el peso seco con ayuda de una balanza electrónica. Se pesaron los tamices y se armaron en orden decreciente colocando en la base el fondo y en la parte superior la tapa correspondiente como lo indica la NTP 400.012, para luego introducir el agregado a ensayar sobre el tamiz

superior. Se agitaron los tamices manualmente por un período de 5 minutos. Se pesó cada tamiz con la muestra retenida sobre una balanza aproximando al 0,1 %. Una vez pesado, se limpiaron los tamices con ayuda de una brocha y una escobilla. Para finalmente realizar los cálculos adecuados.

Tabla 18. *Formato de registro del análisis granulométrico del agregado grueso*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	%Peso Retenido	% Peso Retenido Acumulado	% Pasa
1	25.40				
3/4	19.05				
1/2	12.70				
3/8	9.500				
N° 4	4.75				
N° 8	2.36				
N° 16	1.18				
N° 30	0.6				
N° 50	0.3				
N° 100	0.15				
N° 200	0.075				
FONDO	0				

Ensayo granulométrico del Agregado Fino (NTP 400.012/ ASTM 136)

Se obtuvo una muestra de 1000 g, el cual se repetirá para 3 ensayos granulométricos, se colocó la muestra extraída en el horno a temperatura de $100^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ con un peso aproximado de lo requerido para el ensayo por un tiempo de 16 horas aproximadamente. Luego se extrajo la muestra y se determinó el peso seco con ayuda de una balanza electrónica. Se armó los tamices en orden decreciente colocando en la base el fondo y en la parte superior la tapa correspondiente como lo indica la NTP 400.012, para luego introducir nuestros agregados a ensayar sobre el tamiz superior. Se agitaron los tamices manualmente por un período suficiente de 5 minutos. Se pesó cada tamiz con la muestra retenida sobre una balanza aproximando al 0,1 %. Una vez pesado cada peso retenido de las mallas se limpiaron los contenedores con ayuda de una brocha y una escobilla. Para finalmente realizar los cálculos adecuados. A partir de los cálculos extraídos se dibujó la Curva granulométrica y se calculó el Módulo de Finura (M_F)

Ecuación 2. Módulo de finura

$$M_F = \frac{\sum \% \text{Peso Retenido Acumulado desde malla N}^{\circ} 4 \text{ hasta N}^{\circ} 100}{100}$$

Tabla 19. *Formato de registro del análisis granulométrico del agregado fino*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	%Peso Retenido	% Peso Retenido Acumulado	% Pasa
1	25				
3/4	19				
1/2	12.5				
3/8	9.5				
N° 4	4.75				
N° 8	2.36				
N° 16	1.18				
N° 30	0.6				
N° 50	0.3				
N° 100	0.15				
N° 200	0.075				
FONDO	0				

Asimismo, el agregado fino debe cumplir con los requisitos impuestos por la norma ASTM C33 y ASTM C136.

Tabla 20. *Rango para módulo de finura del agregado fino (ASTM C136)*

Agregado fino	Módulo de finura
Arena fina	0.5 - 1.5
Arena media	1.5 - 2.3
Arena gruesa	2.3 - 3.1

Asimismo, para el cálculo del % Retenido, % Retenido acumulado y % Que pasa, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{P. \text{retenido}}{P. \text{sumatoria}} \times 100$$

$$\% \text{ Ret. acumulado} = (\sum \% \text{ Ret.}) + \text{anterior}$$

$$\% \text{ Que pasa} = (100 - \% \text{ Ret. acumulado})$$

Contenido de humedad del agregado grueso y fino NTP 339.185

El ensayo del contenido de humedad sirvió para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino y grueso. Para este ensayo, primero se determinó la masa de tres recipientes limpios, luego se pesó el recipiente con el

material. Se colocaron los recipientes con la muestra húmeda en el horno y se dejó secar el material durante 24 horas. Manteniendo una temperatura en el horno de 110 ± 5 °C. Luego que el material se haya secado a peso constante, se removieron los recipientes del horno para posteriormente pesarlas y realizar el cálculo del contenido de humedad de la muestra, este procedimiento se realizó en 3 réplicas.

Ecuación 3. Contenido de humedad

$$w\% = \frac{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

Tabla 21. Formato de registro del contenido de humedad del agregado grueso y fino

Contenido de humedad	Agregado		
	M 01	M 02	M 03
Peso tara (g)			
Peso tara + muestra natural (g)			
Peso tara + muestra seca (g)			
Peso húmedo, Ph (g)			
Peso seco, Ps (g)			
W%			
W% prom.			

La norma ASTM C566 sostiene que el contenido de humedad de los agregados no debe ser mayor que el de absorción, teniendo en cuenta que la humedad del agregado grueso debe oscilar entre 0.2 y 3.0%

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y fino NTP 400.017

El peso unitario es el peso de la unidad de volumen de material expuestos en condiciones de material suelto y de compactación que se efectúa en el ensayo expresada en kg/m^3 .

Peso unitario suelto

Se toma el peso del molde vacío, se vierte agua en el molde hasta coparlo y se toma lectura del peso del agua más el molde para luego tomar la temperatura del agua en ese momento, obteniendo su densidad y de esta manera hallar el volumen m^3 del molde. Para el ensayo de peso unitario suelto, primero se llena el molde a una altura no mayor de 5 cm de tal forma que no se compacte el material, esto se realiza hasta llenarlo y enrazar la superficie superior del molde, y tomar lectura del peso en una

balanza de 30 kg. Este método se realiza tanto para el agregado fino como el agregado grueso, con 3 réplicas por cada agregado

$$\text{Volumen del molde} = \frac{(\text{Peso del molde} + \text{agua}) - \text{Peso del molde}}{\text{Densidad del agua (T}^\circ\text{C)}}$$

Obteniendo el volumen del molde, se inicia el cálculo del peso unitario suelto del agregado grueso y agregado fino

Ecuación 4. Peso unitario suelto

$$PUSS = \frac{Gs - T}{V}$$

Dónde:

Gs: Peso del agregado suelto + peso del recipiente. (kg)

T: Peso del recipiente. (kg)

V: Volumen del recipiente. (m³)

PUSS: Peso unitario suelto. (kg/m³)

Peso unitario compactado

Se toma el peso del molde vacío, se vierte agua en el molde hasta coparlo y se toma lectura del peso del agua más el molde para luego tomar la temperatura del agua en ese momento, obteniendo su densidad y de esta manera hallamos el volumen m³ del molde. Para el ensayo de peso unitario compactado, se inicia vertiendo la muestra dentro del molde en 3 capas iguales, donde cada capa se chuseó 25 veces de forma circular en toda el área del molde con una varilla de 5/8" y con un martillo de goma de 500g se golpea el molde 12 veces de forma circular, luego se enraza la superficie del molde para llevarlo a pesar en una balanza analítica de 30kg.

Ecuación 5. Peso unitario compactado

$$PUCS = \frac{Gc - T}{V}$$

Dónde:

Gc: Peso unitario del agregado compactado + peso del recipiente. (kg)

T: Peso del recipiente. (kg)

V: Volumen del recipiente. (m³)

PUCS: Peso unitario compactado. (kg/m³)

Tabla 22. Formato de registro del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y agregado fino

	Agregado		
	M 01	M 02	M 03
Volumen recipiente m ³ (V)			
Peso de recipiente Kg (T)			
Peso de recipiente Kg (Ge)			
PUCS y PUSS			
PUCS y PUSS prom.			

Para el ensayo de peso unitario suelto seco (PUSS) se recomienda que los valores se encuentren dentro de los rangos de 1500-1800 kg/m³ para el agregado fino y 1400-1600 kg/m³ para el agregado grueso. Asimismo, para el peso unitario compactado seco (PUCS) se recomienda valores de 1600-1900 kg/m³ para el agregado fino y 1500-1700 kg/m³ para el agregado grueso respectivamente. Polanco (2012).

Figura 11. Peso unitario suelto y compactado de los agregados. a. Análisis de estudio del agregado grueso, b. Análisis de estudio del agregado fino



Peso específico y absorción del Agregado Grueso y fino NTP 400.022

Esta Norma Técnica Peruana establece un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso y fino.

Peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.022/ASTM C128)

La cantidad de muestra a ensayar se determinó de acuerdo a la cantidad mínima de la muestra de agregado grueso (NTP 400.021)

Tabla 23. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global NTP 400.021

Tamaño máximo nominal mm (pulg)	Peso mínimo de la muestra de ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menor	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	6 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Se sumergió en agua 2000 g de agregado grueso en un recipiente por un tiempo de 24 horas. Al día siguiente se secó la muestra superficialmente con una franela y se pesó en una balanza obteniendo el peso saturado (B). Luego se depositó la muestra en la canastilla metálica la que está sujeta a una balanza o también conocido como balanza Arquímedes, tomando lectura del peso suspendido (C). Para finalizar se recogió la muestra de la canastilla metálica y se depositó en una bandeja, el cual fue llevada y dejada en un horno a una temperatura de $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas para así obtener el peso seco (A). Los cálculos se determinarán con las fórmulas siguientes:

Peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{B - C}$$

Peso específico de masa saturado con superficie seca (PeSSS)

$$PeSSS = \frac{B}{B - C}$$

Peso específico aparente (Pea)

$$Pea = \frac{A}{A - C}$$

Absorción (Ab)

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

Dónde:

- A: Peso en el aire de la muestra seca. (g)
 B: Peso en el aire de la muestra saturada. (g)
 C: Peso en el agua de la muestra. (g)

 Tabla 24. *Formato de registro del peso específico del agregado grueso*

Peso específico	Und	M 01	M 02	M 03
Peso Saturado (B)				
Peso suspendido (C)				
Peso Seco (A)				
Peso específico seco (Pem)				<u>PROMEDIO</u>
Peso específico SSS				
Peso específico aparente				
Absorción (A%)				

Peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022/ASTM C128)

Se sumergió en un recipiente de agua 2000 g de agregado fino por un periodo de 24h. Pasado el tiempo, se vertió una fracción de la muestra sobre una estufa, donde se calienta de forma constante hasta obtener un material superficialmente seco. Luego mediante el uso de un cono de diámetro inferior de 90 mm y diámetro superior de 40 mm se llena en 3 capas con la ayuda de un pisón de un peso de 340 g. y con un diámetro de 25 mm, se apisona de forma circular en toda su área y cada capa se compactó con 25 golpes. Después se limpió el excedente a su alrededor, para luego retirar el cono verificando si 1/3 del material conformado se ha desmoronado, si se logra el objetivo, entonces el estudio concluye que el material ha llegado al estado de superficialmente seco. En caso esto no suceda se realiza nuevamente el ensayo. Luego del trabajo mencionado se procedió a pesar la fiola o picnómetro (M), se llenó la muestra a la fiola y se pesa, obteniendo el peso de fiola + muestra SSS (J), luego se debe restar la J – M para obtener el material que se ingresó en la fiola (D); se llenó la fiola con agua hasta la marcación de 500 ml y se pesó (B), se botó el agua y se llena con la muestra del ensayo del cono y se toma el peso del mismo, seguidamente se lleva la fiola con la muestra más agua a la cámara de vacíos por 15 minutos y así poder eliminar las burbujas. Se llenó con agua hasta el tope de la fiola con la muestra durante 24 horas y se pesó (C) Finalmente todo el material se depositó en una bandeja eliminando la mayor parte del agua para llevarlo a la estufa por 24h a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C. Para así obtener el peso de la muestra secada en el horno (A). Finalmente se procede a calcular los siguientes pesos:

$$\text{Peso específico seco} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{D - A}{A} \times 100$$

Donde:

A: Peso de la muestra secada al horno (g).

B: Peso de la fiola + agua (g).

C: Peso de la fiola + peso muestra SSS + agua (g).

D: Peso de la muestra Saturada Superficialmente Seca (g).

M: Peso de fiola

J: Peso de fiola + muestra SSS

Tabla 25. Formato de registro del peso específico del agregado fino

Peso específico	Und	M 01	M 02	M 03
Peso de fiola (M)				
Peso de fiola + agua (B)				
Peso de fiola + muestra SSS (J)				
Peso de fiola + muestra SSS + agua (C)				
Peso muestra seca (A)				PROMEDIO
Peso específico seco (Pem)				
Peso específico SSS (Pem)				
Peso específico aparente (Pem)				
Absorción (A%)				

Figura 12. Ensayo de peso específico del agregado fino. a. Arena en estado superficialmente seco, b. Peso de fiola + muestra superficialmente seco, c. Peso de fiola + muestra + agua

a.

b.

c.



Porcentaje de vacíos del agregado grueso y fino (NTP 400.017/ASTM C29)

A partir del Peso Unitario Compactado Seco (PUCS) y el peso específico de los agregados, los vacíos en estos se pueden determinar mediante la siguiente relación:

$$\% \text{ Vacíos} = 1 - \frac{PUCS}{P. e. s.} \times 100$$

Donde:

P.e.s. = Peso específico seco del agregado (kg/m³).

PUCS = Peso unitario compactado seco del agregado (kg/m³).

Quiroz y Salamanca (2006) sustentaron que el contenido de vacíos de los agregados típicos del concreto variará entre el 30 al 50%.

Tabla 26. Formato de registro del porcentaje de vacíos del agregado grueso y fino

Porcentaje de vacíos	Und	M 01	M 02	M 03
Peso unitario compactado seco (PUCS)	kg/m ³			
Peso específico seco (Pem)	kg/m ³			
Vacíos	%			
Promedio	%	_____		

Desgaste por abrasión del agregado grueso (NTP 400.019/ASTM C131)

De acuerdo a la granulometría obtenida y al tamaño máximo, se consultó la tabla del peso de agregado y número de esferas (ASTM C131) para ver la graduación del material y elegir el número de esferas (carga abrasiva) y el peso de la muestra.

Se colocó la muestra a probar y la cantidad de esferas (carga abrasiva) en la máquina de los ángeles. Se accionó la máquina para que gire a 500 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. Después del número prescrito de revoluciones, se descargó el material de la máquina y se retiraron las esferas. Luego se realizó una separación preliminar del material, tamizándolo por la malla N°4. Considerando que el material que pase la malla N°4 se tamice por la malla N°12 y luego mezclarlo lo que se retiene en ambos. Asimismo, el material que quedó retenido en la malla N°12, se lavó para quitarle los finos adheridos a las partículas. Una vez lavado el material, se colocó en el horno durante 24 horas hasta secarse a peso constante a una temperatura de 105 °C a 110°C (221°F a 230°F) y se pesa con una aproximación de 1g. Luego se expresó la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra de prueba como un porcentaje del peso original dando este valor como el porcentaje de pérdida por abrasión. El desgaste por abrasión es obtenido a través de la siguiente fórmula.

$$\text{Desgaste por abrasión (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Tabla 27. *Peso de agregado y número de esferas para agregado grueso hasta de 1 1/2"*

Método		A	B	C	D
Diámetro					
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz	Cantidad de material a emplear (g)			
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N°4			2500 ± 10	
N°4	N°8				5000 ± 10
Peso Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
N° de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación (minutos)		15	15	15	15

Tabla 28. Formato de registro del desgaste a la abrasión del agregado grueso

Desgaste a la abrasión	Und	M 01	M 02	M 03
Peso molde	g			
Peso inicial (muestra) + peso molde	g			
Peso inicial (muestra)	g			
Peso final (muestra seca) + peso molde	g			
Peso final (muestra seca)	g			
Desgaste por abrasión	%			
Promedio	%			

Según la NTP 400.019 el porcentaje máximo de pérdida en peso del agregado grueso sujeto a la prueba de los Ángeles, se limita al 50% para grava, grava triturada o roca triturada.

Caracterización química

Evaluación química del agregado grueso y fino (NTP 400.042)

Con este ensayo se verificó si los agregados cumplen químicamente con los requerimientos mínimos para ser usados según la norma. Para ello se usaron vasos de precipitación con capacidad de 250 ml, en una relación de 2:1 (agua destilada: material), tanto para el agregado grueso y agregado fino, esta prueba se realizó 3 veces para cada material. Inicialmente se procedió a sellar con plástico la superficie del vaso de precipitación, dejando reposar el material por un tiempo mínimo de 3 días (72 h). Luego se llevó al electrodo para tomar lectura del ph, conductividad y sales. La conductividad eléctrica comúnmente se mide en Siemens/cm (S/cm), con una magnitud de 10^{-6} , es decir microSiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$), o en 10^{-3} , es decir, miliSiemens (mS/cm), equivalente a dS/m. El contenido salino de una solución se conoció midiendo la conductividad eléctrica de la solución, mediante la siguiente fórmula:

$$ST = 640 \times CE$$

Donde:

ST: Salinidad (mg/l).

CE: Conductividad Eléctrica (dS/m)

Tabla 29. Clasificación de los suelos según su pH

Clasificación de los suelos según su Ph	
Muy ácido	pH < 5.5
Ácido	5.6 < pH < 6.5
Neutro	6.6 < pH < 7.5
Básico o ligeramente alcalino	7.6 < pH < 8.5
Muy alcalino	pH > 8.6

Fuente: Ibáñez, J., 2018

Tabla 30. Clasificación de los suelos en base a su conductividad eléctrica

CE (dS/m)	Condiciones de salinidad
< 1	Suelo libre de sales
1 - 2	Suelo muy bajo en sales
2 - 4	Suelo moderadamente salino
4 - 8	Suelo salino
8 - 16	Suelo altamente salino
> 16	Suelo extremadamente salino

Fuente: Castellanos, R., 2000

Tabla 31. Formato de registro de la evaluación química del agregado grueso y fino

Descripción	Und	M1	M2	M3
pH	-			
Promedio	-			
Conductividad	dS/m			
Promedio	dS/m			
Salinidad	g/l			
Promedio	g/l			

Se considera que los valores por debajo 6.5 son ácidos, valores superiores a 6.5 son alcalinos y/o básicos, mientras que los que rondan 7.0 son denominados neutrales.

Figura 13. Evaluación química de los agregados. a. Preparación de muestras para análisis, b. Análisis de pH y conductividad del agregado grueso.

a.

b.



Evaluación química del agua (SUNASS)

El agua de diseño tiene que cumplir los límites mostrados en la tabla 32 y tabla 33, teniendo en cuenta que para la conductividad y pH la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), indica que el agua potable debe tener una conductividad a 25°C menor a 1.500 dS/m y un pH entre 6.5 y 8.5. Para este ensayo se colocó 3 vasos de precipitación con 150 ml de agua destilada y otros 3 con 150 ml de agua potable. Luego se procedió a sellar la superficie del vaso de precipitación con plástico, dejando el líquido en reposo por un tiempo mínimo de 3 días (72 h). Finalmente se llevaron los recipientes al multiparámetro para tomar lectura de la conductividad, sales y pH.

Tabla 32. Clasificación del agua según su pH

Clasificación	Nivel del pH
Fuertemente ácida	< 3.5
Ácida	3.5 < x < 5.5
Débilmente ácida	5.5 < x < 6.8
Neutra	6.8 < x < 7.2
Débilmente básica	7.2 < x < 8.5
Básica	> 8.5

Fuente: Ramírez, C., Rodríguez, A., 2009

Tabla 33. Clasificación del agua según su salinidad

Clasificación	Salinidad (g/l)
---------------	-----------------

Dulce o fresca	< 1
Salobre	$1 < x < 25$
Salada o de mar	$25 < x < 50$
Salmuera	$50 < x < 150$
Salmuera dura o fuerte	$x > 150$

Fuente: Ramírez, C., Rodríguez, A., 2009

Tabla 34. Formato de registro de la evaluación química del agua

Descripción	Und	M1	M2	M3
pH	-			
Promedio	-			
Conductividad	dS/m			
Promedio	dS/m			
Salinidad	g/l			
Promedio	g/l			

C. Diseño de mezcla (ACI 211)

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana (NTP 399.611), los adoquines tipo I (Peatonal), deben tener una resistencia a la compresión mínima de 320 Kg/cm² por lo cual la elaboración del diseño de mezcla se diseñó con esa resistencia manteniendo los parámetros del ACI 211(American Concrete Institute).

- Se determinó la resistencia a la compresión requerida

Tabla 35. Resistencia a la compresión requerida

Resistencia a la compresión $f'c$	Resistencia a la compresión requerida ($f'cr$)
Menor a 210 Kg f/cm ²	$f'c + 70$
210 Kg f/cm ² - 350 Kg f/cm ²	$f'c + 84$
Mayor a 350 Kg f/cm ²	$f'c + 99$

Fuente: ACI 211, 2016

- Se seleccionó el asentamiento de acuerdo a los valores que brinda el ACI 211.

Tabla 36. Asentamiento según el tipo de estructuras

Tipo de estructuras	Slump Máx.	Slump Mín.
Zapatillas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	1"

Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: ACI 211, 2016

- De acuerdo a la granulometría realizada al agregado grueso, se obtuvo el Tamaño máximo nominal (TMN)

$$\text{TMN} = 3/8''$$

- Se selecciona un asentamiento máximo de 2'' ya que el proyecto está enfocado en la construcción de un pavimento articulado.

$$\text{Slump} = 2''$$

- Se seleccionó el contenido de agua de acuerdo al volumen de agua por m³ (Tabla 37) y al contenido de aire atrapado (Tabla 38)

Tabla 37. Volumen de agua por m³. Agua en litros/m³ para TMN de agregado grueso y consistencia indicada

Asentamiento (1" = 25mm)	Tamaño Máximo del Agregado Grueso							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	168	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: ACI 211, 2016

$$\text{Agua} = 207 \text{ l/m}^3$$

Tabla 38. Contenido de aire a partir del TMN del agregado grueso

TMN Agregado Grueso	Aire Atrapado %	
3/8''	9.5 mm	3
1/2''	12.5 mm	2.5
3/4''	19.0 mm	2
1''	25.0 mm	1.5
1 1/2''	37.5 mm	1
2''	50.0 mm	0.5
3''	75.0 mm	0.3
6''	150.0 mm	0.2

Fuente: ACI 211, 2016

$$\text{Aire atrapado} = 3 \%$$

- Relación agua/cemento**

Esta relación se obtiene seleccionando la relación agua/cemento por resistencia a la compresión. Si la resistencia no se encuentra se procede a interpolar.

Tabla 39. Relación Agua/cemento vs $f'c$.

$f'c$ a 28 días Kg/cm ²	Relación Agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	-
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: ACI 211, 2016

Resistencia requerida $f'cr = 404$ Kg/cm²

$r a/c = 0.42$

- Se calculó la cantidad de cemento para un m³ mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de cemento (Kg)} = \frac{\text{Cantidad de agua (Litros)}}{\text{Relación agua cemento obtenida}}$$

$$\text{cemento (Kg)} = 497 \quad \text{equivale a 12 bolsas}$$

- Se calculó el volumen absoluto de la pasta mediante la suma de cemento, agua y aire en m³.

$$1 \text{ m}^3 - \text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de agregados}$$

Volumen de pasta

$$\text{Cemento: } 497 \text{ Kg} / (3.11 \text{ g/cm}^3 \times 1000) = 0.160 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua: } (207 \text{ l/m}^3 / 1000) = 0.207 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire: } (3 / 100) = 0.030$$

$$\Sigma \text{ Vol. de pasta} = 0.397$$

$$\text{Volumen de agregados} = 1 \text{ m}^3 - 0.397 = 0.603$$

- Con el módulo de finura obtenida en la granulometría del agregado fino y el TMN, se obtiene el volumen en m³ del agregado grueso.

Tabla 40. *Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto (b/bo)*

TMN Agregado Grueso		Módulo de finura del Agregado Fino			
		2.4	2.6	2.8	3
3/8"	9.5 mm	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	12.5 mm	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	19.0 mm	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	25.0 mm	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	37.5 mm	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	50.0 mm	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	75.0 mm	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	150.0 mm	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211, 2016

Ya que el módulo de fineza del agregado fino es 2.4 y a la vez el TMN es 3/8", se obtiene mediante la tabla 40 el peso del AG por unidad de volumen de 0.50 m³

- Se calculó el volumen del agregado grueso mediante las siguientes ecuaciones

$$\text{Agregado grueso} = \frac{b}{bo} \times \text{Peso unitario compactado del agregado grueso}$$

$$\text{Agregado grueso} = 787.62 \text{ Kg/ m}^3$$

$$\text{Volumen del AG (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso obtenido AG}}{\text{P. Específico AG}}$$

$$\text{Volumen del AG (m}^3\text{)} = 0.307 \text{ m}^3$$

- Se calculó el volumen y peso del agregado fino mediante las siguientes ecuaciones

$$\text{Volumen Agregado fino} = \text{Vol. Agregados} - \text{Vol. Agregado grueso}$$

$$\text{Volumen Agregado fino} = 0.297 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = \text{P. Específico del Agregado fino} \times \text{Vol. del Agregado fino}$$

$$\text{Agregado fino} = 785.20 \text{ Kg/m}^3$$

- Se calculó la corrección de agua mediante la siguiente ecuación

$$\text{Agregado húmedo} = \text{Diseño seco} (1 + \text{Cont. Humedad})$$

$$\text{Agregado fino} = 789 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = 793 \text{ Kg}$$

- Se calculó el agua efectiva mediante la siguiente ecuación

$$\text{Agregado} = \text{Diseño húmedo} \times (\text{Absorción} - \text{Cont. Humedad})$$

$$\text{Agregado fino} = 16 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 10 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 233 \text{ Kg/m}^3$$

- Diseño final

Tabla 41. *Diseño de mezcla final r a/c = 0.42, y diseño de mezcla para un adoquín de 20 cm x 10 cm x 6 cm*

Materiales	Kg/m ³	%	Kg/cm ³	%
Cemento	497	21	0.596	21
Arena	789	34	0.947	34
Piedra	793	34	0.952	34
Agua	233	10	0.279	10
TOTAL	2311		2.774	

De acuerdo a la conformación de adoquines mediante prensado manual y a la investigación de Fernandez, R. y Navas, A. (2011). Para la presente investigación, se establece una relación agua/cemento definida para calcular su resistencia, en la cual se considera una relación a/c de 0.30, ya que permite un balance adecuado para obtener mejor resistencia a compresión.

A la vez, mediante un estudio previo y diversas pruebas para la conformación ideal de un adoquín tipo I peatonal, se estableció aumentar en un 28% el agregado fino y restando esa cantidad al agregado grueso. Asimismo, se mantuvo la cantidad de cemento reduciendo la cantidad de agua hasta una **r a/c = 0.30**. Por lo que el diseño final de la investigación se estableció de la siguiente manera:

Tabla 42. *Diseño de mezcla final r a/c = 0.30, y diseño de mezcla para un adoquín de 2.673 Kg*

Materiales	Kg/m ³	%	Kg/cm ³	%
Cemento	497	22	0.596	22
Arena	1010	45	1.212	45
Piedra	572	26	0.686	26
Agua	149	7	0.179	7
TOTAL	2228		2.673	

Tabla 43. *Pruebas de estudio de elaboración de adoquines*

Estudios	Materiales	Und	Dosificaciones de PET					
			0.00%	2.50%	5.00%	7.50%	10%	12.50%
	Cemento	Kg	0.596	0.596	0.596	0.596	0.596	0.596

Reemplazo de agregado grueso x PET	Arena	Kg	1.212	1.212	1.212	1.212	1.212	1.212
	Piedra	Kg	0.686	0.669	0.652	0.635	0.618	0.601
	PET	Kg	0	0.02	0.041	0.061	0.082	0.102
	Agua	Kg	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179
Reemplazo de agregado fino x PET	Cemento	Kg	0.596	0.596	0.596	0.596	0.596	0.596
	Arena	Kg	1.212	1.182	1.151	1.121	1.091	1.061
	Piedra	Kg	0.686	0.686	0.686	0.686	0.686	0.686
	PET	Kg	0	0.036	0.072	0.109	0.145	0.181
	Agua	Kg	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179
Reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino x PET	Cemento	Kg	0.596	0.596	0.596	0.596	0.596	0.596
	Arena	Kg	1.212	1.182	1.151	1.121	1.091	1.061
	Piedra	Kg	0.686	0.669	0.652	0.635	0.618	0.601
	PET	Kg	0	0.057	0.113	0.17	0.227	0.283
	Agua	Kg	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179
Adición de PET a la mezcla de agregado grueso y agregado fino	Cemento	Kg	0.596	0.596	0.596	0.596	0.596	0.596
	Arena	Kg	1.212	1.212	1.212	1.212	1.212	1.212
	Piedra	Kg	0.686	0.686	0.686	0.686	0.686	0.686
	PET	Kg	0	0.057	0.113	0.17	0.227	0.283
	Agua	Kg	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179

D. Elaboración y curado de Probetas

- Los materiales que se utilizaron fueron: Aceite, bolsas plásticas, agregado grueso, agregado fino, cemento HS y residuos PET.
- Las herramientas usadas fueron: un molde de acero rectangular de dimensiones de 20 cm x 10 cm x 6 cm, un cucharón y un badilejo.
- El equipo utilizado para la fabricación de adoquines fue: una prensa hidráulica de presión máxima de 30 Toneladas
- La mezcla de los materiales se realizó de forma manual. Para cada mezcla se tomaron las cantidades indicadas en la tabla 43. Se procedía a un mezclado con badilejo (a y b) y un conformado en un tiempo de 20 minutos aproximadamente.
- Se inició con el engrasado del molde de acero, después se colocó la mezcla de concreto en tres capas de más o menos 2 cm de espesor (aproximadamente la tercera parte del molde) se prosiguió con el compactado de la primera capa con 4 golpes sobre un bloque de acero propiamente en toda la superficie para asegurar mayor acomodo del concreto y reducir el porcentaje de vacíos (c). Bajo este procedimiento de llenan las dos capas siguientes hasta completar la altura de 6 cm.
- Terminada la operación del conformado, todo el molde incluyendo la mezcla de concreto, es llevado a la prensa y se realiza una presión de 25 Tn sobre la cara superior del molde para dar una mayor adherencia y acabado final del adoquín (d).

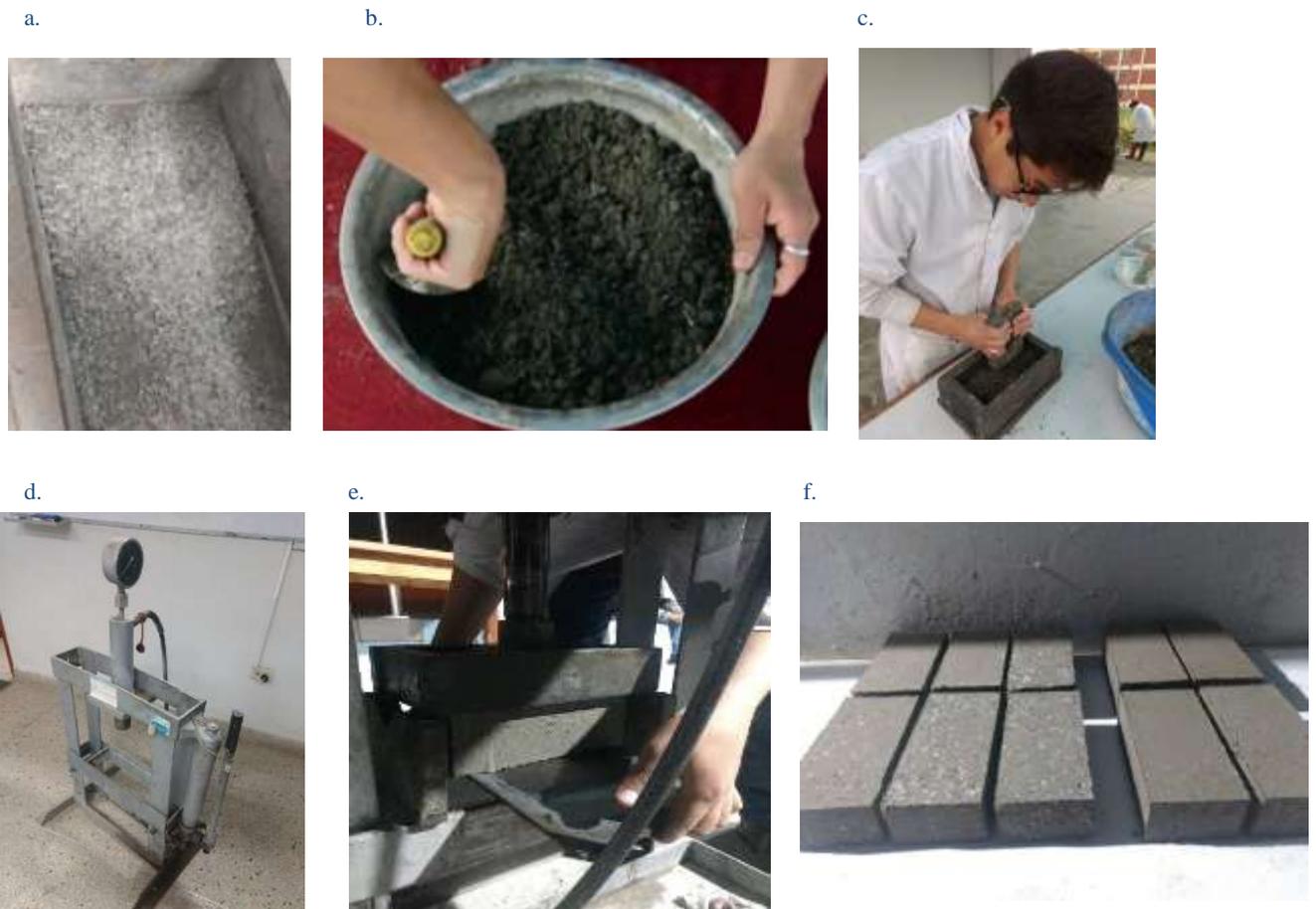
- Terminando la operación de prensado, se procede a desmoldar el adoquín con ayuda de la misma prensa (e).
- Finalmente, luego de retirar el adoquín del molde, se deja en un ambiente privado para el curado a temperatura ambiente por 28 días (f).
- De acuerdo a la NTP se debe tener en cuenta que el acabado final de los adoquines debe poseer una tolerancia dimensional como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 44. Tolerancia dimensional de adoquines de concreto

Tolerancia dimensional máx. (mm)		
Longitud	Ancho	Espesor
± 1.6	± 1.6	± 3.2

Fuente: Norma técnica peruana – NTP 399.611, 2015

Figura 14. Procedimiento del estado en fresco del adoquín prensado



E. Evaluación de propiedades

Ensayo de compresión NTP 339.034

Para la determinación del ensayo de la resistencia a la compresión de las unidades de concreto, se usó la máquina de compresión marca ELE International, modelo 2000 con una capacidad de 2000 kN (kilo newton). Terminado los 28 días de curado a temperatura ambiente, se procedió a tomar las medidas de cada uno de los adoquines con una regla y vernier. Además, se verificó que las caras estén limpias de algunas incrustaciones o partículas sueltas. Luego se prosiguió a realizar la alineación del espécimen dentro de la máquina de compresión y posteriormente se le aplicó una carga a una velocidad de 2.4 kN/s. Cuando se presentó alguna falla en las probetas, se tomó lectura de la máxima carga. Para calcular el valor de la resistencia a la compresión se aplicó la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Dónde:

$f'c$ = Resistencia a la compresión del adoquín, kg/cm²

P = Carga de rotura aplicada indicada por la máquina, kg).

A = Área de contacto de rotura aplicada indicada por la máquina, cm².

Tabla 45. Formato de registro del ensayo de la resistencia a la compresión

% PET	Muestra	Largo (cm)	ancho (cm)	altura (cm)	Fuerza (KN)	f'c máx (Kg/cm ²)	Prom. (Kg/cm ²)
-------	---------	------------	------------	-------------	-------------	-------------------------------	-----------------------------

Para el ensayo de resistencia a la compresión según la norma ASTM C39 el coeficiente de variación máximo permitido será de 2.4%.

Tabla 46. Resistencia a la compresión de adoquines tipo I, II y III

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, mín. Mpa (Kg/cm ²)	
		Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I (peatonal)			
Tipo B, C y D	40	31 (320)	28 (290)
Todos los tipos	60	31 (320)	28 (290)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III	≥ 80	55 (561)	50 (510)

(Vehicular pesado, patios
industriales o de
contenedores)

Fuente: Norma técnica peruana – NTP 399.611, 2015

Figura 15. Ensayo de compresión. a. Prueba de resistencia a la compresión, b. Resistencia a la compresión de un adoquín, c. Muestra del adoquín con plástico



Ensayo de absorción NTP 399.604

Los ensayos de absorción se realizaron de acuerdo a lo indicado en las Norma Técnica Peruana. Para la determinación de la absorción de las unidades de concreto, se usó un horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 115^{\circ}\text{C}$, el equipo de Arquímedes y una balanza electrónica con una precisión de 0.1 g. Terminado los 28 días de curado a temperatura ambiente, se procedió a realizar el ensayo, para lo cual inicialmente se tomaron los pesos de cada bloque en estado saturado, para lo cual se sumergieron los adoquines en agua por 24 horas. Pasado este tiempo se retiraron los bloques del agua y se secaron con una franela para posteriormente pesarlas. Registrando el W_s (peso saturado). Luego se pesaron los bloques mientras están suspendidos por un alambre de metal sumergidos totalmente en agua, registrando W_i (peso sumergido). Posteriormente a la saturación, se dejó secar los especímenes en el horno por 24 horas registrando peso W_d (peso secado al horno). El contenido de agua absorbida se calcula con la siguiente ecuación:

$$\%Abs = \frac{(W_s - W_d)}{W_d} \times 100$$

Donde:

W_s = peso saturado del espécimen, (kg)

W_i = peso sumergido del espécimen, (kg)

W_d = peso seco al horno del espécimen, (kg)

Tabla 47. Formato de registro del ensayo a la absorción

Código	Muestra	Pesos (Kg)			Absorción (%)	
		Saturado	Suspendido	Seco	Und	Promedio

La ASTM C140-06, define a la absorción como la diferencia en la cantidad de agua contenida dentro de una unidad de mampostería de concreto o de una unidad relacionada, entre su condición saturada y su condición seca.

Según la NTP 399.611, considera que los adoquines destinados a pavimentos pueden estar sujetos a condiciones elevadas de durabilidad, como la agresión por sulfatos o ciclos de hielo y deshielo, por lo que deben cumplir con los requisitos de la siguiente tabla.

Tabla 48. Absorción de adoquines tipo I, II y III

Tipo de Adoquín	Absorción máx. (%)	
	Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I y II	6	7.5
III	5	7

Fuente: Norma técnica peruana – NTP 399.611, 2015

Figura 16. Ensayo de absorción de adoquines. a. Saturación de agua en adoquines tipo I, b. Peso sumergido de adoquín tipo I, c. Secado de adoquines en el horno.

a.



b.



c.



E.3. Desgaste por abrasión NTP 399.624 Y NTE INEN 3040

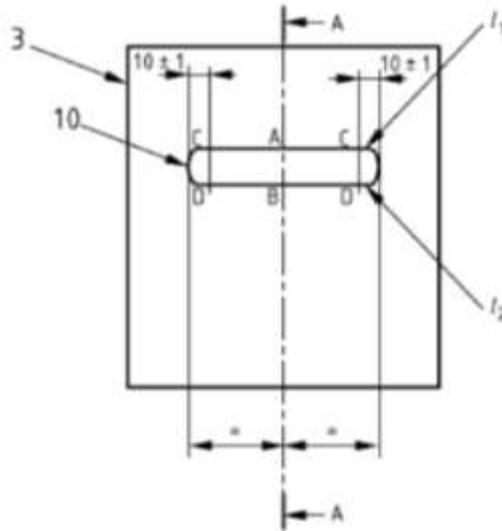
La resistencia al desgaste por abrasión se determinó mediante el ensayo de la rueda ancha. El requisito para la resistencia al desgaste por abrasión consiste en que la longitud de cuerda de la huella creada por la rueda ancha sea menor o igual a 23 mm. Para este ensayo se utilizaron 7 especímenes de las probetas patrón y para cada porcentaje de adición y reemplazo de PET. Además, se usó corindón (aluminio blanco fundido en forma de grano). El equipo usado fue la máquina de desgaste, compuesto de una rueda ancha de abrasión, una tolva de almacenamiento con una válvula de control para regular la salida de material abrasivo, un carro porta probetas móviles y un contrapeso.

Para este ensayo inicialmente se tuvo que medir el volumen de calibración, para lo cual se verificó que el sistema de contrapeso y el porta espécimen, se desplacen con facilidad logrando al final sobre el adoquín una huella con una longitud de $20 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$. Luego se verificó que la probeta de ensayo esté limpia y seca, teniendo en cuenta que la cara del elemento a analizar tenga una textura lisa, de lo contrario se tuvo que pulir ligeramente. Se colocó el adoquín en el porta espécimen y se llenó la tolva de almacenamiento con el corindón. Se verificó que la huella a producirse esté al menos a 15 mm de cualquier borde de la probeta. Después de las 75 revoluciones de la rueda en 1 minuto, se detiene el flujo abrasivo y se mide la huella y se analiza que este sea menor de 23 mm.

El desgaste por abrasión se calcula con la siguiente ecuación:

$$23 \geq AB + (20 \text{ mm} - VC)$$

Figura 17. Medición la huella en mm



Fuente: NTE INEN 3040

Tabla 49. Formato de registro del ensayo al desgaste a la abrasión

		Dimensiones (mm)			Aproximación (mm)	Pasa (Huella ≤ 23)	Promedio de huella
Código	Muestra	VC	AB	Huella (mm)			

Figura 18. Desgaste a la abrasión de adoquines. a. Máquina para ensayo de desgaste a la abrasión de adoquines, b. Ensayo de desgaste a la abrasión, c. Medición de ancho de huella, d. Ancho de huella

a.

b.

c.



d.



F. Análisis Estadístico

F.1. Análisis de datos

Para el análisis estadístico se usó la inferencia estadística para poder determinar el comportamiento de la población estudiada con un margen de error medible en probabilidad.

F.2. Prueba de normalidad

La prueba de hipótesis se evaluó la normalidad de los datos utilizando un software denominada SPSS para identificar las variables dependientes e independientes.

Figura 19. Ingreso de datos en programa SPSS

Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Pérdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
Pet (%)	Cadena	8	0	Pet (%)	[1, 0%]	Ninguno	11	Centrado	Nominal	Entrada
Reemplazo	Cadena	8	0	Reemplazo	[1, Reempla]	Ninguno	11	Centrado	Nominal	Entrada
Compresión	Númerico	8	0	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	[1, Compres]	Ninguno	11	Centrado	Nominal	Entrada
Absorción	Númerico	8	0	Absorción (%)	[1, Absorció]	Ninguno	11	Centrado	Nominal	Entrada
Abrasión	Númerico	8	0	Resistencia a la abrasión (mm)	[1, Abrasión]	Ninguno	11	Centrado	Nominal	Entrada

En la columna de valores, se colocará una especie de códigos para cada tipo de porcentaje de residuos PET.

Figura 20. Valores para los porcentajes de residuos PET

Etiquetas de valor

Valor:

Etiqueta:

1,0 = "0%"
2,0 = "2.5%"
3,0 = "5.0%"
4,0 = "7.5%"
5,0 = "10.0%"
6,0 = "12.5%"

Aceptar Cancelar Ayuda

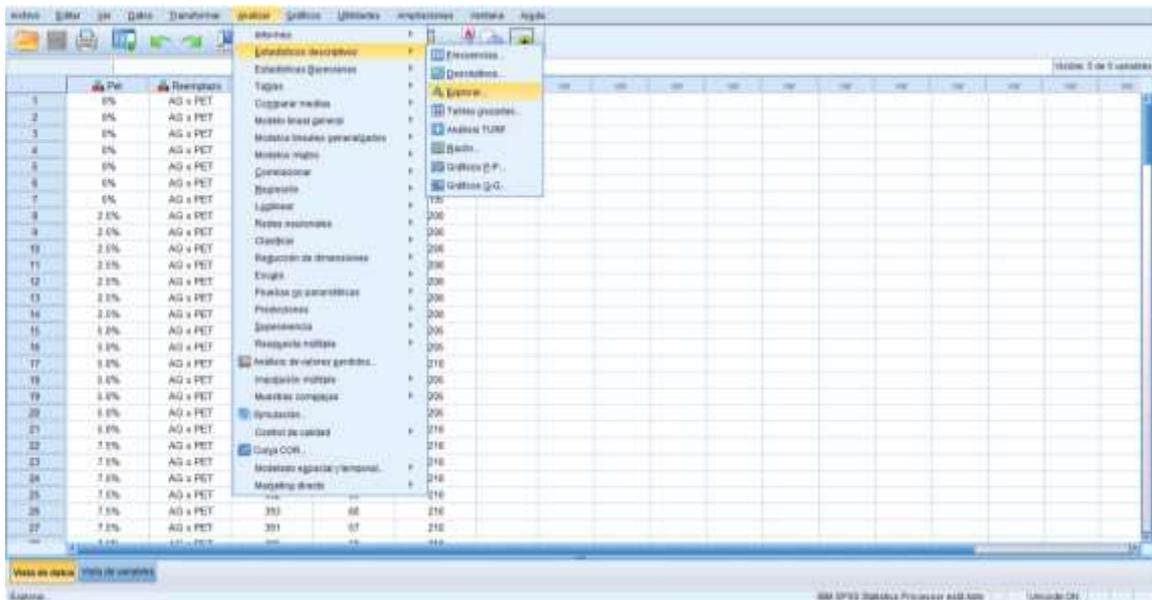
Se cambia de la vista de variables a la vista de datos y se ingresan los códigos para cada variable independiente y en los ensayos se colocan los resultados de la investigación.

Figura 21. Ingreso de valores en la vista de datos

	Porcentaje	Residuos	Compresión	Absorción	Abrasión
1	0%	AG + PET	445	4	20
2	0%	AG + PET	438	5	20
3	0%	AG + PET	446	4	20
4	0%	AG + PET	436	4	20
5	0%	AG + PET	437	4	20
6	0%	AG + PET	437	4	20
7	0%	AG + PET	446	4	20
8	2.0%	AG + PET	420	5	20
9	2.5%	AG + PET	416	5	20
10	2.5%	AG + PET	419	5	20
11	2.5%	AG + PET	417	5	20
12	2.5%	AG + PET	420	5	20
13	2.5%	AG + PET	419	5	20
14	2.5%	AG + PET	417	5	20
15	5.0%	AG + PET	399	5	21
16	5.0%	AG + PET	393	5	21
17	5.0%	AG + PET	390	5	21
18	5.0%	AG + PET	398	5	21
19	5.0%	AG + PET	395	5	21
20	5.0%	AG + PET	392	5	21
21	5.0%	AG + PET	396	5	21
22	7.0%	AG + PET	389	5	21
23	7.0%	AG + PET	395	5	21
24	7.0%	AG + PET	395	5	21
25	7.0%	AG + PET	392	5	21
26	7.0%	AG + PET	393	5	21
27	7.0%	AG + PET	391	5	21

Para ejecutar la prueba de normalidad, se siguen los siguientes pasos

Figura 22. Pasos a seguir para realizar la prueba de normalidad



Se asignan los ensayos a analizar y en el casillero de factores se colocan las variables independientes.

Figura 23. Proceso para analizar una variable independiente



Finalmente, para obtener la prueba de normalidad mediante el análisis de Kolmogorov-Smirnov, se consideró una significancia mayor a 0.05, concluyendo que la variable tiene un comportamiento normal.

Este análisis se realizó para los 4 estudios establecidos.

Figura 24. Significancia de Kolmogorov-Smirnov; Reemplazo de AG x PET

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	,142	42	,032	,925	42	,009
Absorción (%)	,312	42	,000	,758	42	,000
Resistencia a la abrasión (mm)	,220	42	,000	,794	42	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 25. Significancia de Kolmogorov-Smirnov; Reemplazo de AF x PET

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	,103	42	,200*	,938	42	,025
Absorción (%)	,272	42	,000	,782	42	,000
Resistencia a la abrasión (mm)	,217	42	,000	,807	42	,000

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 26. Significancia de Kolmogorov-Smirnov; Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	,259	42	,000	,839	42	,000
Absorción (%)	,184	42	,001	,902	42	,002
Resistencia a la abrasión (mm)	,224	42	,000	,840	42	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 27. Significancia de Kolmogorov-Smirnov; Adición de PET a la mezcla de AG y AF

	Pruebas de normalidad			Pruebas de normalidad		
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	,251	42	,000	,787	42	,000
Absorción (%)	,249	42	,000	,813	42	,000
Resistencia a la abrasión (mm)	,312	42	,000	,758	42	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Una vez obtenida la normalidad de los datos se realizó las pruebas paramétricas utilizando la prueba ANOVA. coeficiente de variación de los resultados para así poder clasificarlos. El control se realizó teniendo en cuenta la norma de ensayo correspondiente, con valores estipulados para 7 réplicas, los ensayos fueron: Resistencia a la compresión, absorción y resistencia al desgaste a la abrasión.

Para evaluar estadísticamente los resultados se aplicó el análisis de varianza con la finalidad de verificar si las variables en estudios son significativas en el rango experimental. Para tal efecto se consideró un nivel de confiabilidad del 95% y un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Asimismo, se realizó el análisis de varianza para el modelo experimental usado un diseño bifactorial de 6 porcentajes de residuos PET, con 4 tipos de estudios en reemplazo y adición de los agregados.

Prueba de Fisher

Los resultados obtenidos a través del desarrollo de los ensayos a los adoquines corroborarán las hipótesis planteadas mediante un análisis de varianza con el ANOVA.

Datos previos

- **Grados de libertad**

- ✓ Grados de libertad de la variable tipos de estudios de reemplazo y adición de residuos PET (A):

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

- ✓ Grados de libertad de la variable de porcentajes de residuos PET (B):

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

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

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

- ✓ Grados de libertad del error.

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

Donde:

a: Número de tipos de estudios de reemplazo y adición de residuos PET.

b: Número de porcentajes de residuos PET.

n: Número de réplicas

- **Nivel de significancia**

El nivel de significancia se trabajó con un 95 % de nivel de confianza ($\alpha = 0.05$), con la finalidad de obtener una investigación más precisa y exacta.

- **Criterio de rechazo**

La hipótesis alterna (H_1) se acepta si $F_{Exp.} > F_{\alpha;(a-1); (a(r-1))}$

$F_{Exp.}$ = Se obtiene experimentalmente.

$F_{\alpha;(a-1); (a(r-1))}$ = Se obtiene mediante tablas estadísticas.

- **Análisis de Varianza y F de Fisher**

Suma de cuadrados

Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{b \times n} - \frac{Y_T^2}{a \times b \times n}$$

Suma de cuadrados para el factor B.

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{a \times n} - \frac{Y_T^2}{a \times b \times n}$$

Suma de cuadrados subtotaes.

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{a \times b \times n}$$

Suma de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

Suma de cuadrados totales.

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{a \times b \times n}$$

Suma de cuadrados del error:

$$SS_E = SS_T + SS_A + SS_B + SS_{AxB}$$

Media de cuadrados

Media de los cuadrados del factor A.

$$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$$

Media de los cuadrados del factor B.

$$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$$

Media de la interacción de factores A x B

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a-1)(b-1)}$$

Media de los cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(ab)(n-1)}$$

F₀ experimental

$F_0 (A)$

$$F_0 (A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$F_0 (B)$

$$F_0 (B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$F_0 (A \times B)$

$$F_0 (A \times B) = \frac{MS_{A \times B}}{MS_E}$$

- **Análisis de Confiabilidad**

F.Experimental > F.Teórico

Fisher = δ

Si Fisher \leq Valor de Tabla, se acepta la H_0

Si Fisher \geq Valor de Tabla, se acepta la H_1

Donde:

H_1 : Hipótesis alterna

H_0 : Hipótesis nula

La significancia debe pasar los $\alpha = 0.05$ para que se acepte la hipótesis.

G. Análisis de costos

Mediante el análisis de costos se logró definir un precio para la producción de 1 m² de adoquines ecológicos a través de la individualización de los elementos que la componen.

- En un 1 m² de adoquines se requieren 50 unidades. Para obtener la cantidad de cada material para esta producción, se toma en cuenta las cantidades del diseño patrón de un adoquín, estas cantidades son multiplicadas por las 50 unidades; obteniéndose las cantidades de los agregados para producir 1 m² de estos prefabricados. Asimismo, para la cantidad de la mano de obra, se multiplica el número de cuadrilla por las 8 horas de trabajo sobre el rendimiento en la producción de 50 unidades de adoquines. Y para la cantidad de equipos se considera 1.
- Para el precio de la mano de obra se toma en consideración a la última publicación emitida por CAPECO y por la Federación de trabajadores en construcción civil del Perú, donde establece que el precio por HH de un oficial equivale a 14.57. Asimismo, para el precio de equipos y herramientas, se toma en consideración al libro “Costos y presupuestos de edificación” publicado por CAPECO, donde establece que el costo directo de herramientas corresponde al consumo o desgaste que se generan al ser utilizadas, considerando que el costo de la hora máquina (Hm) corresponde a la multiplicación del costo directo de la mano de obra por un coeficiente de incidencia que varía de 1% a 5% estimado en función a la experiencia de obras similares. Finalmente, para el precio de los materiales tomamos en cuenta las cantidades para producir un adoquín. Con esto, se realiza un análisis con los precios globales de cada material y mediante un cálculo de comparación se pudo obtener el precio en Kg para la producción de un adoquín.
- Mediante los diversos análisis y cálculos, se obtuvo el precio para la producción de 1m² de adoquines equivalente a S/. 19.223 para el diseño patrón. Teniendo en cuenta este análisis, se pudo obtener el precio para la producción de adoquines con incorporación de PET.

Tabla 50. Análisis de costos de un adoquín – diseño patrón

DISEÑO PATRÓN	PRECIO FINAL
	19.223

Unidad	Adoquines	Rendimiento	50	Unidades		
Descripción	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio	Parcial	
Mano de obra						
Oficial	hh	1	0.16	14.57	2.3312	
Materiales						
Bolsa de cemento	Kg		29.8	0.323	9.612	
Arena gruesa	Kg		60.6	0.028	1.698	
Confitillo	Kg		34.3	0.028	0.953	
Agua	l		8.95	0.354	3.172	
Plástico	Kg		0	0.000	0.000	
Equipos y herramientas						
Prensa hidráulica	%MO		1	1.457	1.457	

Tabla 51. Análisis de costos de un adoquín ecológico en reemplazo de AG x PET al 5%

REEMPLAZO DE AG x PET				PRECIO FINAL	19,181
Unidad	Adoquines	Rendimiento	50	Unidades	
Descripción	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					
Oficial	hh	1	0.16	14.57	2.3312
Materiales					
Bolsa de cemento	Kg		29.8	0.323	9.612
Arena gruesa	Kg		60.6	0.028	1.698
Confitillo	Kg		32.6	0.026	0.861
Agua	l		8.95	0.354	3.172
Plástico	Kg		2.05	0.025	0.050
Equipos y herramientas					
Prensa hidráulica	%MO		1	1.457	1.457

Tabla 52. Análisis de costos de un adoquín ecológico en reemplazo de AF x PET al 5%

REEMPLAZO DE AF x PET				PRECIO FINAL	19,212
Unidad	Adoquines	Rendimiento	50	Unidades	
Descripción	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					
Oficial	hh	1	0.16	14.57	2.3312
Materiales					
Bolsa de cemento	Kg		29.8	0.323	9.612
Arena gruesa	Kg		57.55	0.027	1.532
Confitillo	Kg		34.3	0.028	0.953
Agua	l		8.95	0.354	3.172
Plástico	Kg		3.6	0.043	0.156
Equipos y herramientas					
Prensa hidráulica	%MO		1	1.457	1.457

Tabla 53. Análisis de costos de un adoquín ecológico en reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET al 2.5%

REEMPLAZO DE LA MEZCLA DE AG y AF x PET					PRECIO FINAL	19.191
Unidad	Adoquines	Rendimiento	50	Unidades		
Descripción	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio	Parcial	
Mano de obra						
Oficial	hh	1	0.16	14.57	2.3312	
Materiales						
Bolsa de cemento	Kg		29.8	0.323	9.612	
Arena gruesa	Kg		59.1	0.027	1.615	
Confitillo	Kg		33.45	0.027	0.906	
Agua	l		8.95	0.354	3.172	
Plástico	Kg		2.85	0.034	0.097	
Equipos y herramientas						
Prensa hidráulica	%MO		1	1.457	1.457	

Tabla 54. Análisis de costos de un adoquín ecológico adicionando PET a la mezcla de AF y AG de 5%

ADICIÓN A LA MEZCLA DE AG y AF x PET					PRECIO FINAL	19.606
Unidad	Adoquines	Rendimiento	50	Unidades		
Descripción	Unidad	cuadrilla	cantidad	Precio	Parcial	
Mano de obra						
Oficial	hh	1	0.16	14.57	2.3312	
Materiales						
Bolsa de cemento	Kg		29.8	0.323	9.612	
Arena gruesa	Kg		60.6	0.028	1.698	
Confitillo	Kg		34.3	0.028	0.953	
Agua	l		8.95	0.354	3.172	
Plástico	Kg		5.65	0.068	0.383	
Equipos y herramientas						
Prensa hidráulica	%MO		1	1.457	1.457	

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Caracterización de la materia prima

Ensayo granulométrico del agregado grueso NTP 400.012

Tabla 55. Resultados de la caracterización del agregado grueso

Ensayo	Unidad	Norma	Resultado	Parámetros y clasificación
Tamaño máximo nominal (TMN)		NTP. 400.012 / ASTM C136	3/8"	-
Tamaño máximo (TM)		NTP. 400.012 / ASTM C136	1/2"	-
Módulo de finura		NTP. 400.012 / ASTM C136	5.7	-
Humedad	%	NTP. 329.185 / ASTM C566	0.7	-
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	NTP. 400.017 / ASTM C29	1480	1400 - 1600
Peso unitario compactado	kg/m ³	NTP. 400.017 / ASTM C29	1575	1500 - 1700
Peso específico	kg/m ³	NTP. 400.022 / ASTM C128	2568	2400 - 2800
Absorción	%	NTP. 400.022 / ASTM C128	1.9	0.2 - 3.0
Vacíos	%	NTP. 400.017 / ASTM C29	39	30 - 50
Desgaste por abrasión	%	NTP. 400.019 / ASTM C131	17	≤ 50
Ph		NTP 400.042	8.1	Básico o ligeramente alcalino
Conductividad	(dS/cm)	NTP 400.042	0.20	Suelo libre de sales

En la tabla N°55 se muestra el análisis granulométrico del agregado grueso, mostrándose la graduación y los diversos tamaños existentes de las partículas que presenta la muestra de la cantera el Milagro. Asimismo, en esta tabla, se puede observar que el agregado utilizado presenta un tamaño máximo (TM) de 1/2" y un tamaño máximo nominal (TMN) de 3/8". Además de acuerdo a la clasificación de los agregados según su tamaño, el material usado sería denominado gravilla, ya que establece que el material que queda retenido hasta la malla de 4.75 mm de abertura se denomina agregado grueso. Asimismo, con los resultados del ensayo granulométrico se pudo observar que la mayor cantidad del material estudiado se encuentra retenido en los tamices de 9.75 mm (3/8) hasta 4.75 mm (N°4) por lo que, según la clasificación de los agregados, el material estaría conformado por grava y gravilla. Por lo que se considera a este agregado, un material adecuado para lograr una buena producción de concreto. Para este estudio, los ensayos realizados al agregado grueso arrojan una curva granulométrica que se encuentra dentro de los límites mínimos establecidos en la norma NTP 400.037:2014, el cual se usará para la elaboración de los adoquines. El resultado

obtenido arroja un M_f de 5.7, el cual se encuentra dentro del rango establecido en la norma. Además, esta grava posee un peso específico de 2.57 y de acuerdo a la densidad relativa de los agregados se consideraría un material de peso normal, ya que el peso específico se encuentra dentro de los rangos entre 2.5 - 2.75, considerando a la piedra de tener una naturaleza como granito, basalto, arenisca, piedra caliza y cuarcita.

Ensayo granulométrico del agregado fino NTP 400.012

Tabla 56. Resultados de la caracterización del agregado fino

Ensayo	Unidad	Norma	Resultado	Parámetros y clasificación
Módulo de finura		NTP. 400.012 / ASTM C136	2.4	2.3 - 3.1
Humedad	%	NTP. 329.185 / ASTM C566	0.5	-
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	NTP. 400.017 / ASTM C29	1730	1500 - 1800
Peso unitario compactado	kg/m ³	NTP. 400.017 / ASTM C29	1915	1600 - 1900
Peso específico	kg/m ³	NTP. 400.022 / ASTM C128	2647	2500 - 2900
Absorción	%	NTP. 400.022 / ASTM C128	2.5	0.2 - 5.0
Vacíos	%	NTP. 400.017 / ASTM C29	28	30 - 50
Ph		NTP 400.042	7.8	Básico o ligeramente alcalino
Conductividad	(dS/cm)	NTP 400.042	0.39	Suelo libre de sales

En la tabla N°56 se muestra el análisis granulométrico del agregado fino, para este estudio se obtuvo un módulo de finura de 2.4, el cual la ASTM C136 la clasifica como arena gruesa y está dentro de los parámetros que establece la norma ASTM C33. El material está entre los rangos de 2.3 a 3.1. Además, esta arena posee un peso específico de 2.65 g/cm³ y de acuerdo a la densidad relativa de los agregados se consideraría un material de peso normal, ya que el peso específico se encuentra dentro de los rangos entre 2.5 - 2.75. Asimismo, esta evaluación es importante debido a que la arena es de vital importancia para obtener una mejor calidad y acabado del concreto

En la curva granulométrica del agregado fino, se muestra una curva discontinua ya que presenta tramos horizontales en la parte intermedia de la curva. Esta distribución señala la presencia de finos en la muestra analizada. La norma ASTM C33 permite el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, cuando existan estudios

que aseguren que el material producirá concreto de la resistencia requerida a satisfacción de las partes.

En la composición granulométrica del agregado fino se obtuvo un 2% de partículas finas que pasan la malla N°200, ya que estas la componen limos y arcillas. Por tal manera, el material estudiado se encuentra libre de exceso de arcilla cumpliendo con los requisitos de la norma que establece como máximo un 3% de finos.

Ensayo del contenido de humedad del agregado grueso y del agregado fino NTP 400.012

En la tabla N°55 y N°56 se observa que, para el ensayo de contenido de humedad, se analizaron tres pruebas, de los cuales se obtuvo el promedio del porcentaje del contenido de humedad del agredo grueso, obteniéndose un valor de 0.70 % y para el agregado fino un valor de 0.50 %. De acuerdo a la norma ASTM C128, en el cual sostiene que el valor del contenido de humedad del agregado grueso (AG) no tiene que pasar más del 1%, por lo que el valor adecuado tendría que ser menor. Por lo tanto, el material utilizado en el proyecto se encuentra dentro de los parámetros que se recomienda. Además, la norma NTP 339.185 no establece un límite para el contenido de humedad en los agregados, pero recomienda que estos valores deban ser menores a los valores que se obtienen del ensayo de la absorción.

Peso unitario suelto y compactado del Agregado Grueso NTP 400.017

En la tabla N°55 y N°56 se puede observar los resultados obtenidos del ensayo realizado del Peso unitario suelto del agregado grueso y agregado fino. Para la mayoría de los casos según la NTP 400.017 establece que el PUSS del agregado grueso debe variar entre 1400 kg/m^3 - 1600 kg/m^3 y para el agregado fino entre 1500 kg/m^3 - 1800 kg/m^3 . Para el estudio del proyecto se realizaron tres pruebas, de los cuales se obtuvo un promedio de los ensayos del Peso unitario suelto de 1482 Kg/cm^3 para el agregado grueso y 1730 Kg/cm^3 para el agregado fino De tal manera, que el valor obtenido está dentro de los parámetros establecidos.

Asimismo, se puede observar los resultados obtenidos del ensayo realizado del Peso unitario compactado, siendo esta de utilidad para trabajos relacionados a la conversión de pesos en volúmenes y viceversa. En este tipo de estudio, la NTP 400.017 establece que el PUCS del agregado grueso debe variar entre 1500 kg/m^3 - 1700 kg/m^3 y para el agregado fino entre 1600 kg/m^3 - 1900 kg/m^3 Para el estudio del proyecto se realizaron tres pruebas, de los cuales se obtuvo un promedio de los ensayos del Peso unitario compactado de 1575 Kg/cm^3 para el agregado grueso y 1914 Kg/cm^3 para el agregado

fino. De tal manera, que el valor obtenido está dentro de los parámetros establecidos. Teniendo estos resultados, se puede concluir que el agregado tiene una buena distribución de partículas, por lo cual brindará mejores resultados en cuanto a resistencia a la compresión de las probetas elaboradas.

Peso específico y absorción del agregado grueso y agregado fino NTP 400.022

En la tabla N°55 y N°56 se puede observar los valores obtenidos del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso y fino. En este estudio, el peso específico para el agregado grueso fue de 2.57 g/cm^3 , y de acuerdo a la NTP 400.022 dicho valor se encuentra en el rango de $2.4 \text{ g/cm}^3 - 2.80 \text{ g/cm}^3$. Asimismo, para el agregado fino se obtuvo un valor de 2.65 g/cm^3 , y dicho valor se encuentra en el rango de $2.5 \text{ g/cm}^3 - 2.90 \text{ g/cm}^3$ establecido en la norma NTP 400.022 y de acuerdo a la densidad relativa de los agregados se consideraría un material de peso normal, ya que el peso específico se encuentra dentro de los rangos entre 2.5 - 2.75, considerando a la piedra de tener una naturaleza como granito, basalto, arenisca, piedra caliza y cuarcita. Asimismo, la NTP 400.022, establecen que los valores de absorción para el agregado grueso deben estar en un rango de 0.2% a 3.0%, y para el agregado fino entre 0.2% a 5.0%. y de acuerdo a este estudio, se observó que la absorción del agregado grueso es de 1.91% y para el agregado fino de 2.51%. Además, teniendo en cuenta a Fernández podemos corroborar la calidad del material ya que en su investigación consideró como rocas de buena calidad aquellas que presentan una absorción menor a 3% para agregado grueso, y menores a 5% para el caso de agregado fino.

Porcentaje de vacíos del agregado grueso y agregado fino NTP 400.022

En la tabla N°55 y N°56 se observa que el porcentaje de vacíos del agregado grueso es de 39% y del agregado fino es de 28% respectivamente, por lo cual el material utilizado en este estudio cumple con los parámetros que establece la NTP 400.017 y lo explicado por Quiroz y Salamanca (2006) que los agregados deben estar entre el rango de 30 a 50% para agregados típicos para concreto. El cual, indica la cantidad de vacíos que genera el agregado al ser llenado en un recipiente debidamente compacto en relación con su peso específico.

Desgaste por abrasión del agregado grueso NTP 400.019

Según la NTP 400.019 el porcentaje máximo de pérdida en peso del agregado grueso sujeto al desgaste por abrasión, se limita al 50% para grava, grava triturada o roca

triturada. Asimismo, en la tabla N°55 se observa que el agregado de este estudio presenta un resultado de 17%, cumpliendo lo anteriormente mencionado.

Ph y conductividad eléctrica del agregado grueso y agregado fino NTP 400.042

En las tablas N° 55 y N° 56 se observó que el potencial de hidrógeno pH del agregado el grueso es de 8.11 y para el agregado fino es de 7.84 por lo que ambos se clasifican como un material básico o ligeramente alcalino. Asimismo, se observó que la conductividad eléctrica (CE) del agregado grueso es 0.20 dS/m y 0.39 dS/m para el agregado fino. Estos valores se encuentran por debajo de 1 dS/m; por lo cual las muestras estudiadas de acuerdo a la NTP 400.042 se clasifican como suelos libres de sales cuya presencia no resulta perjudicial para el concreto.

Ph y conductividad eléctrica del agua NTP 400.022

Tabla 57. Resultados de la caracterización química del agua

Ensayo	Unidad	Norma	Resultado	Clasificación
pH		NTP 400.042	7.5	Debilmente básica
Conductividad	(dS/m)	NTP 400.042	1.42	Agua dulce

En la tabla N°57 se observa que el pH del agua potable es de 7.5, y de acuerdo a lo establecido por SUNASS, se establece que los valores del pH del agua potable deben estar en un rango comprendido entre 6.5 y 8.5, por lo cual, el agua cumple con los valores establecidos, clasificándose como agua débilmente básica. Por otro lado, la conductividad obtenida del agua potable fue de 1.4 dS/m, cumpliendo a lo establecido por la Superintendencia nacional de servicios y saneamiento (SUNASS) ya que indica que el límite máximo no debe exceder de 1.5 dS/m por lo que el líquido se consideraría como agua dulce.

Cemento inka tipo HS anti salitre

El cemento INKA Anti Salitre posee bajo calor de hidratación y alta resistencia a los sulfatos, baja reactividad con agregados álcali-reactivos. Se usa en construcciones de zonas húmedas salitrosas y expuestas al agua de mar. Sus adiciones activas, complementadas con una molienda extrafina, disminuyen el ingreso de cualquier agente agresor. Asimismo, protegen los aceros de refuerzo contra la acción de cloruros, garantizando una mayor durabilidad de la obra. Su uso es generalmente en la industria, minería, infraestructura vial, construcción de viviendas,

edificios, obras de concreto estructural, obras hidráulicas y aquellas que estén expuestas a suelos húmedos salitrosos, al agua de mar y brisa marina. Por ello, cumplen con las normas técnicas NTP 334.082 / ASTM C1157.

Propiedades generales del PET

Tabla 58. *Propiedades generales del tereftalato de polietileno (PET)*

Propiedades		
Físicas	Absorción de agua - Equilibrio (%)	< 0.7
	Densidad (g/cm ³)	1.3 - 1.4
	Inflamabilidad	Auto extinguiible
Mecánicas	Coefficiente de Fricción	0.2 - 0.4
	Dureza - Rockwell	94 - 101
	Módulo de Tracción (Gpa)	2-4
	Relación de Poisson	0.37 - 0.44 (oriented)
	Resistencia a la Tracción (Mpa)	190 -160
	Resistencia al Impacto Izod (Jm ⁻¹)	13 – 35
Térmicas	Coefficiente de expansión térmica (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	20 – 80
	Temperatura máxima de utilización (°C)	115 – 170
	Temperatura mínima de utilización (°C)	-40 a -60
Química	Ácidos concentrados	Buena
	Álcalis	Mala
	Alcoholes	Buena
	Grasas y aceites	Buena
	Halógenos	Buena
	Hidrocarburos Aromáticos	Aceptable

Fuente: Toro, 2004

En la tabla N°58, de acuerdo a las propiedades térmicas del tereftalato de polietileno, se puede observar que la temperatura máxima a la que puede usarse el plástico es de 170 °C, y de acuerdo a las construcciones de pavimentos flexibles, la temperatura de fabricación del asfalto es de 150 °C. Por ende, el uso del plástico para pavimentos es factible, ya que la temperatura del medio ambiente no causaría daños a la calidad del producto vial en caso las vías aumenten su temperatura. Además, con respecto a la fricción, se puede observar que el plástico a pesar de ser un material flexible posee una fricción entre 0.2 – 0.4, siendo menor a la fricción del concreto de 0.6 – 0.9.

Asimismo, debido a que el plástico es malo a la álcalis, se uso un cemento anti salitre, ya que es un cemento de bajo álcalis.

Diseño de mezcla (ACI 211)

Tabla 59. *Diseño final de mezcla de concreto*

Material	Peso por m ³ (kg)	Porcentaje (%)	Volumen (m ³)
Agregado grueso	572	26	0.22
Agregado fino	1010	45	0.38
Cemento	497	22	0.16
Agua	149	7	0.15
Total	2228	100	1

En la Tabla N°59 se tiene el diseño de mezcla para 1m³ de concreto de relación a/c = 0.30. considerando la opinión del ingeniero Roberto Fernández (2011), sosteniendo que se obtienen mejores resultados para la fabricación de adoquines al utilizar dosificaciones con una relación agua/cemento de 0.28 y 0.31. En esta investigación, el diseño fue aplicado para pavimento articulado tipo peatonal.

Materiales necesarios por bolsa de cemento

Al haberse determinado el diseño de mezcla en base a proporciones volumétricas de los materiales, se plantea las cantidades necesarias para fabricar adoquines considerando una bolsa de cemento.

Tabla 60. *Cantidad de materiales en Kg por bolsa de cemento*

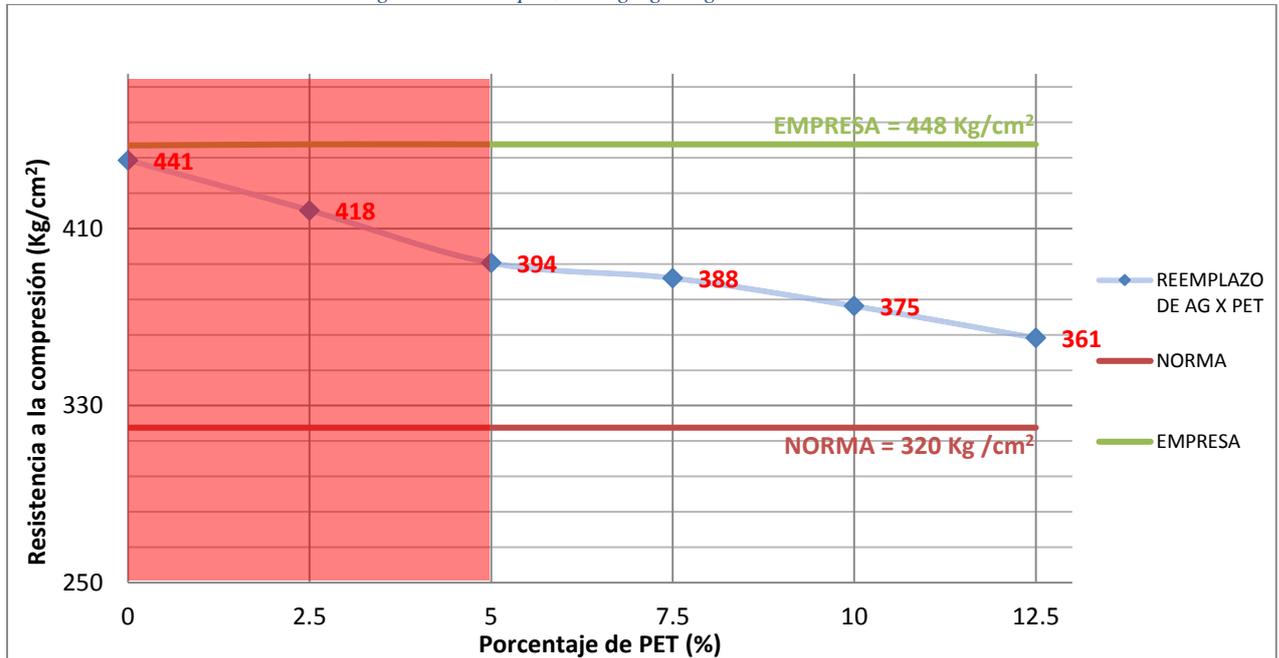
Materiales	Cantidad (Kg)
Cemento	42.5
Arena	86.4
Piedra	48.9
Agua	12.8

Para una bolsa de cemento de 42.5 Kg se obtienen 71 adoquines con un peso de 2.673 Kg, que relaciona la cantidad utilizada de cada material para el conformado de cada unidad. En la tabla N°60 presentamos cantidades necesarias para la preparación de un lote a partir de una bolsa de cemento

Ensayos

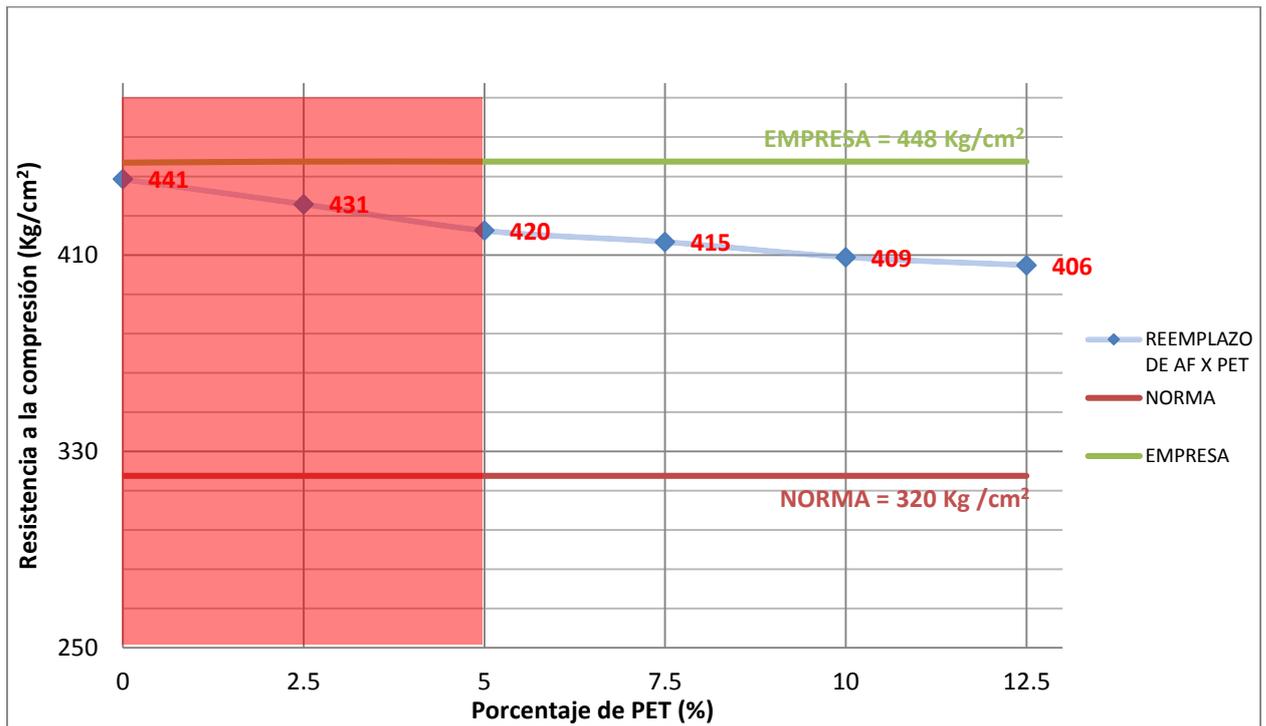
Ensayo de Resistencia a la Compresión

Figura 28. Reemplazo de agregado grueso x PET



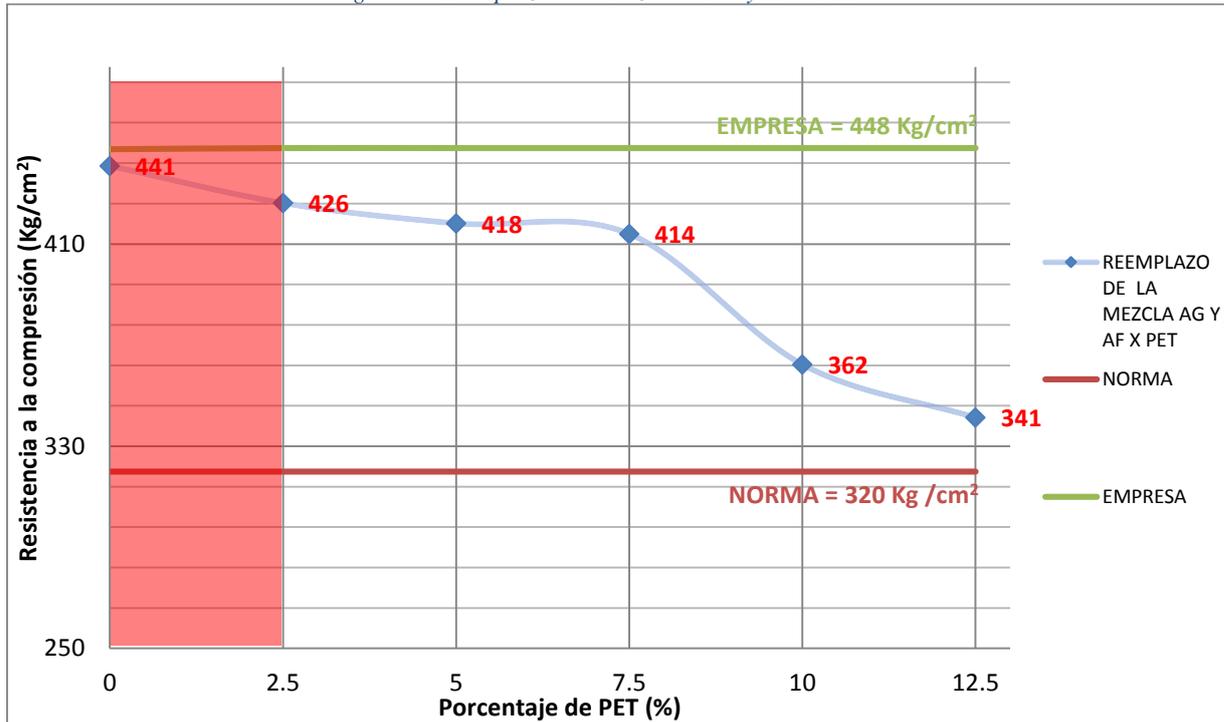
Para este estudio los adoquines fueron ensayados a los 28 días de curado, en el cual, se observa en la Figura N°28 los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión del diseño patrón y del reemplazo del agregado grueso (AG) por PET en dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón obtuvo una resistencia a la compresión de 441 kg/cm². Asimismo, se observa que al reemplazar el AG por 2.5% de PET se obtuvo una resistencia a la compresión de 418 kg/cm², y al reemplazar al 5%, 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron resistencias a la compresión de 394 kg/cm², 388 kg/cm², 375 kg/cm² y 361 kg/cm² respectivamente. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al reemplazar el agregado grueso por porcentajes más altos de PET la resistencia a la compresión va a disminuir. Sin embargo, estos datos no son desfavorables ya que superan la resistencia establecida por la NTP 399.611 de 320 kg/cm². Asimismo, se observa que al reemplazar al agregado grueso por porcentajes menores de PET se mantienen las resistencias altas, acercándose tanto al diseño patrón y a la resistencia promedio de adoquines industriales de 448 kg/cm². De igual forma, a través de la investigación de Morales, 2016, se está contribuyendo que usando un 5% de residuos pet en reemplazo de piedra, la resistencia disminuye en 10% en función a una resistencia patrón de 210 kg/cm²

Figura 29. Reemplazo de agregado fino x PET



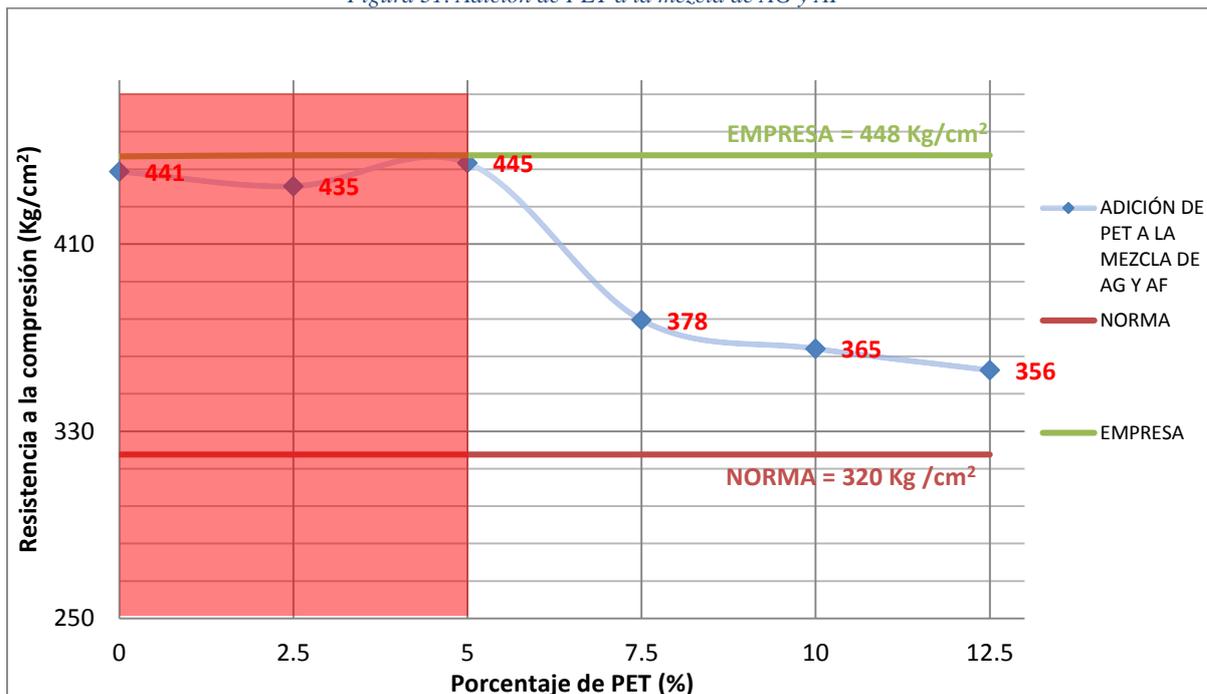
Los adoquines fueron ensayados a los 28 días de curado, en el cual, se observa en la Figura N° 29 los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión del diseño patrón y del reemplazo del agregado fino (AF) por PET en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón obtuvo una resistencia a la compresión de 441 kg/cm². Asimismo, se observa que al reemplazar el AF por 2.5% de PET se obtuvo una resistencia a la compresión de 431 kg/cm², y al reemplazar al 5%, 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron resistencias a la compresión de 420 kg/cm², 415 kg/cm², 409 kg/cm² y 406 kg/cm² respectivamente. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al reemplazar el agregado fino por porcentajes más altos de PET la resistencia a la compresión va a disminuir, pero mantienen una resistencia superior a 400 kg/cm² por lo que pueden considerarse un adoquín tipo II según la NTP 399.611. Asimismo, estos datos son favorables ya que superan la resistencia establecida por la NTP 399.611 de 320 kg/cm² y se acercan a la resistencia promedio de adoquines industriales de 448 kg/cm². De igual forma, a través de la investigación de Becerra, 2019, se está contribuyendo que usando un 8% de residuos pet en reemplazo de arena, la resistencia disminuye en 2.06% em función a una resistencia patrón de 100 kg/cm²

Figura 30. Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET



Los adoquines fueron ensayados a los 28 días de curado, en el cual, se observa en la Figura N°30 los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión del diseño patrón y del reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino (AG y AF) por PET en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón obtuvo una resistencia a la compresión de 441 kg/cm². Asimismo, se observa que al reemplazar la mezcla de AG y AF por 2.5% de PET se obtuvo una resistencia a la compresión de 426 kg/cm², y al reemplazar al 5%, 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron resistencias a la compresión de 418 kg/cm², 414 kg/cm², 362 kg/cm² y 341 kg/cm² respectivamente. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al reemplazar la mezcla de AG y AF por porcentajes de hasta 7.5 % de PET la resistencia a la compresión mantiene una resistencia superior a 400 kg/cm² por lo que pueden considerarse un adoquín tipo II según la NTP 399.611. Asimismo, se observa que a partir del reemplazo de 10% de PET la resistencia disminuye un 14 % pero mantienen una resistencia superior de 320 kg/cm² siendo la resistencia mínima del promedio de 3 adoquines. Por tanto, los adoquines con una resistencia menor a 410 kg/cm² puede clasificarse como un adoquín tipo I de acuerdo a lo establecido por la NTP 399.611.

Figura 31. Adición de PET a la mezcla de AG y AF



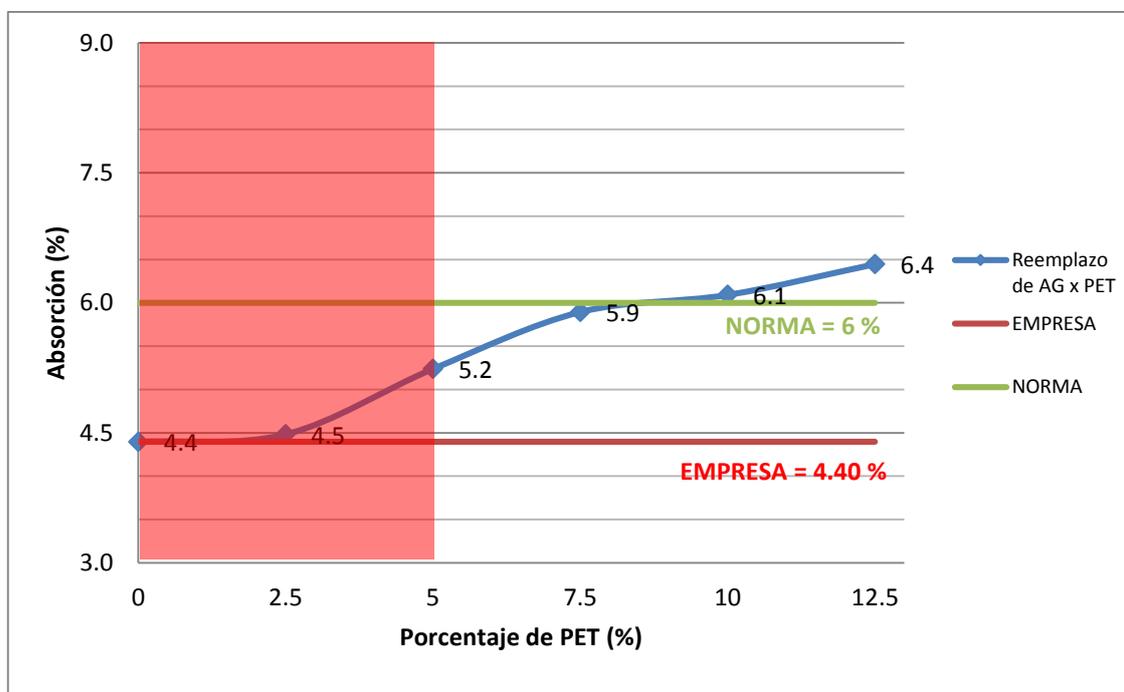
Los adoquines fueron ensayados a los 28 días de curado, en el cual, se observa en la Figura N° 31 los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión del diseño patrón y de la adición a la mezcla de agregado grueso y agregado fino (AG y AF) por PET en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón obtuvo una resistencia a la compresión de 441 kg/cm². Asimismo, se observa que al adicionar 2.5% de PET a la mezcla de AG y AF se obtuvo una resistencia a la compresión de 435 kg/cm², y al reemplazar al 5% se obtuvo una resistencia a la compresión de 445 kg/cm², superando al diseño patrón y teniendo una resistencia cercana a la de 448 kg/cm² proporcionada por adoquines industriales. A la vez, se observa que al adicionar PET al 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron resistencias a la compresión de 378 kg/cm², 365 kg/cm² y 356 kg/cm² respectivamente. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al adicionar PET a la mezcla de AG y AF por porcentajes de hasta 5.0 % de PET la resistencia a la compresión se mantiene y aumenta en un 1.6% al diseño patrón superando a la vez una resistencia superior a 400 kg/cm² por lo que pueden considerarse un adoquín tipo II según la NTP 399.611. Asimismo, se observa que al adicionar el 7.5% de PET la resistencia disminuye aproximadamente un 14 % pero superan la resistencia de 320 kg/cm² siendo la resistencia mínima del promedio de 3 adoquines establecido por la NTP 399.611. Además, se clasificarían como un adoquín tipo I de acuerdo a lo establecido por la norma mencionada y CE 0.10 de pavimentos urbanos.

De igual forma, a través de la investigación de Aguilera y Diestra, 2017, se está contribuyendo a esta investigación dando a conocer que adicionando mayor porcentaje de residuos pet para la fabricación de concreto de 210 kg/cm², la resistencia va a disminuir en un 15.7% usando 1.5% de pet llegando a obtener una resistencia de 177 kg/cm².

Y de acuerdo a Lector y Villareal, 2017, se establece que para el diseño de un concreto de 210 kg/cm² adicionando residuos pet, la resistencia de igual forma no mejora las propiedades, sino, disminuye en 48.28% al adicionar 15% de residuos de pet

Ensayo de Absorción

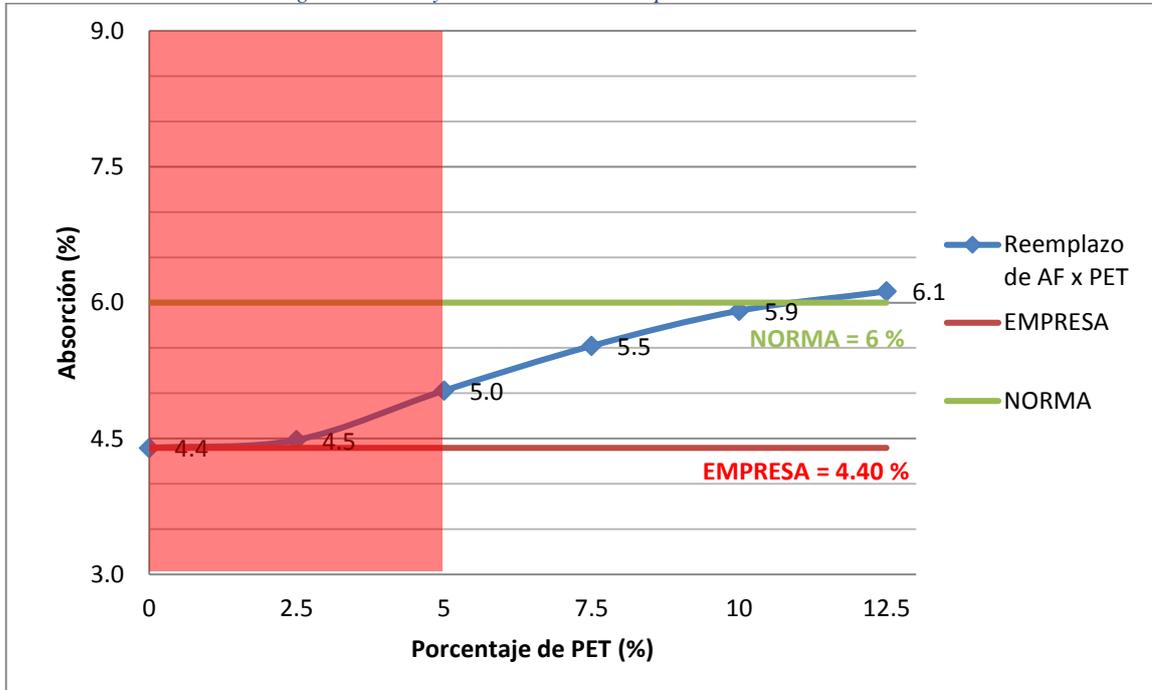
Figura 32. Ensayo de absorción - reemplazo de AG x PET



Se observa en la Figura N°32 los resultados obtenidos del ensayo de absorción del diseño patrón y del reemplazo del agregado grueso (AG) por PET en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón obtuvo una absorción de 4.40%. Asimismo, se observa que al reemplazar el AG por 2.5% de PET se obtuvo una absorción de 4.48%, y al reemplazar al 5%, 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron absorciones de 5.24%, 5.90%, 6.09% y 6.45% respectivamente. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al reemplazar el agregado grueso por porcentajes más altos de PET el porcentaje de absorción va aumentando. Sin embargo, estos datos no son desfavorables ya que se

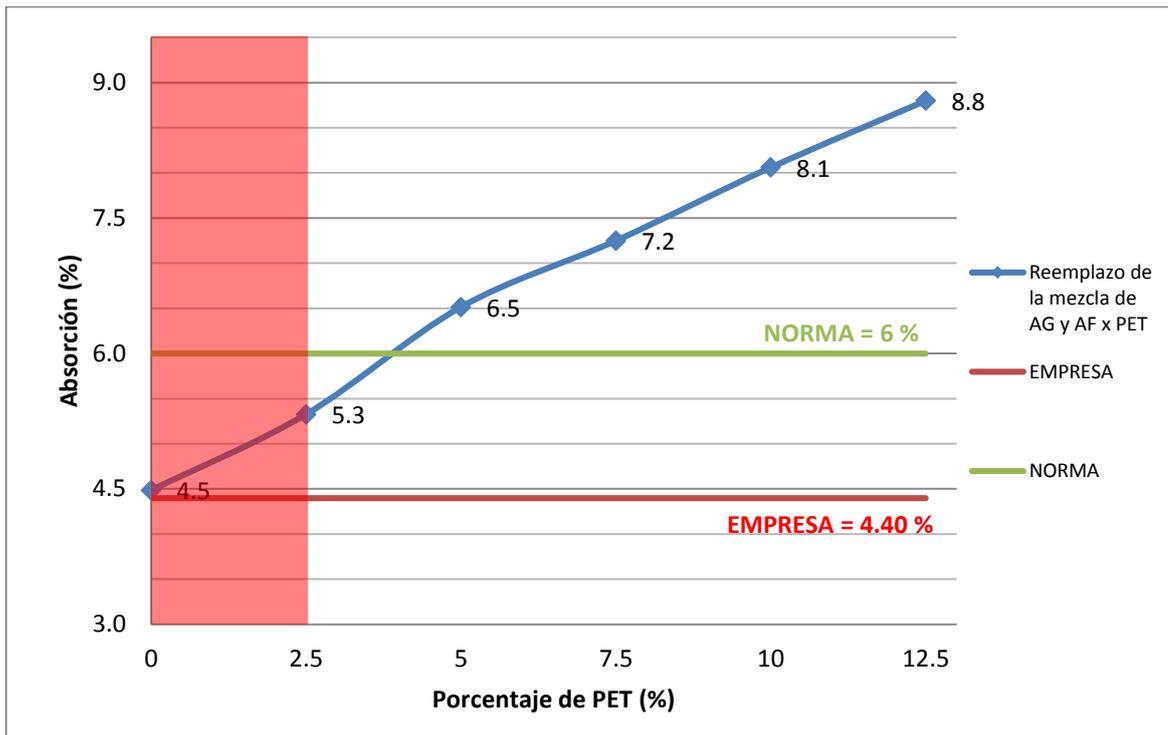
encuentran por debajo del porcentaje de absorción máximo que establece la NTP 399.611 de 7.00%. Asimismo, se observa que al reemplazar al agregado grueso por porcentajes menores de PET se mantiene el porcentaje de absorción, acercándose tanto al diseño patrón y a la absorción promedio de adoquines industriales de 4.40%.

Figura 33. Ensayo de absorción - reemplazo de AF x PET



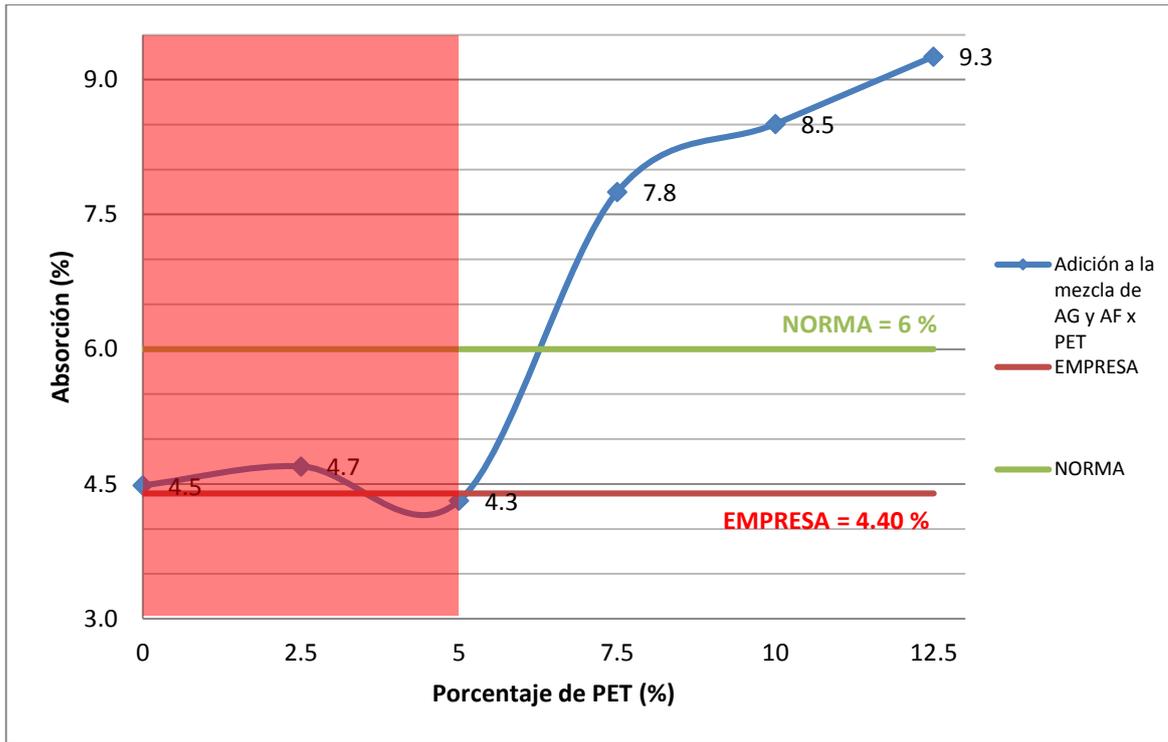
Se observa en la Figura N°33 los resultados obtenidos del ensayo de absorción del diseño patrón y del reemplazo del agregado fino (AF) por PET en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón obtuvo una absorción de 4.40%. Asimismo, se observa que al reemplazar el AF por 2.5% de PET se obtuvo una absorción de 4.48%, y al reemplazar al 5%, 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron absorciones de 5.03%, 5.52%, 5.91% y 6.12% respectivamente. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al reemplazar el agregado fino por porcentajes más altos de PET el porcentaje de absorción va aumentando. Sin embargo, estos datos no son desfavorables ya que se encuentran por debajo del porcentaje de absorción máximo que establece la NTP 399.611 de 7.00%. Asimismo, se observa que al reemplazar al agregado fino por porcentajes menores de PET se mantiene el porcentaje de absorción, acercándose tanto al diseño patrón y a la absorción promedio de adoquines industriales de 4.40%.

Figura 34. Ensayo de Absorción - reemplazo de la mezcla de AF y AG x PET



Se observa en la Figura N°34 los resultados obtenidos del ensayo de absorción del diseño patrón y del reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino (AG y AF) por PET en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón obtuvo una absorción 4.48%. Asimismo, se observa que al reemplazar 2.5% de PET a la mezcla de AG y AF se obtuvo un porcentaje de absorción de 5.33% y al reemplazar al 5% se obtuvo una absorción de 6.51%. Estos datos son favorables ya que se encuentran por debajo del porcentaje de absorción máximo que establece la NTP 399.611 de 7.00%. Sin embargo, se observa que al reemplazar el PET al 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron porcentajes de absorción de 7.25%, 8.06% y 8.80% respectivamente superando el porcentaje de absorción máxima establecida por la NTP 399.611 e incluso a la absorción de 4.40% proporcionada por adoquines industriales.

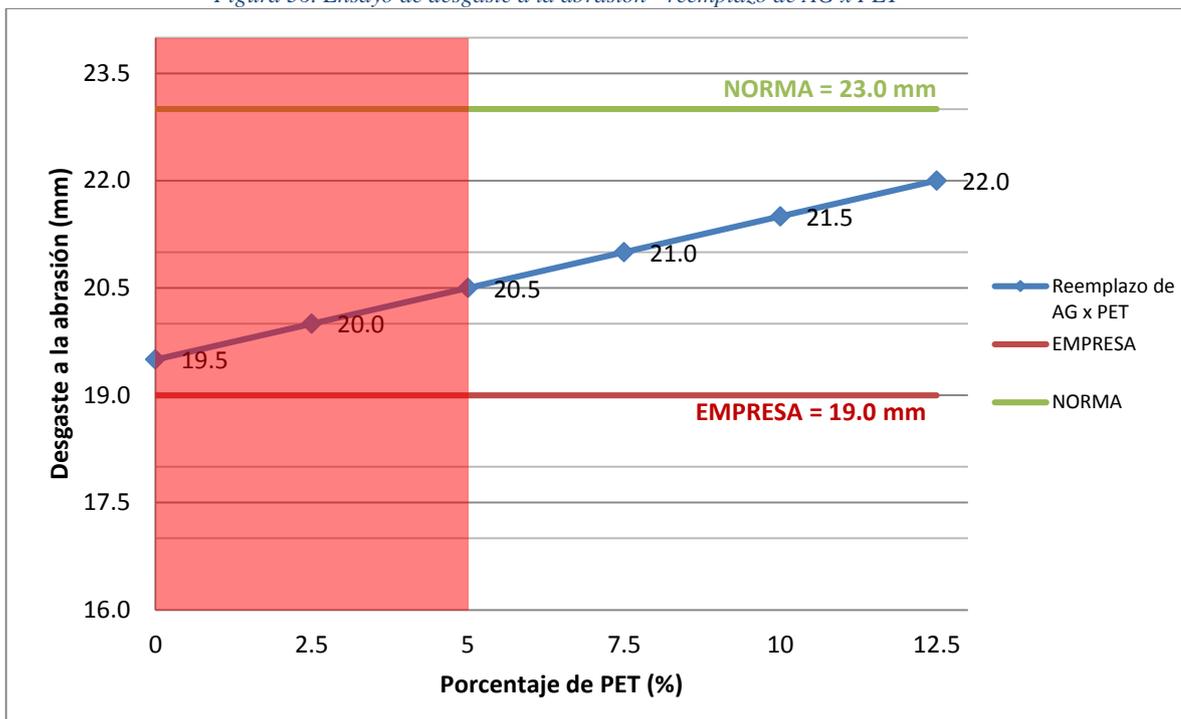
Figura 35. Ensayo de absorción - Adición de PET a la mezcla de AF y AG



Se observa en la Figura N°35 los resultados obtenidos del ensayo de absorción del diseño patrón y de la adición de PET a la mezcla de agregado grueso y agregado fino (AG y AF) en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón obtuvo una absorción 4.48%. Asimismo, se observa que al adicionar 2.5% de PET a la mezcla de AG y AF se obtuvo un porcentaje de absorción de 4.70% y al adicionar 5% de PET se obtuvo una absorción de 4.31%. Estos datos son favorables ya que se encuentran por debajo del porcentaje de absorción máximo que establece la NTP 399.611 de 7.00% e incluso al porcentaje de absorción de 4.40% proporcionada por adoquines industriales al adicionar 5% de PET. Sin embargo, se observa que al reemplazar el PET al 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron porcentajes de absorción de 7.75%, 8.51% y 9.26% respectivamente superando el porcentaje de absorción máxima de 7.00% establecida por la NTP 399.611

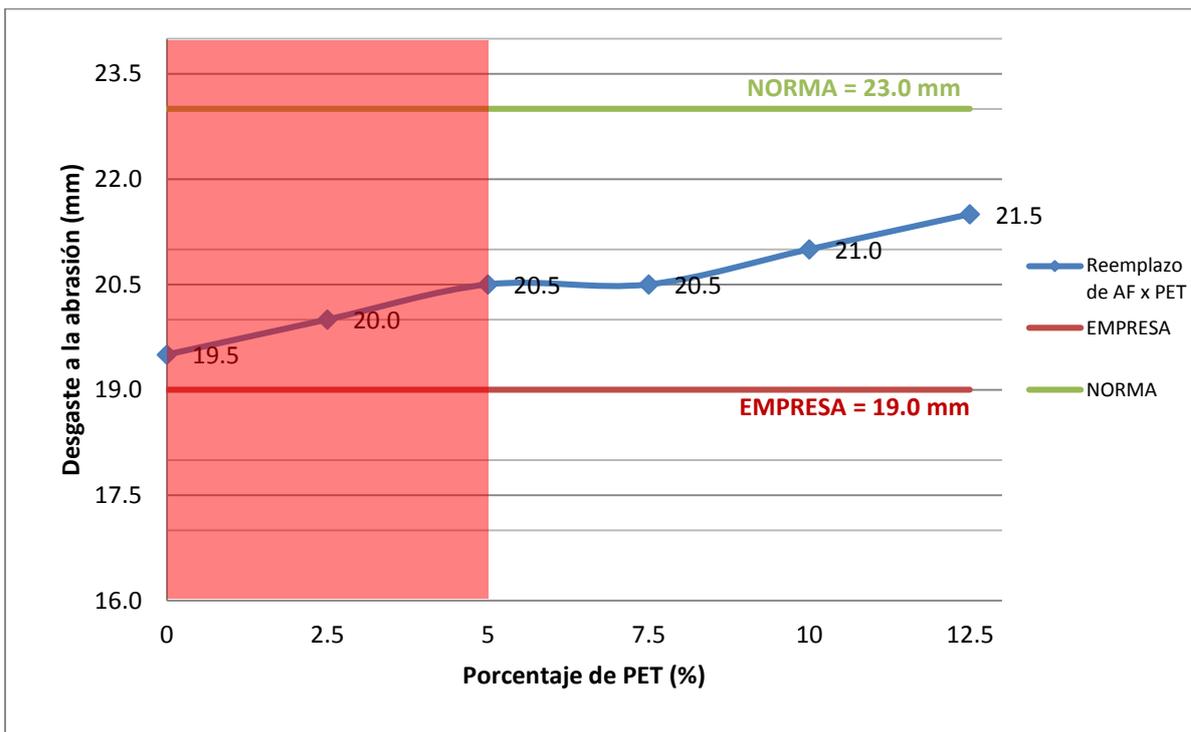
Ensayo de desgaste a la abrasión

Figura 36. Ensayo de desgaste a la abrasión - reemplazo de AG x PET



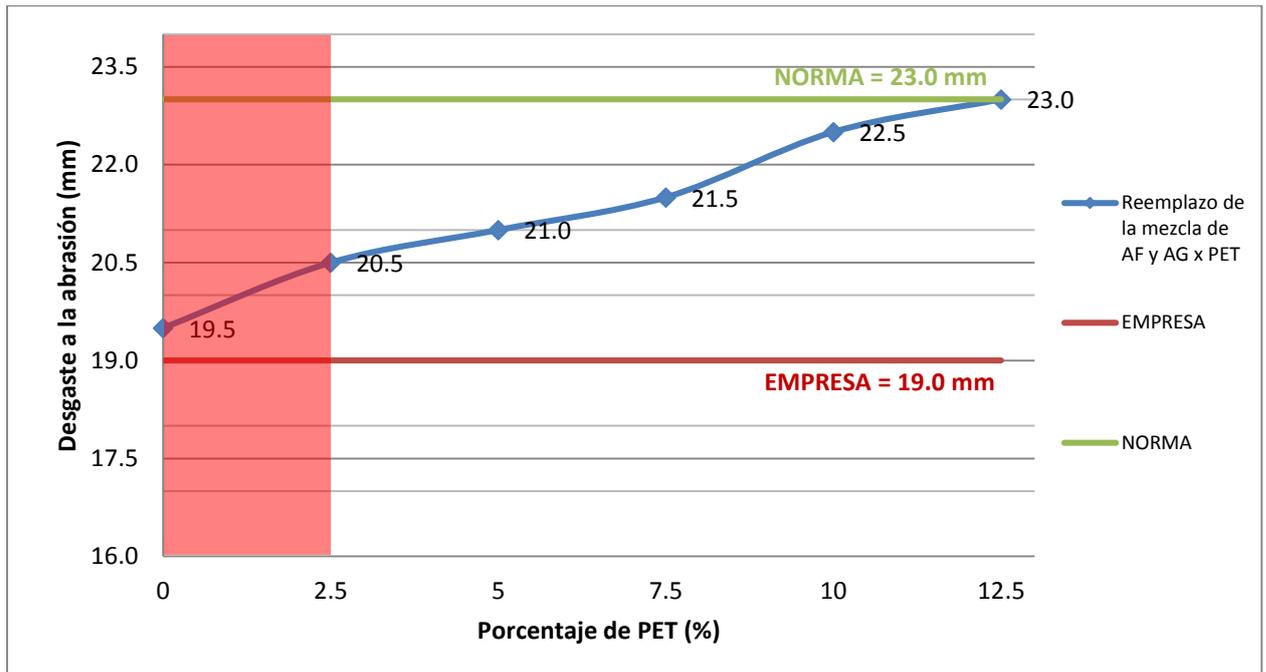
Los adoquines se ensayaron luego de 46 días de curado, en el cual, se observa en la Figura N°36 los resultados obtenidos del ensayo de desgaste a la abrasión mediante la medición del ancho de la huella del diseño patrón y del reemplazo del agregado grueso por PET en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón tuvo un desgaste de 19.5 mm. Asimismo, se observa que al reemplazar 2.5% de PET se obtuvo un desgaste de 20.0 mm y al reemplazar al 5%, 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron desgastes de 20.5 mm, 21.0 mm, 21.5 mm y 22.0 mm respectivamente. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al reemplazar el agregado grueso por porcentajes más altos de PET el ancho de huella va aumentando. Sin embargo, estos datos no son desfavorables ya que se encuentran por debajo del desgaste a la abrasión que establece la NTP 399.611 de ser menor a 23 mm. Asimismo, se observa que al reemplazar al agregado grueso por porcentajes menores de PET se mantiene el ancho de huella, acercándose tanto al diseño patrón y al desgaste de abrasión de adoquines industriales de 19.0 mm.

Figura 37. Ensayo de desgaste a la abrasión - reemplazo de AF x PET



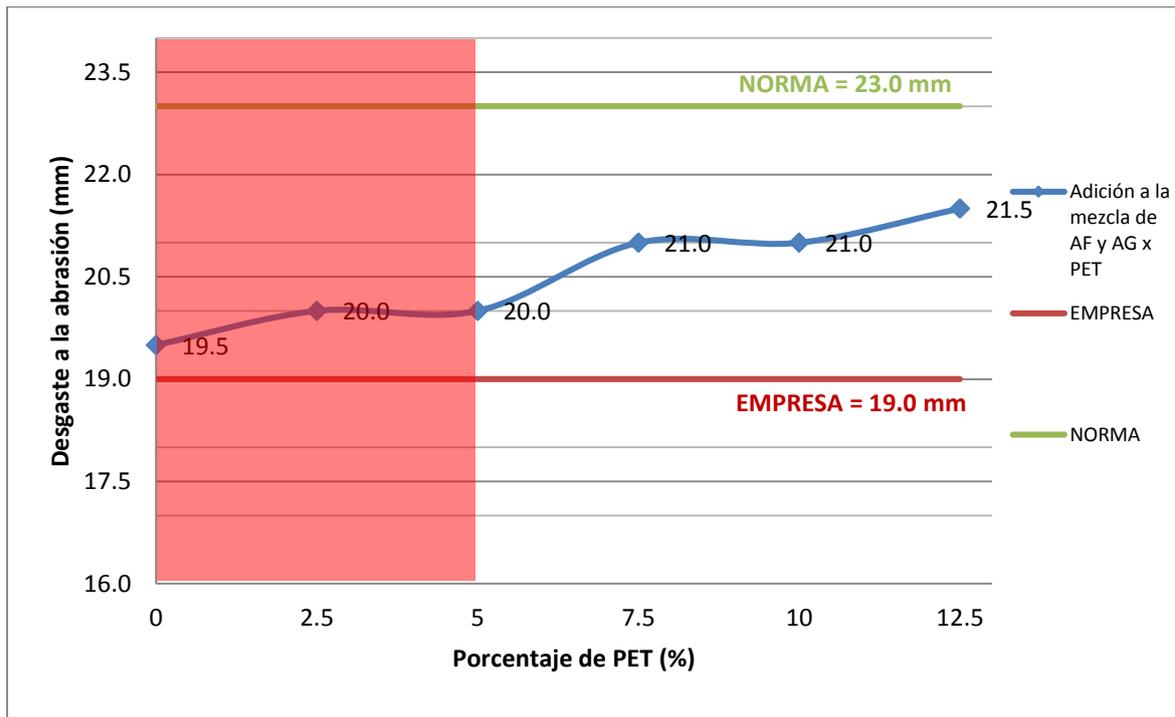
Los adoquines se ensayaron luego de 28 días de curado, en el cual, se observa en la Figura N°37 los resultados obtenidos del ensayo de desgaste a la abrasión mediante la medición del ancho de la huella del diseño patrón y del reemplazo del agregado fino por PET en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón tuvo un desgaste de 19.5 mm. Asimismo, se observa que al reemplazar 2.5% de PET se obtuvo un desgaste de 20.0 mm y al reemplazar al 5% y 7.5% se obtuvieron desgastes de 20.5 mm y al reemplazar 10.0% y 12.5% se obtuvieron un ancho de huella de 21.0 mm y 21.5 mm respectivamente. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al reemplazar el agregado fino en porcentajes más altos de PET el ancho de huella va aumentando. Sin embargo, los datos no son desfavorables ya que se encuentran por debajo del desgaste a la abrasión que establece la NTP 399.611 de ser menor a 23 mm. Asimismo, se observa que al reemplazar al agregado fino por porcentajes menores de PET se mantiene el ancho de huella, acercándose tanto al diseño patrón y al desgaste de abrasión de adoquines industriales de 19.0 mm.

Figura 38. Ensayo de desgaste a la abrasión - reemplazo de la mezcla de AF y AG x PET



Los adoquines fueron ensayados a los 28 días de curado, en el cual, se observa en la Figura N°38 los resultados obtenidos del ensayo de desgaste a la abrasión mediante la medición del ancho de la huella del diseño patrón y del reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino (AG y AF) por PET en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón tuvo un ancho de la huella de desgaste de 19.5 mm. Asimismo, se observa que al reemplazar 2.5% de PET a la mezcla de AG y AF se obtuvo un desgaste de 20.5 mm y al reemplazar al 5%, 7.5%, 10.0% y 12.5% se obtuvieron desgastes de 21.0 mm, 21.5 mm, 22.5 mm y 23.0 mm respectivamente. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al reemplazar porcentajes más altos de PET el ancho de huella va aumentando. A la vez, estos resultados se encuentran dentro de los parámetros del desgaste a la abrasión de adoquines que establece la NTP 399.611 de ser menor igual a 23 mm. Asimismo, se observa que al reemplazar porcentajes menores de PET se mantiene el ancho de huella, acercándose al desgaste de abrasión de adoquines industriales de 19.0 mm. De igual forma, a través de la investigación de (Poveda, Granja, Hidalgo y Ávila, 2015, se está contribuyendo que usando un 5% de residuos pet en reemplazo de piedra y arena, la resistencia a la abrasión disminuye en 1.41% en función a una resistencia patrón de 28.7 mm

Figura 39. Ensayo de desgaste a la abrasión - adición a la mezcla de AF y AG x PET



Los adoquines fueron ensayados a los 28 días de curado, en el cual, se observa en la Figura N°39 los resultados obtenidos del ensayo de desgaste a la abrasión mediante la medición del ancho de la huella del diseño patrón y de la adición de PET a la mezcla de agregado grueso y agregado fino (AG y AF) en las diversas dosificaciones (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%). En esta figura se observa que el adoquín patrón tuvo un ancho de la huella de desgaste de 19.5 mm. Asimismo, se observa que al reemplazar 2.5% y 5% se obtuvieron desgastes de un ancho de huella de 20.0 mm y al reemplazar 7.5% y 10.0% se obtuvo un ancho de huella de 21.0 mm y al 12.5% se obtuvo una huella de 21.5 mm. Como se puede apreciar en estos resultados, se establece que al reemplazar porcentajes más altos de PET el ancho de huella va aumentando. Sin embargo, los resultados se encuentran dentro de los parámetros del desgaste a la abrasión de adoquines que establece la NTP 399.611 de ser menor igual a 23 mm.

Análisis estadístico

Tabla 61. Prueba de normalidad – SPSS

Reemplazo de AG x PET			
	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	,142	42	,032
Reemplazo de AF x PET			
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	,103	42	,200*
Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET			
Absorción (%)	,184	42	,001
Adición de PET a la mezcla AG y AF			
Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	,251	42	,000

En los cuatro estudios de este proyecto se realizó la prueba de normalidad mediante el programa SPSS. En este análisis, el método SPSS por tener valores muy cercanos, no muestra una variación susceptible con el cual se pueda observar el indicativo de que hay un cambio. En mi estudio tengo tres variables, pero la variable que mejor responde es la compresión, donde se puede ver que hay un cambio en el reporte de la normalidad, mostrando una significancia mayor a 0.05, en las otras el comportamiento es bajo. Por ende, en todo estudio no se busca que todas las propiedades se vean alteradas ya que puede que una se altere más que las otras.

Tabla 62. Análisis de la prueba Fisher - ANOVA

Ensayo	Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F. Experimental	F. Teórico
Resistencia a la compresión	A x B	15	35610.63	2374.04	114.74	1.67
Absorción	A x B	15	19.26	1.28	773.51	1.67
Resistencia a la abrasión	A x B	15	79.99	5.33	27.82	1.67

Para las tres variables se realizó la prueba de Fisher – ANOVA. En este análisis, se establece que, para aceptar la hipótesis alterna, el valor de la F. experimental debe ser mayor al F. teórico. En mi estudio las tres variables, cumplen con esta prueba, por ende, se acepta la hipótesis alterna.

Análisis de costos

Tabla 63. Comparación de precios para la producción de 1m² de adoquines

DESCRIPCIÓN	%PET	PRECIO S/.	UTILIDAD
Diseño patrón	0	S/.19.22	S/ 0.00
Reemplazo de AG x PET	5	S/.19.18	S/ 0.04
Reemplazo de AF x PET	5	S/.19.21	S/ 0.01
Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET	2.5	S/.19.19	S/ 0.03
Adición a la mezcla de AG y AF x PET	5	S/.19.61	-S/ 0.38

Tabla 64. Comparación de precios de venta con el mercado local, por unidad y por 1m² de adoquines

DESCRIPCIÓN	% PET	PRECIO S/. Por unidad Ad. Ecológico	PRECIO S/. por unidad del mercado	PRECIO (S/.) de 1 m ² (50 und) Ad. Ecológico	PRECIO (S/.) de 1 m ² (50 und) del mercado
Diseño patrón	0	S/.0.80		40	
Reemplazo de AG x PET	5	S/.0.70		35	
Reemplazo de AF x PET	5	S/.0.70		35	
Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET	2.5	S/.0.70	S/. 0.90	35	S/. 45.00
Adición a la mezcla de AG y AF x PET	5	S/.0.70		35	

Los adoquines fabricados con PET son más económicos, teniendo un valor de venta en comparación con los tradicionales de S/. 0.90; considerando que el precio neto de los adoquines en estudio es de S/. 0.40 teniendo una ganancia de S/.0.30 puesta en un radio de 5 Km. Asimismo, en relación al precio de costo para la producción de 1m² de adoquines, se estima que el precio es de un promedio S/. 20.00, teniendo una ganancia de S/. 15.00 ya que la venta sería de S/. 35.00. Siendo mucho más económicos a los tradicionales, ya que la venta de 1m² de los adoquines tradicionales en promedio es de S/. 45.00.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se logró hacer un buen diseño de mezcla de 320 Kg/cm^2 manteniendo y mejorando las propiedades de un adoquín tipo I usando una relación $a/c = 0.30$ reemplazando y adicionando (2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%) de residuos triturados de tereftalato de polietileno cumpliendo los requisitos de la NTP 399.611.
- El óptimo porcentaje de residuos de tereftalato de polietileno es de 5% para estudios en el que se adicione o en el que se reemplace por agregado grueso o por agregado fino y de 2.5% para el reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino debido a que los resultados y los acabados del producto son mucho mejores.
- La resistencia a la compresión disminuye al usar residuos de tereftalato de polietileno cuando se reemplaza por agregado grueso, por agregado fino, por la mezcla de agregado grueso y agregado fino y cuando se adiciona a la mezcla, obteniéndose valores máximos de 394 Kg/cm^2 , 420 Kg/cm^2 , 426 Kg/cm^2 y 445 Kg/cm^2 respectivamente. Superando en todos los estudios la resistencia mínima de 320 Kg/cm^2 que establece la NTP para adoquines tipo I.
- El porcentaje de absorción del adoquín aumenta al usar residuos de tereftalato de polietileno cuando se reemplaza por agregado grueso, por agregado fino, por la mezcla de agregado grueso y agregado fino y cuando se adiciona a la mezcla, obteniéndose valores máximos de 5.2%, 5.0%, 5.3% y 4.3% respectivamente. Superando en todos los estudios la absorción máxima de 6% que establece la NTP para adoquines tipo I.
- Para el desgaste a la abrasión, se determinó que el ancho de huella del adoquín aumenta al usar residuos de tereftalato de polietileno cuando se reemplaza por agregado grueso, por agregado fino, por la mezcla de agregado grueso y agregado fino y cuando se adiciona a la mezcla, obteniéndose valores máximos de 20.5 mm, 20.5 mm, 20.5 mm y 20.0 mm respectivamente. Superando en todos los estudios el desgaste máximo de 23.0 mm que establece la NTP y la NTE INEN 3040 para adoquines tipo I.
- Las variables independientes si influyen en las variables dependientes debido a que se supera la significancia de 0.05 de la prueba de normalidad y a la vez se supera el F. teórico de 1.67 de la prueba SPSS.

- Los adoquines fabricados con residuos PET son más económicos, teniendo un valor de venta de S/. 0.70 en comparación con los tradicionales de S/. 0.90; considerando que el precio neto de los adoquines en estudios es S/. 0.40 con una ganancia de S/. 0.30 céntimos puesta en un radio de 5 Km
- La venta de 1m² adoquines fabricados con residuos PET son más económicos, teniendo un valor de venta de S/. 35.00 en comparación con los tradicionales de S/. 45.00; considerando que el precio neto para la producción de los adoquines en estudios es en promedio S/. 20.00; teniendo una ganancia de S/. 15.00 puesta en un radio de 5 Km

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda para próximas investigaciones con residuos de PET, realizar ensayos químicos, donde el prefabricado esté expuesto a condiciones más agresivas y así poder observar el efecto que tendría.
- Se propone experimentar la acción de los residuos de PET de tamaño menor a 5 mm y además de ver el efecto que tendría al utilizarlo en polvo como reemplazo del cemento para optimizar la reutilización de este desecho industrial, reduciendo a la vez los costos de insumos.

REFERENCIAS

- ACI. 318-77 Building Code Requirements for Reinforced Concrete American Concrete Institute, Detroit 1977.
- ACI Committee 363 State of the Art Report High-Strength Concrete. ACI Journal 8181 (4), pp. 364-411.
- Aguilera, G. y Diestra, V. (2017) realizaron la investigación “Influencia de la fibra de PET a partir de botellas recicladas sobre el comportamiento mecánico en un concreto aplicado en prefabricados”. Tesis, Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Trujillo.
- Alayo, R., Esquivel, D., & Mariño, A. (2015). *Caracterización de agregados para concreto de 2 canteras en la provincia de Trujillo*. Trujillo.
- Altamirano, L. (2007). *Pavimentos Rígidos - Metodología de Medición, Posibles Causas de deterioro y reparaciones*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ambiente, M. d. (Julio de 2004). Conceptos básicos del Concreto. 1 - 7. Instituto mexicano del cemento y del concreto. Recuperado el 30 de Mayo de 2018
- Andina. (28 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://andina.pe/agencia/>
- Arangurí, G. (7 de Noviembre de 2015). La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad. *In Crescendo*, 11 - 18.
- Arrieta, J., & Peñaherrera, E. (2001). *Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora*. Lima - Perú.
- Asian machinery U.S.A., I. (4 de Setiembre de 2020). Obtenido de <https://asianmachineryusa.com>
- Becerra, G. (2019). Reciclado de residuos plásticos PET en dosificación de mezclas de concreto para mitigar su impacto ambiental en la ciudad de Tacna (Tesis de maestría). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Tacna, Perú.
- Bloqueras Perú S.A.C. (4 de Setiembre de 2020). Obtenido de <https://www.bloquerasperu.com>
- Cárdenas, E., Albiter, Á., & Jaimes, J. (julio-octubre de 2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. *CIENCIA ergo-sum*, 24 - 2 , 173-180.
- Cementos pacasmayo. (4 de Setiembre de 2020). Obtenido de <https://www.cementospacasmayo.com.pe>
- CEMEX. (2019). *CEMEX*.
- Contreras, C., & Peña, J. (2017). *Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla*. Tesis, Universidad Privada del Norte, La Libertad, Trujillo.

- Cordova, R. (2016). *Determinación del grado de permeabilidad y evaluación de la resistencia a la colmatación, haciendo uso de aditivos de las marcas sika y euco para la fabricación de concreto poroso en la ciudad de Arequipa*. Tesis, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Arequipa.
- Curi, E., & Guizado, A. (2017). *Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control*. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Di Marco, R.O. (2015). Diseño y elaboración de un sistema de adoquines de bajo costo y material reciclado para construcciones en núcleos rurales. *Revista ESAICA*, Vol.1 n°1, pp. 30-38.
- Echeverría, E. (2017). *Ladrillos de concreto con plástico pet reciclado*. Cajamarca - Perú.
- Espresac. (20 de Setiembre de 2019). Obtenido de <https://espresac.com.pe/>
- Fernández, E. (2017). *Evaluación de las proporciones del residuo PVC de tapicería sobre la resistencia a la compresión, flexión, asentamiento y costos en un concreto para pavimento rígido*. Tesis, Universidad Privada del Norte, La Libertad, Trujillo.
- Fernández, R., & Navas, A. (2011). Concreto permeable - Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. En *Infraestructura Vial* (Vol. 24, págs. 40 - 49).
- Hachi, J. y. (Marzo de 2010). Estudio de factibilidad para reciclar envases de plásticos de polietileno de teraftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil. Ecuador.
- Hernández, F. (2004). Propiedades del concreto. En I. m. concreto (Ed.), *Conceptos básicos del concreto* (págs. 9 - 15). México.
- INEN 3040, Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). *Adoquines de Hormigón, requisitos y métodos de ensayo*. Norma, Quito - Ecuador.
- Instituto del cemento y del concreto de Guatemala. (28 de Setiembre de 2016). Obtenido de <https://www.iccg.org.gt/>
- Jaimes, V. (2018). Resistencia de adoquines de concreto $F^C = 320 \text{ Kg/cm}^2$, sustituyendo el cemento en 15% y 30% por una combinación de cáscara de huevo y vidrio molido (Tesis de grado) Universidad San Pedro, Huaraz, Perú
- Laredo, R., & Jeans, Z. (2016). *Resistencia a la compresión y el asentamiento de un concreto modificado cuando reemplaza el contenido de agregado fino y agregado grueso por hormigón de la cantera San Antonio*. Tesis, Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Trujillo.
- Léctor, M. & Villarreal, E. (2017). Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de nuevo (Tesis de grado). Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú.

- López, J. (2004). *Porosidad del concreto*. Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- López, L. C. (2014). *Estudio de factibilidad en diferentes escenarios de mercado para la implementación de una empresa de fabricación de pavimentos en concretos de alta porosidad*. Tesis, Universidad San Buenaventura, Cali.
- Ministerio de transportes. (18 de Diciembre de 2018). Obtenido de <https://www.gob.pe/mtc>
- Ministerio del Ambiente. (Mayo de 2016). *Manejo de residuos de construcción y demolición*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/MANEJO-DE-RESIDUOS-DE-CONSTRUCCI%C3%93N-21-x-15-ok-2.pdf>
- Montiel, J. L. (2017). *Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales*. México.
- Morales Carhuayano, M. R. (2016). Estudio del comportamiento del concreto incorporando PET reciclado.
- Moscoso, B. (2019). *Reciclado de residuos plásticos PET en dosificación de mezclas de concreto para mitigar su impacto ambiental en la ciudad de Tacna*. Tesis, Tacna - Perú.
- Mulligan, M. (2005). *Attainable compressive strength of pervious concrete paving systems*. Tesis, University of Central Florida, Orlando, Florida. Obtenido de <http://stars.library.ucf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1472&context=etd>
- Norma Técnica Peruana. (2010). *NTP 399.611 Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos*.
- Pastor, A., Salazar, J., Seminario, R., Tineo, A. y Zapata, J. (14 de Noviembre de 2015). Diseño de planta productora de adoquines a base de cemento y plástico reciclado. Piura.
- Pérez. (2012). Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto. *INGENIUM*, 116-125.
- Pérez, Á. (26 de Julio - Diciembre de 2012). Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración. *Ingenium*(26), 116 - 125.
- Porrero, J (Ed.3). (2014). *Manual del concreto estructural, Caracas, Venezuela*.
- Poveda, R., Granja, V., Hidalgo, D., & Ávila, C. (2015). Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al. *Revista politécnica*, 1-10.
- Quiroz, M., & Salamanca, L. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de tecnología del hormigón*. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Rivera, G. (2013). *Concreto simple*. Bogotá, Colombia.

- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima. Perú.
- Robayo, R., Mejía de Gutiérrez, R., & Mulford, A. (2016). Producción de elementos constructivos a partir de residuos de ladrillo activados. *Facultad de Ingeniería*, 25(43), 21 - 30.
- Rodríguez, J. (2005). *Estudio de las características físicas mecánicas del concreto en clima cálido*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Lima.
- Sánchez, J. E. (2004). *Aplicación para Polietileno Tereftalato (PET) reciclado*. Guayaquil - Ecuador.
- Segat. (18 de Diciembre de 2019). Obtenido de <https://www.segat.gob.pe/>
- Sistema de información de gestión de residuos sólidos. (28 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://sigersol.minam.gob.pe/>
- Taus, V. (2003). *Determinación de la absorción capilar en hormigones elaborados con agregados naturales y reciclados*.
- Toro, J. E. (2004). *Aplicación para polietileno tereftalato (PET) reciclado*. Tesis, Guayaquil - Ecuador.
- Vergara, A. (2015). *Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología pci tramo quichuay -ingenio del km 0+000 al km 1+000 2014*. Tesis, Huancayo - Perú.
- Vidau , E., & Vidau, I. (2015). Método mecánico para la compactación del concreto: la vibración. *Revista Construcción y Tecnología* 4(11), 22-25.

APÉNDICE

1. Análisis granulométrico del Agregado Grueso y Agregado Fino NTP 400.012

Tabla 65. Análisis granulométrico del agregado grueso

Tamiz	W. tamiz	W. tamiz + m	W. retenido	% W. retenido	% W. Peso acumulado	% Que pasa	Huso 7 Límite inferior	Límite superior
1"	176.63	176.63	0.00	0	0	100	100	100
3/4"	171.24	178.37	7.13	1	1	99	100	100
1/2"	204.32	225.42	21.10	2	3	97	90	100
3/8"	186.51	454.70	268.19	27	30	70	40	70
4	189.90	786.68	596.78	60	89	11	0	15
8	171.79	171.79	0.00	0	89	11	0	5
16	127.70	127.70	0.00	0	89	11	0	5
30	123.82	123.82	0.00	0	89	11	0	5
50	122.75	122.75	0.00	0	89	11	0	5
100	114.55	114.55	0.00	0	89	11	0	5
200	248.69	353.44	104.75	10	100	0	0	5
BC	218.45	219.57	1.12	0	100	0	0	5
999.07				100	Tamaño máx.	1/2"		
					Tamaño máx. nominal	3/8"		
					Módulo de finura	5.7		

Figura 40. Curva granulométrica del agregado grueso

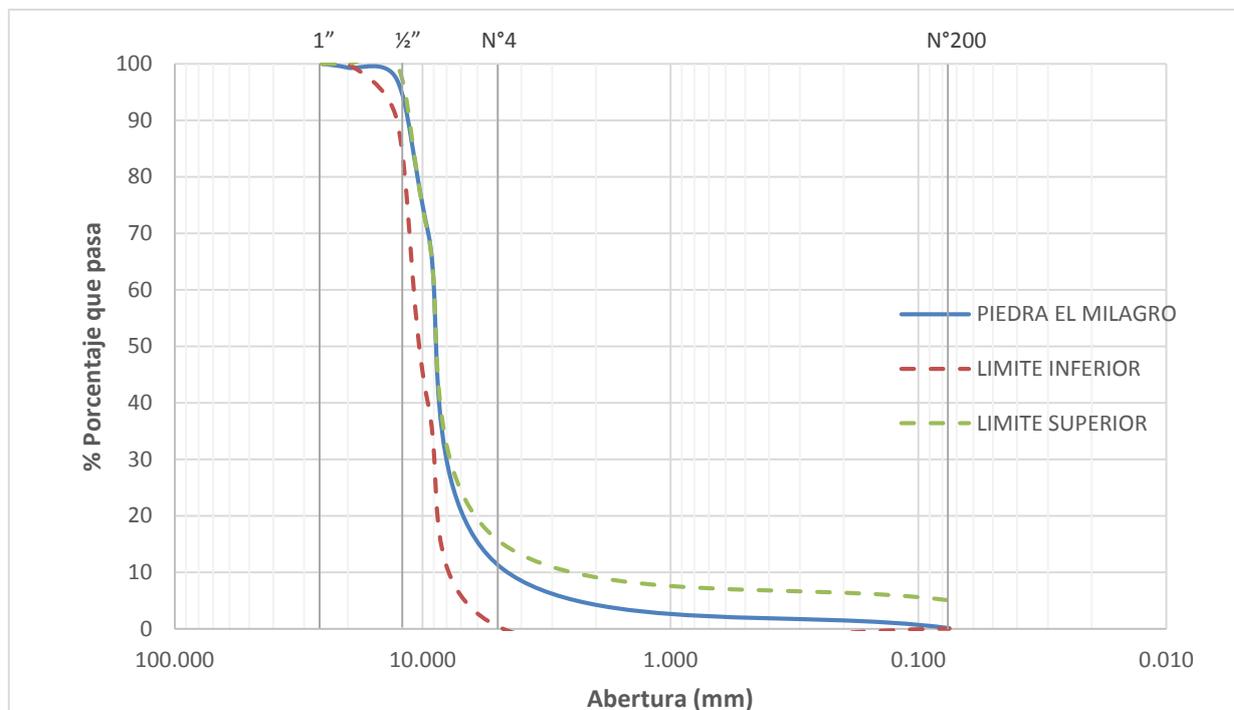
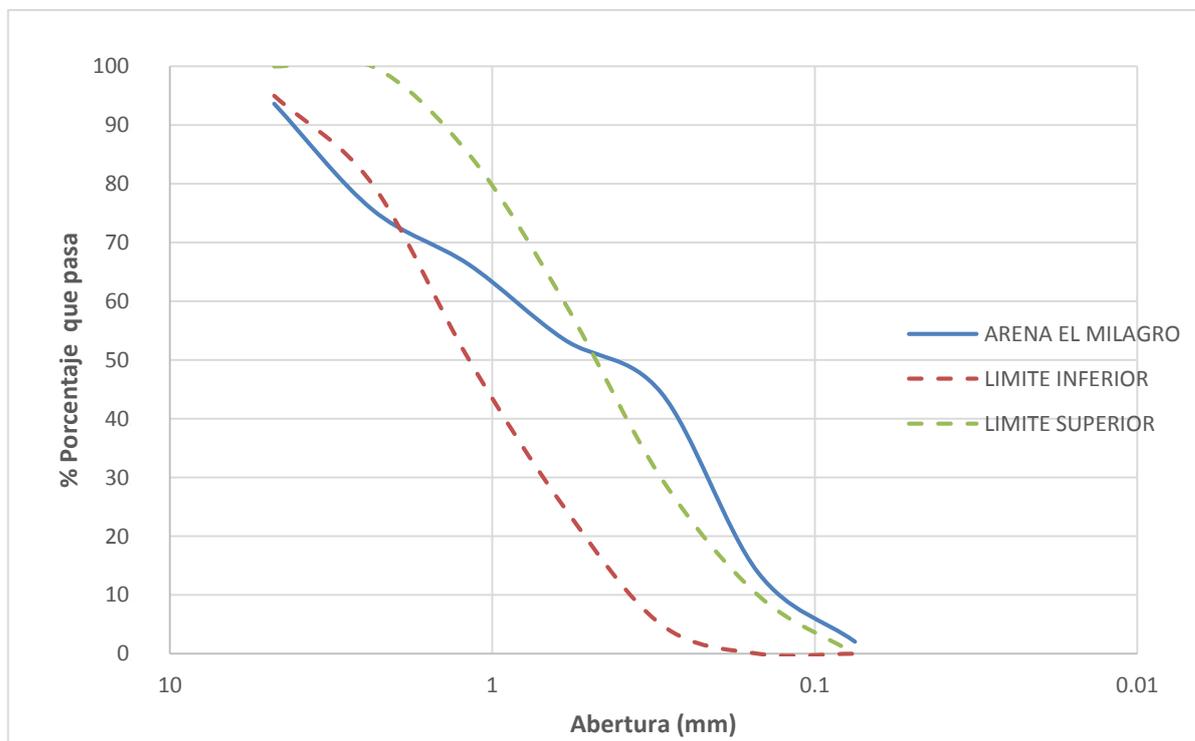


Tabla 66. Análisis granulométrico del agregado fino

Tamiz	W.tamiz	W. tamiz + m	W. retenido	% W. retenido	% W. Peso acumulado	% Que pasa	Límite Inferior	Límite superior
1"	176.63	176.63	0.00	0	0	100	100	100
3/4"	171.24	171.24	0.00	0	0	100	100	100
1/2"	204.32	204.32	0.00	0	0	100	100	100
3/8"	186.51	186.51	0.00	0	0	100	100	100
4	189.68	371.78	55.20	6	6	94	95	100
8	171.72	336.35	164.63	16	22	78	80	100
16	127.74	213.40	85.66	9	31	69	50	85
30	123.89	249.18	125.29	13	43	57	25	60
50	122.83	214.09	91.26	9	52	48	5	30
100	114.56	466.12	351.56	35	87	13	0	10
200	246.40	355.04	108.64	11	98	2	0	0
BC	226.29	242.63	16.34	2	100	0		
				998.58	100	Módulo de finura	2.4	

Figura 41. Curva granulométrica del agregado fino



2. Contenido de humedad del Agregado Grueso y Agregado Fino NTP 339.185

Tabla 67. *Contenido de humedad del agregado grueso y agregado fino*

Contenido de humedad	Agregado grueso			Agregado fino		
	M 01	M 02	M 03	M 01	M 02	M 03
Peso de tara (g)	47.02	45.53	46.23	12.00	10.98	11.01
Peso de tara + muestra Nat. (g)	141.61	141.68	141.69	52.07	51.03	51.18
Peso de tara + muestra Seca (g)	140.96	141.02	141.05	51.90	50.88	50.91
Ph (g)	94.59	96.15	95.46	40.07	40.05	40.17
Ps (g)	93.94	95.49	94.82	39.90	39.90	39.90
Humedad (%)	0.7	0.7	0.7	0.4	0.4	0.7
Humedad prom (%)	0.7			0.5		

3. Peso unitario suelto del Agregado Grueso y Agregado Fino NTP 400.017

Tabla 68. *Peso Unitario Suelto del agregado grueso y agregado fino*

Peso unitario suelto	Agregado grueso			Agregado fino		
	M 01	M 02	M 03	M 01	M 02	M 03
Volumen Recipiente (m ³)	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Peso de recipiente Kg (T)	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
Peso de recipiente + muestra Kg (Gs)	11.753	11.729	11.763	13.540	13.551	13.553
PUSS (Kg/m ³)	1483	1479	1484	1729	1730	1731
PUSS prom (Kg/m³)	1482			1730		

4. Peso unitario compactado del Agregado Grueso y Agregado Fino NTP 400.017

Tabla 69. *Peso unitario compactado del agregado grueso y agregado fino.*

Peso unitario compactado	Agregado grueso			Agregado fino		
	M 01	M 02	M 03	M 01	M 02	M 03
Volumen Recipiente (m ³)	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Peso de recipiente Kg (T)	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
Peso de recipiente + muestra Kg (Gs)	12.382	12.412	12.482	14.931	14.832	14.880
PUCS (Kg/m ³)	1569	1573	1583	1921	1907	1914
PUCS prom (Kg/m³)	1575			1914		

5. Peso específico y absorción del Agregado Grueso y Agregado Fino NTP 400.021

Tabla 70. *Peso específico y absorción del agregado Grueso*

Peso específico	Und	M 01	M 02	M 03	
Peso Saturado (B)	g	500.16	500.01	500.04	
Peso suspendido (C)	g	310.00	309.00	308.00	
Peso Seco (A)	g	490.63	490.59	490.87	PROMEDIO
Peso específico seco (Pem)	g/cm ³	2.58	2.57	2.56	2.57
Peso específico SSS	g/cm ³	2.63	2.62	2.60	2.62
Peso específico aparente	g/cm ³	2.72	2.70	2.68	2.70
Absorción (A%)	%	1.94	1.92	1.87	1.9

Tabla 71. *Peso específico y absorción del agregado fino*

Peso específico	Und	M 01	M 02	M 03	
Peso de fiola (M)	g	185.95	166.97	172.67	
Peso de fiola + agua (B)	g	684.15	664.79	669.80	
Peso de fiola + muestra SSS (J)	g	676.45	650.50	657.13	
Peso de fiola + muestra SSS + agua (C)	g	993.45	970.23	976.08	
Peso muestra seca (A)	g	476.96	472.47	473.27	PROMEDIO
Peso específico seco (Pem)	g/cm ³	2.63	2.65	2.66	2.65
Peso específico SSS (Pem)	g/cm ³	2.71	2.72	2.72	2.71
Peso específico aparente (Pem)	g/cm ³	2.84	2.83	2.83	2.84
Absorción (A%)	%	2.84	2.34	2.36	2.5

5. Porcentaje de vacíos del Agregado Grueso y Agregado Fino NTP 400.017

Tabla 72. *Porcentaje de vacíos del agregado grueso*

Porcentaje de vacíos	Und	Agregado grueso			Agregado fino		
		M 01	M 02	M 03	M 01	M 02	M 03
Peso unitario compactado seco (PUCS)	kg/m ³	1569	1573	1583	1921	1907	1914
Peso específico seco (Pem)	kg/m ³	2580	2568	2556	2632	2653	2656
Vacíos	%	39	39	38	27	28	28
Promediosvacíos	%		39			28	

6. Desgaste a la abrasión del agregado grueso NTP 400.019

Tabla 73. Desgaste a la abrasión del agregado grueso

Desgaste a la abrasión	Und	M 01	M 02	M 03
Peso molde	g	1250	1250	1250
Peso inicial (muestra) + peso molde	g	6225	6221	6229
Peso inicial (muestra)	g	5000	5000	5000
Peso final (muestra seca) + peso molde	g	5430	5421	5425
Peso final (muestra seca)	g	4180	4171	4175
Desgaste por abrasión	%	16	17	17
Promedio	%		17	

7. Análisis químico del agregado grueso y agregado fino NTP 400.042

Tabla 74. Análisis de Ph y conductividad del agregado grueso

Ensayo	Und	Norma	Agregado grueso		Agregado fino	
			Resultado	Clasificación	Resultado	Clasificación
pH		NTP 400.042	8.1	Básico o ligeramente alcalino	7.8	Debilmente básica
Conductividad	(dS/m)	NTP 400.042	0.20	Suelo libre de sales	0.39	Suelo libre de sales

8. Ensayos

8.1. Resistencia a la compresión

Tabla 75. Resistencia a la compresión del reemplazo de agregado grueso x PET, con respecto a la desviación estándar y varianza

% PET	Muestra	Dimensiones (cm)			Resistencia (Kg/cm ²)		Desviación estándar (σ)			Coeficiente de variación (%)	Tipo/ Espesor (cm)	Categoría			Observación			
		Largo	ancho	altura	Fuerza (KN)	f'c máx	Prom.	(σ)	Lim. Superior (Kg/cm ²)			Lim. Inferior (Kg/cm ²)	a	b	c	Excelente	Regular	Bajo
EMPRESA	M 01	20.0	10.0	6.0	875.65	446.01					II - 6	X			X			
	M 02	20.0	10.0	6.0	881.60	449.49					II - 6	X			X			
	M 03	20.1	10.0	6.0	887.80	450.62					II - 6	X			X			
	M 04	20.0	10.0	6.0	878.05	445.68	448	2.29	449.83	445.25	0.51	II - 6	X			X		
	M 05	20.0	10.0	6.0	883.90	449.77					II - 6	X			X			
	M 06	20.0	10.0	6.0	876.45	445.53					II - 6	X			X			
	M 07	20.0	10.0	6.0	876.35	445.70					II - 6	X			X			
PATRÓN	M 01	20.1	10.0	6.0	878.25	445.56					II - 6	X			X			
	M 02	20.0	10.0	6.0	859.60	438.28					II - 6	X			X			
	M 03	20.1	10.1	6.0	887.85	445.97					II - 6	X			X			
	M 04	20.1	10.1	6.0	868.50	436.25	441	4.58	445	436	1.04	II - 6	X			X		
	M 05	20.1	10.0	6.0	861.90	437.26					II - 6	X			X			
	M 06	20.1	10.1	6.05	870.45	437.23					II - 6	X			X			
	M 07	20.1	10.1	6.07	887.35	445.72					II - 6	X			X			
2.5	M 01	20.2	10.1	6.0	840.10	419.89					II - 6	X			X			
	M 02	20.1	10.1	6.1	829.15	416.48					II - 6	X			X			
	M 03	20.1	10.1	6.1	831.20	417.51					II - 6	X			X			
	M 04	20.1	10.0	6.1	822.50	417.27	418	1.43	420	417	0.34	II - 6	X			X		
	M 05	20.0	10.1	6.0	832.40	420.00					II - 6	X			X			
	M 06	20.0	10.0	6.1	826.50	419.30					II - 6	X			X			
	M 07	20.1	10.1	6.1	834.20	417.36					II - 6	X			X			

5.0	M 01	20.1	10.1	6.1	792.05	397.85					I - 6	X		X		
	M 02	20.2	10.1	6.2	786.85	393.28					I - 6	X		X		
	M 03	20.2	10.1	6.2	779.30	389.50					I - 6	X		X		
	M 04	20.0	10.1	6.1	788.70	397.75	394	3.05	398	391	0.77	I - 6	X		X	
	M 05	20.2	10.1	6.0	790.30	395.00						I - 6	X		X	
	M 06	20.1	10.1	6.1	780.65	392.12						I - 6	X		X	
	M 07	20.1	10.1	6.1	788.10	395.86						I - 6	X		X	
7.5	M 01	20.1	10.1	6.1	772.10	387.83					I - 6		X		X	
	M 02	20.1	10.0	6.1	759.35	385.24					I - 6		X		X	
	M 03	20.2	10.0	6.0	763.60	385.47					I - 6		X		X	
	M 04	20.1	10.1	6.0	780.45	392.02	388	3.38	391	384	0.87	I - 6		X		X
	M 05	20.0	10.0	6.1	770.10	392.64						I - 6		X		X
	M 06	20.2	10.1	6.1	778.60	391.09						I - 6		X		X
	M 07	20.0	10.0	6.0	758.20	386.19						I - 6		X		X
10.0	M 01	20.0	10.1	6.1	745.60	376.39					I - 6		X		X	
	M 02	20.0	10.0	6.0	731.85	373.14					I - 6		X		X	
	M 03	20.0	10.0	6.0	735.40	373.27					I - 6		X		X	
	M 04	20.1	10.1	6.0	751.20	377.33	375	1.76	377	373	0.47	I - 6		X		X
	M 05	20.0	10.1	6.0	745.40	376.29						I - 6		X		X
	M 06	20.1	10.1	6.1	748.65	376.05						I - 6		X		X
	M 07	20.1	10.1	6.1	745.10	373.52						I - 6		X		X
12.5	M 01	20.1	10.0	6.2	708.65	359.51					I - 6			X		X
	M 02	20.1	10.1	6.1	721.20	362.26					I - 6			X		X
	M 03	20.1	10.1	6.1	724.75	361.89					I - 6			X		X
	M 04	20.1	10.1	6.1	714.50	358.89	361	1.33	362	359	0.37	I - 6		X		X
	M 05	20.1	10.2	6.0	723.15	361.45						I - 6		X		X
	M 06	20.1	10.0	6.1	714.60	361.09						I - 6		X		X
	M 07	20.1	10.0	6.1	714.50	361.73						I - 6		X		X

Tabla 76. Resistencia a la compresión del reemplazo de agregado fino x PET, con respecto a la desviación estándar y varianza

% PET	Muestra	Dimensiones (cm)			Resistencia (Kg/cm ²)		Desviación estándar (σ)			Coeficiente de variación (%)	Tipo/ Espesor (cm)	Categoría			Observación		
		Largo	ancho	altura	Fuerza (KN)	f'c máx	Prom.	(σ)	Lim. Superior (Kg/cm ²)			Lim. Inferior (Kg/cm ²)	a	b	c	Excelente	Regular
EMPRESA	M 01	20.0	10.0	6.0	875.65	446.01					II - 6	X			X		
	M 02	20.0	10.0	6.0	881.60	449.49					II - 6	X			X		
	M 03	20.0	10.0	6.0	887.80	450.62					II - 6	X			X		
	M 04	20.0	10.0	6.0	878.05	445.68	448	2.29	449.83	445.25	0.51	II - 6	X			X	
	M 05	20.0	10.0	6.0	883.90	449.77					II - 6	X			X		
	M 06	20.0	10.0	6.0	876.45	445.53					II - 6	X			X		
	M 07	20.0	10.0	6.0	876.35	445.70					II - 6	X			X		
PATRÓN	M 01	20.1	10.0	6.0	878.25	445.56					II - 6	X			X		
	M 02	20.0	10.0	6.0	859.60	438.28					II - 6	X			X		
	M 03	20.1	10.1	6.0	887.85	445.97					II - 6	X			X		
	M 04	20.1	10.1	6.0	868.50	436.25	441	4.58	445.47	436.31	1.04	II - 6	X			X	
	M 05	20.1	10.0	6.0	861.90	437.26					II - 6	X			X		
	M 06	20.1	10.1	6.0	870.45	437.23					II - 6	X			X		
	M 07	20.1	10.1	6.0	887.35	445.72					II - 6	X			X		
2.5	M 01	20.2	10.1	6.1	856.90	429.35					II - 6	X			X		
	M 02	20.1	10.2	6.1	865.05	430.25					II - 6	X			X		
	M 03	20.1	10.1	6.1	844.65	424.27					II - 6	X			X		
	M 04	20.1	10.1	6.0	840.60	422.23	431	8.56	439	422	1.99	II - 6	X			X	
	M 05	20.0	10.1	6.0	845.20	424.52					II - 6	X			X		
	M 06	20.0	10.1	6.0	868.75	438.34					II - 6	X			X		
	M 07	20.1	10.1	6.1	879.20	445.82					II - 6	X			X		
5.0	M 01	20.1	10.0	6.0	835.60	423.92	420	2.72	423	417	0.65	II - 6	X			X	

	M 02	20.1	10.0	6.1	833.15	422.68						II - 6	X		X
	M 03	20.0	10.0	6.1	820.40	417.87						II - 6	X		X
	M 04	20.1	10.0	6.0	823.45	417.76						II - 6	X		X
	M 05	20.0	10.0	6.1	821.90	418.19						II - 6	X		X
	M 06	20.0	10.1	6.1	825.20	417.40						II - 6	X		X
	M 07	20.0	10.0	6.1	829.95	421.47						II - 6	X		X
	M 01	20.1	10.1	6.1	825.25	414.52						II - 6	X		X
	M 02	20.1	10.1	6.1	834.75	419.30						II - 6	X		X
	M 03	20.1	10.1	6.1	838.45	421.15						II - 6	X		X
7.5	M 04	20.1	10.1	6.1	819.45	412.84	415	5.37	421	410	1.29	II - 6	X		X
	M 05	20.0	10.1	6.0	801.20	405.63						I - 6	X		X
	M 06	20.0	10.0	6.0	811.25	413.62						II - 6	X		X
	M 07	20.0	10.1	6.1	827.45	419.78						II - 6	X		X
	M 01	20.1	10	6.0	792.95	402.28						I - 6		X	X
	M 02	20.1	10.1	6.1	828.10	415.95						II - 6		X	X
	M 03	20.0	10.1	6.1	819.60	413.74						II - 6		X	X
10.0	M 04	20.1	10.1	6.0	814.40	409.07	409	6.90	416	402	2	I - 6		X	X
	M 05	20.1	10.1	6.0	791.50	397.97						I - 6		X	X
	M 06	20.0	10	6.0	815.75	415.92						II - 6		X	X
	M 07	20.0	10	6.1	801.10	408.45						I - 6		X	X
	M 01	20.1	10.0	6.0	795.30	403.47						I - 6		X	X
	M 02	20.1	10.2	6.1	817.40	407.35						I - 6		X	X
	M 03	20	10.1	6.1	804.85	406.30						I - 6		X	X
12.5	M 04	20	10.1	6.1	801.85	404.78	406	1.44	407.23	404.35	0.35	I - 6		X	X
	M 05	20.1	10.1	6.1	809.50	405.01						I - 6		X	X
	M 06	20.1	10.1	6.1	814.30	407.41						I - 6		X	X
	M 07	20.1	10.2	6.0	816.65	406.18						I - 6		X	X

Tabla 77. Resistencia a la compresión del reemplazo de la mezcla de A. fino y A. grueso x PET, con respecto a la desviación estándar y varianza

% PET	Muestra	Dimensiones (cm)			Resistencia (Kg/cm ²)		Desviación estándar (σ)			Coeficiente de variación (%)	Tipo/ Espesor (cm)	Categoría			Observación			
		Largo	ancho	altura	Fuerza (KN)	f'c máx	Prom.	(σ)	Lim. Superior (Kg/cm ²)			Lim. Inferior (Kg/cm ²)	a	b	c	Excelente	Regular	Bajo
EMPRESA	M 01	20.0	10.0	6.0	875.65	446.01					II - 6	X			X			
	M 02	20.0	10.0	6.0	881.60	449.49					II - 6	X			X			
	M 03	20.1	10.0	6.0	887.80	450.62					II - 6	X			X			
	M 04	20.0	10.0	6.0	878.05	445.68	448	2.29	449.83	445.25	0.51	II - 6	X			X		
	M 05	20.0	10.0	6.0	883.90	449.77						II - 6	X			X		
	M 06	20.0	10.0	6.0	876.45	445.53						II - 6	X			X		
	M 07	20.0	10.0	6.0	876.35	445.70						II - 6	X			X		
PATRÓN	M 01	20.1	10.0	6.0	878.25	445.56					II - 6	X			X			
	M 02	20.0	10.0	6.0	859.60	438.28					II - 6	X			X			
	M 03	20.1	10.1	6.0	887.85	445.97					II - 6	X			X			
	M 04	20.1	10.1	6.0	868.50	436.25	441	4.58	445.47	436.31	1.04	II - 6	X			X		
	M 05	20.1	10.0	6.0	861.90	437.26						II - 6	X			X		
	M 06	20.1	10.1	6.1	870.45	437.23						II - 6	X			X		
	M 07	20.1	10.1	6.1	887.35	445.72						II - 6	X			X		
2.5	M 01	20.1	10.2	6.1	856.60	426.05					II - 6	X			X			
	M 02	20.1	10.2	6.1	852.55	424.04					II - 6	X			X			
	M 03	20.1	10.1	6.1	843.95	423.92					II - 6	X			X			
	M 04	20.0	10.1	6.1	848.80	428.48	426	1.67	428	424	0.39	II - 6	X			X		
	M 05	20.1	10.1	6.1	849.45	426.68						II - 6	X			X		
	M 06	20.1	10.1	6.0	854.05	427.30						II - 6	X			X		
	M 07	20.1	10.0	6.1	841.10	426.71						II - 6	X			X		
5.0	M 01	20.0	10.0	6.1	814.35	414.79	418	4.65	423	414	1.11	II - 6		X			X	

	M 02	20.1	10.1	6.1	832.30	418.06					II - 6	X	X	
	M 03	20.1	10.1	6.0	842.50	423.19					II - 6	X	X	
	M 04	20.1	10.0	6.1	832.40	422.30					II - 6	X	X	
	M 05	20.0	10.1	6.0	814.45	411.95					II - 6	X	X	
	M 06	20.0	10.0	6.0	829.05	422.70					II - 6	X	X	
	M 07	20.0	10.0	6.1	812.10	414.06					II - 6	X	X	
	M 01	20.1	10.1	6.1	815.60	409.68					II - 6	X	X	
	M 02	20.1	10.0	6.0	809.55	410.70					II - 6	X	X	
	M 03	20.0	10.1	6.0	830.40	419.20					II - 6	X	X	
7.5	M 04	20.0	10.0	6.1	823.60	419.08	414	4.60	419	409	1.11	II - 6	X	X
	M 05	20.0	10.1	6.1	809.60	409.10					I - 6	X	X	
	M 06	20.1	10.0	6.0	814.05	412.16					II - 6	X	X	
	M 07	20.2	10.0	6.1	828.25	418.11					II - 6	X	X	
	M 01	20.0	10.0	6.0	722.40	368.32					I - 6	X	X	
	M 02	20.1	10.0	6.1	704.60	357.46					I - 6	X	X	
	M 03	20.1	10.1	6.1	711.25	357.26					I - 6	X	X	
10.0	M 04	20.0	10.0	6.1	698.85	356.32	362	6.61	369	356	1.82	I - 6	X	X
	M 05	20.0	10.0	6.1	701.45	357.64					I - 6	X	X	
	M 06	20.0	10.0	6.0	729.05	371.71					I - 6	X	X	
	M 07	20.1	10.0	6.1	727.25	367.85					I - 6	X	X	
	M 01	20.0	10.1	6.1	671.85	340.67					I - 6	X	X	
	M 02	20.1	10.0	6.0	667.30	339.04					I - 6	X	X	
	M 03	20.1	10.1	6.1	674.70	339.07					I - 6	X	X	
12.5	M 04	20.1	10.1	6.1	681.45	342.29	341	2.21	344	339	0.65	I - 6	X	X
	M 05	20.1	10.1	6.1	688.40	344.41					I - 6	X	X	
	M 06	20.1	10.0	6.0	679.20	343.89					I - 6	X	X	
	M 07	20.0	10.0	6.1	667.05	340.10					I - 6	X	X	

Tabla 78. Resistencia a la compresión de la adición de PET a la mezcla de A. fino y A. grueso, con respecto a la desviación estándar y varianza

% PET	Muestra	Dimensiones (cm)			Resistencia (Kg/cm ²)		Desviación estándar (σ)			Coeficiente de variación (%)	Tipo/ Espesor (cm)	Categoría			Observación		
		Largo	ancho	altura	Fuerza (KN)	f'c máx	Prom.	(σ)	Lim. Superior (Kg/cm ²)			Lim. Inferior (Kg/cm ²)	a	b	c	Excelente	Regular
EMPRESA	M 01	20.0	10.0	6.0	875.65	446.01					II - 6	X			X		
	M 02	20.0	10.0	6.0	881.60	449.49					II - 6	X			X		
	M 03	20.1	10.0	6.0	887.80	450.62					II - 6	X			X		
	M 04	20.0	10.0	6.0	878.05	445.68	448	2.29	449.83	445.25	0.51	II - 6	X			X	
	M 05	20.0	10.0	6.0	883.90	449.77						II - 6	X			X	
	M 06	20.0	10.0	6.0	876.45	445.53						II - 6	X			X	
	M 07	20.0	10.0	6.0	876.35	445.70						II - 6	X			X	
PATRÓN	M 01	20.1	10.0	6.0	878.25	445.56					II - 6	X			X		
	M 02	20.0	10.0	6.0	859.60	438.28					II - 6	X			X		
	M 03	20.1	10.1	6.0	887.85	445.97						II - 6	X			X	
	M 04	20.1	10.1	6.0	868.50	436.25	441	4.58	445.47	436.31	1.04	II - 6	X			X	
	M 05	20.1	10.0	6.0	861.90	437.26						II - 6	X			X	
	M 06	20.1	10.1	6.1	870.45	437.23						II - 6	X			X	
	M 07	20.1	10.1	6.1	887.35	445.72						II - 6	X			X	
2.5	M 01	20.1	10.1	6.1	851.80	433.43					II - 6	X			X		
	M 02	20.2	10.2	6.1	862.45	431.52					II - 6	X			X		
	M 03	20.0	10.0	6.1	841.95	429.28						II - 6	X			X	
	M 04	20.0	10.0	6.1	843.70	428.84	435	5.27	440	429	1.21	II - 6	X			X	
	M 05	20.1	10.1	6.0	868.95	441.94						II - 6	X			X	
	M 06	20.1	10.0	6.0	861.80	438.74						II - 6	X			X	

	M 07	20.0	10.0	6.1	862.30	439.43						II - 6	X		X
	M 01	20.0	10.0	6.0	881.50	446.76						II - 6	X		X
	M 02	20.1	10.1	6.1	872.45	443.94						II - 6	X		X
	M 03	20.1	10.0	6.1	873.85	444.21						II - 6	X		X
5.0	M 04	20.1	10.1	6.0	878.50	447.02	445	2.28	447	442	0.51	II - 6	X		X
	M 05	20.0	10.0	6.0	874.95	446.10						II - 6	X		X
	M 06	20.0	10.0	6.0	863.80	440.42						II - 6	X		X
	M 07	20.0	10.1	6.1	875.30	444.06						II - 6	X		X
	M 01	20.2	10.1	6.1	762.15	380.18						I - 6		X	X
	M 02	20.1	10.0	6.0	739.25	375.04	378	2.09	380	375	0.55	I - 6		X	X
	M 03	20.0	10.1	6.0	745.00	376.08						I - 6		X	X
7.5	M 04	20.1	10.1	6.1	755.75	379.61						I - 6		X	X
	M 05	20.2	10.1	6.0	748.95	375.26						I - 6		X	X
	M 06	20.0	10.1	6.0	753.80	378.46						I - 6		X	X
	M 07	20.0	10.1	6.1	749.30	378.26						I - 6		X	X
	M 01	20.1	10.1	6.1	724.10	363.72						I - 6		X	X
	M 02	20.1	10.0	6.0	714.90	362.69						I - 6		X	X
	M 03	20.1	10.0	6.1	728.75	367.51						I - 6		X	X
10.0	M 04	20.1	10.1	6.0	731.50	367.43	365	2.21	368	363	0.60	I - 6		X	X
	M 05	20.0	10.1	6.1	727.95	367.48						I - 6		X	X
	M 06	20.1	10.0	6.0	724.90	367.76						I - 6		X	X
	M 07	20.1	10.1	6.1	729.30	365.24						I - 6		X	X
	M 01	20.1	10.1	6.1	711.90	357.41						I - 6		X	X
	M 02	20.1	10.1	6.0	710.30	356.78						I - 6		X	X
	M 03	20.1	10.0	6.1	701.50	355.89						I - 6		X	X
12.5	M 04	20.0	10.0	6.1	695.85	354.79	356	0.88	357	355	0.25	I - 6		X	X
	M 05	20.1	10.1	6.1	708.20	355.38						I - 6		X	X
	M 06	20.2	10.1	6.0	714.70	356.16						I - 6		X	X
	M 07	20.1	10.2	6.1	718.15	356.48						I - 6		X	X

8.2. Absorción

Tabla 79. Ensayo de absorción del reemplazo de agregado grueso x PET, con respecto a la desviación estándar y varianza

Código	Muestra	Pesos (Kg)			Absorción (%)			Desviación estándar (σ)		Coeficiente de variación (%)
		Saturado	Suspendido	Seco	Und	Promedio	(σ)	Lim. Superior (%)	Lim. Inferior (%)	
EMPRESA	M01	2.706	1.565	2.593	4.36					
	M02	2.679	1.557	2.567	4.36					
	M03	2.667	1.541	2.554	4.42					
	M04	2.681	1.577	2.570	4.32	4.40	0.05	4.44	4.35	1.10
	M05	2.661	1.543	2.548	4.43					
	M06	2.682	1.548	2.568	4.44					
	M07	2.686	1.567	2.572	4.43					
PATRÓN	M01	2.678	1.553	2.564	4.45					
	M02	2.684	1.542	2.568	4.52					
	M03	2.668	1.559	2.554	4.46					
	M04	2.694	1.564	2.578	4.50	4.48	0.02	4.51	4.46	0.54
	M05	2.672	1.568	2.557	4.50					
	M06	2.662	1.571	2.548	4.47					
	M07	2.677	1.552	2.562	4.49					
2.5	M01	2.658	1.448	2.535	4.85					
	M02	2.660	1.434	2.539	4.77					
	M03	2.649	1.452	2.529	4.74					
	M04	2.654	1.468	2.534	4.74	4.80	0.07	4.87	4.73	1.42
	M05	2.660	1.438	2.536	4.89					
	M06	2.652	1.441	2.529	4.86					

	M07	2.656	1.445	2.536	4.73					
	M01	2.634	1.418	2.504	5.19					
	M02	2.618	1.411	2.488	5.23					
	M03	2.610	1.404	2.481	5.20					
5.0	M04	2.629	1.425	2.498	5.24	5.24	0.03	5.27	5.20	0.65
	M05	2.638	1.415	2.506	5.27					
	M06	2.641	1.420	2.509	5.26					
	M07	2.612	1.427	2.481	5.28					
	M01	2.609	1.392	2.463	5.93					
	M02	2.598	1.402	2.453	5.91					
	M03	2.584	1.393	2.440	5.90					
7.5	M04	2.592	1.384	2.448	5.88	5.90	0.08	5.97	5.82	1.31
	M05	2.588	1.389	2.442	5.98					
	M06	2.582	1.380	2.442	5.73					
	M07	2.590	1.394	2.445	5.93					
	M01	2.558	1.334	2.411	6.10					
	M02	2.542	1.340	2.395	6.14					
	M03	2.549	1.351	2.402	6.12					
10.0	M04	2.539	1.345	2.394	6.06	6.09	0.03	6.12	6.06	0.47
	M05	2.561	1.234	2.414	6.09					
	M06	2.553	1.359	2.407	6.07					
	M07	2.547	1.348	2.401	6.08					
	M01	2.514	1.315	2.362	6.44					
	M02	2.504	1.324	2.352	6.46					
	M03	2.509	1.302	2.357	6.45					
12.5	M04	2.495	1.308	2.345	6.40	6.45	0.03	6.48	6.42	0.45
	M05	2.520	1.317	2.367	6.46					
	M06	2.511	1.312	2.358	6.49					
	M07	2.498	1.305	2.347	6.43					

Tabla 80. *Ensayo de absorción del reemplazo de agregado fino x PET, con respecto a la desviación estándar y varianza*

Código	Muestra	Pesos (Kg)			Absorción (%)			Desviación estándar (σ)		Coeficiente de variación (%)
		Saturado	Suspendido	Seco	Und	Promedio	(σ)	Lim. Superior (%)	Lim. Inferior (%)	
EMPRESA	M01	2.706	1.565	2.593	4.36					
	M02	2.679	1.557	2.567	4.36					
	M03	2.667	1.541	2.554	4.42					
	M04	2.681	1.577	2.570	4.32	4.40	0.05	4.44	4.35	1.10
	M05	2.661	1.543	2.548	4.43					
	M06	2.682	1.548	2.568	4.44					
	M07	2.686	1.567	2.572	4.43					
PATRÓN	M01	2.678	1.553	2.564	4.45					
	M02	2.684	1.542	2.568	4.52					
	M03	2.668	1.559	2.554	4.46					
	M04	2.694	1.564	2.578	4.50	4.48	0.02	4.51	4.46	0.54
	M05	2.672	1.568	2.557	4.50					
	M06	2.662	1.571	2.548	4.47					
	M07	2.677	1.552	2.562	4.49					
2.5	M01	2.659	1.452	2.535	4.89					
	M02	2.668	1.439	2.548	4.71					
	M03	2.642	1.457	2.521	4.80					
	M04	2.651	1.473	2.529	4.82	4.78	0.07	4.85	4.71	1.44
	M05	2.658	1.446	2.539	4.69					
	M06	2.649	1.449	2.528	4.79					
	M07	2.652	1.445	2.531	4.78					
5.0	M01	2.517	1.374	2.394	5.14					
	M02	2.501	1.368	2.382	5.00	5.03	0.06	5.09	4.97	1.18
	M03	2.493	1.362	2.374	5.01					

	M04	2.512	1.379	2.392	5.02					
	M05	2.521	1.371	2.401	5.00					
	M06	2.524	1.378	2.402	5.08					
	M07	2.495	1.381	2.377	4.96					
	M01	2.489	1.290	2.360	5.47					
	M02	2.481	1.301	2.353	5.44					
	M03	2.465	1.293	2.335	5.57					
7.5	M04	2.477	1.282	2.349	5.45	5.52	0.07	5.59	5.46	1.22
	M05	2.473	1.287	2.342	5.59					
	M06	2.467	1.278	2.337	5.56					
	M07	2.479	1.294	2.348	5.58					
	M01	2.469	1.270	2.332	5.87					
	M02	2.462	1.264	2.324	5.94					
	M03	2.441	1.271	2.301	6.08					
10.0	M04	2.450	1.270	2.312	5.97	5.91	0.10	6.01	5.81	1.66
	M05	2.445	1.265	2.311	5.80					
	M06	2.457	1.274	2.322	5.81					
	M07	2.442	1.271	2.306	5.90					
	M01	2.442	1.250	2.298	6.27					
	M02	2.438	1.244	2.297	6.14					
	M03	2.432	1.272	2.293	6.06					
12.5	M04	2.430	1.253	2.289	6.16	6.12	0.07	6.20	6.05	1.18
	M05	2.438	1.258	2.298	6.09					
	M06	2.449	1.243	2.309	6.06					
	M07	2.421	1.251	2.282	6.09					

Tabla 81. *Ensayo de absorción del reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino x PET, con respecto a la desviación estándar y varianza*

Código	Muestra	Pesos (Kg)			Absorción (%)		Desviación estándar (σ)		Coeficiente de variación (%)	
		Saturado	Suspendido	Seco	Und	Promedio	(σ)	Lim. Superior (Kg/cm ²)		Lim. Inferior (Kg/cm ²)
EMPRESA	M01	2.706	1.565	2.593	4.36					
	M02	2.679	1.557	2.567	4.36					
	M03	2.667	1.541	2.554	4.42					
	M04	2.681	1.577	2.570	4.32	4.40	0.05	4.44	4.35	1.10
	M05	2.661	1.543	2.548	4.43					
	M06	2.682	1.548	2.568	4.44					
	M07	2.686	1.567	2.572	4.43					
PATRÓN	M01	2.678	1.553	2.564	4.45					
	M02	2.684	1.542	2.568	4.52					
	M03	2.668	1.559	2.554	4.46					
	M04	2.694	1.564	2.578	4.50	4.48	0.02	4.51	4.46	0.54
	M05	2.672	1.568	2.557	4.50					
	M06	2.662	1.571	2.548	4.47					
	M07	2.677	1.552	2.562	4.49					
2.5	M01	2.638	1.438	2.506	5.27					
	M02	2.630	1.426	2.497	5.33					
	M03	2.639	1.447	2.507	5.27					
	M04	2.633	1.446	2.499	5.36	5.33	0.05	5.37	5.28	0.85
	M05	2.645	1.453	2.510	5.38					
	M06	2.631	1.456	2.498	5.32					
	M07	2.635	1.434	2.501	5.36					
5.0	M01	2.525	1.326	2.371	6.50					
	M02	2.511	1.315	2.358	6.49	6.51	0.02	6.54	6.49	0.38
	M03	2.484	1.332	2.332	6.52					

	M04	2.501	1.337	2.348	6.52					
	M05	2.488	1.341	2.335	6.55					
	M06	2.478	1.344	2.327	6.49					
	M07	2.493	1.325	2.340	6.54					
	M01	2.452	1.285	2.288	7.17					
	M02	2.458	1.294	2.294	7.15					
	M03	2.442	1.281	2.279	7.15					
7.5	M04	2.468	1.272	2.299	7.35	7.25	0.10	7.35	7.15	1.36
	M05	2.456	1.278	2.288	7.34					
	M06	2.436	1.273	2.272	7.22					
	M07	2.451	1.276	2.283	7.36					
	M01	2.447	1.255	2.265	8.04					
	M02	2.435	1.243	2.253	8.08					
	M03	2.410	1.245	2.230	8.07					
10.0	M04	2.419	1.250	2.239	8.04	8.06	0.02	8.08	8.04	0.22
	M05	2.422	1.244	2.241	8.08					
	M06	2.429	1.249	2.248	8.05					
	M07	2.411	1.241	2.231	8.07					
	M01	2.408	1.225	2.214	8.76					
	M02	2.397	1.214	2.207	8.61					
	M03	2.382	1.209	2.191	8.72					
12.5	M04	2.385	1.218	2.194	8.71	8.80	0.13	8.93	8.66	1.53
	M05	2.374	1.204	2.180	8.90					
	M06	2.395	1.211	2.198	8.96					
	M07	2.401	1.202	2.204	8.94					

Tabla 82. *Ensayo de absorción de la adición de PET a la mezcla de agregado grueso y agregado fino, con respecto a la desviación estándar y varianza*

Código	Muestra	Pesos (Kg)			Absorción (%)		Desviación estándar (σ)		Coeficiente de variación (%)	
		Saturado	Suspendido	Seco	Und	Promedio	(σ)	Lim. Superior (%)		Lim. Inferior (%)
EMPRESA	M01	2.706	1.565	2.597	4.20					
	M02	2.679	1.557	2.567	4.36					
	M03	2.667	1.541	2.554	4.42					
	M04	2.681	1.577	2.571	4.28	4.40	0.14	4.54	4.26	3.12
	M05	2.661	1.543	2.546	4.52					
	M06	2.682	1.548	2.564	4.60					
	M07	2.686	1.567	2.572	4.43					
PATRÓN	M01	2.678	1.553	2.564	4.45					
	M02	2.684	1.542	2.568	4.52					
	M03	2.668	1.559	2.554	4.46					
	M04	2.694	1.564	2.578	4.50	4.48	0.02	4.51	4.46	0.54
	M05	2.672	1.568	2.557	4.50					
	M06	2.662	1.571	2.548	4.47					
	M07	2.677	1.552	2.562	4.49					
2.5	M01	2.681	1.552	2.559	4.77					
	M02	2.679	1.550	2.560	4.65					
	M03	2.684	1.562	2.562	4.76					
	M04	2.692	1.568	2.571	4.71	4.70	0.08	4.77	4.62	1.65
	M05	2.690	1.571	2.568	4.75					
	M06	2.688	1.554	2.571	4.55					

	M07	2.684	1.551	2.564	4.68					
	M01	2.691	1.541	2.578	4.38					
	M02	2.644	1.539	2.536	4.26					
	M03	2.681	1.531	2.572	4.24					
5.0	M04	2.671	1.546	2.562	4.25	4.31	0.06	4.38	4.25	1.47
	M05	2.685	1.549	2.573	4.35					
	M06	2.681	1.553	2.570	4.32					
	M07	2.689	1.557	2.576	4.39					
	M01	2.785	1.551	2.583	7.82					
	M02	2.792	1.546	2.592	7.72					
	M03	2.715	1.559	2.517	7.87					
7.5	M04	2.794	1.562	2.594	7.71	7.75	0.13	7.88	7.62	1.67
	M05	2.734	1.564	2.536	7.81					
	M06	2.817	1.572	2.612	7.85					
	M07	2.783	1.544	2.589	7.49					
	M01	2.832	1.562	2.611	8.46					
	M02	2.849	1.586	2.625	8.53					
	M03	2.864	1.553	2.642	8.40					
10.0	M04	2.820	1.544	2.601	8.42	8.51	0.13	8.64	8.38	1.54
	M05	2.835	1.571	2.614	8.45					
	M06	2.852	1.588	2.629	8.48					
	M07	2.860	1.591	2.629	8.79					
	M01	2.892	1.582	2.644	9.38					
	M02	2.918	1.586	2.671	9.25					
	M03	2.924	1.593	2.679	9.15					
12.5	M04	2.891	1.574	2.649	9.14	9.26	0.16	9.42	9.10	1.73
	M05	2.884	1.591	2.642	9.16					
	M06	2.905	1.578	2.661	9.17					
	M07	2.898	1.581	2.645	9.57					

8.3. Resistencia al desgaste a la abrasión

Tabla 83. Resistencia al desgaste a la abrasión del reemplazo de agregado grueso x PET, con respecto a la desviación estándar y varianza

Código	Muestra	Dimensiones (mm)		Huella (mm)	Aproximación (mm)	Huella \leq 23)	Promedio de huella	Desviación estándar (σ)		Coeficiente de variación (%)	
		VC	AB					(σ)	Lim. Superior (mm)		Lim. Inferior (mm)
EMPRESA	M01	19.8	18.8	19.0	19.0	Si	19.0	0.20	19.20	18.80	1.07
	M02	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
	M03	19.8	18.8	19.0	19.0	Si					
	M04	19.8	18.8	19.0	19.0	Si					
	M05	19.8	18.5	18.7	18.5	Si					
	M06	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
	M07	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
PATRÓN	M01	19.8	19.2	19.4	19.5	Si	19.5	0.00	19.50	19.50	0.00
	M02	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
	M03	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
	M04	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M05	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M06	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M07	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
2.5	M01	19.8	19.8	20.0	20.0	Si	20.0	0.00	20.00	20.00	0.00
	M02	19.8	19.9	20.1	20.0	Si					
	M03	19.8	19.9	20.1	20.0	Si					
	M04	19.8	20.0	20.2	20.0	Si					
	M05	19.8	20.0	20.2	20.0	Si					
	M06	19.8	20.0	20.2	20.0	Si					

	M07	19.8	19.7	19.9	20.0	Si					
	M01	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					
	M02	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					
	M03	19.8	20.6	20.8	21.0	Si					
5.0	M04	19.8	20.4	20.6	20.5	Si	20.5	0.29	20.79	20.21	1.41
	M05	19.8	20.5	20.7	20.5	Si					
	M06	19.8	20.5	20.7	20.5	Si					
	M07	19.8	20.6	20.8	21.0	Si					
	M01	19.8	20.6	20.8	21.0	Si					
	M02	19.8	20.8	21.0	21.0	Si					
	M03	19.8	20.8	21.0	21.0	Si					
7.5	M04	19.8	20.7	20.9	21.0	Si	21.0	0.00	21.00	21.00	0.00
	M05	19.8	20.7	20.9	21.0	Si					
	M06	19.8	20.8	21.0	21.0	Si					
	M07	19.8	20.8	21.0	21.0	Si					
	M01	19.8	21.3	21.5	21.5	Si					
	M02	19.8	21.4	21.6	21.5	Si					
	M03	19.8	21.3	21.5	21.5	Si					
10.0	M04	19.8	21.3	21.5	21.5	Si	21.5	0.00	21.50	21.50	0.00
	M05	19.8	21.5	21.7	21.5	Si					
	M06	19.8	21.5	21.7	21.5	Si					
	M07	19.8	21.4	21.6	21.5	Si					
	M01	19.8	21.6	21.8	22.0	Si					
	M02	19.8	21.7	21.9	22.0	Si					
12.5	M03	19.8	21.7	21.9	22.0	Si	22.0	0.20	22.20	21.80	0.93
	M04	19.8	21.5	21.7	21.5	Si					
	M05	19.8	21.6	21.8	22.0	Si					

M06	19.8	21.8	22.0	22.0	Si
M07	19.8	21.8	22.0	22.0	Si

Tabla 84. Resistencia al desgaste a la abrasión del reemplazo de agregado fino x PET, con respecto a la desviación estándar y varianza

Código	Muestra	Dimensiones (mm)			Aproximación (mm)	(Huella ≤ 23)	Promedio de huella	Desviación estándar (σ)			Coeficiente de variación (%)
		VC	AB	Huella (mm)				(σ)	Lim. Superior (mm)	Lim. Inferior (mm)	
EMPRESA	M01	19.8	18.8	19.0	19.0	Si	19.0	0.20	19.20	18.80	1.07
	M02	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
	M03	19.8	18.8	19.0	19.0	Si					
	M04	19.8	18.8	19.0	19.0	Si					
	M05	19.8	18.5	18.7	18.5	Si					
	M06	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
	M07	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
PATRÓN	M01	19.8	19.2	19.4	19.5	Si	19.5	0.00	19.50	19.50	0.00
	M02	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
	M03	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
	M04	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M05	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M06	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M07	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
2.5	M01	19.8	19.7	19.9	20.0	Si	20.0	0.00	20.00	20.00	0.00
	M02	19.8	19.9	20.1	20.0	Si					
	M03	19.8	19.8	20.0	20.0	Si					
	M04	19.8	19.8	20.0	20.0	Si					
	M05	19.8	19.9	20.1	20.0	Si					

	M06	19.8	19.8	20.00	20.0	Si					
	M07	19.8	19.8	20.0	20.0	Si					
	M01	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					
	M02	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					
	M03	19.8	20.5	20.7	20.5	Si					
5.0	M04	19.8	20.4	20.6	20.5	Si	20.5	0.00	20.50	20.50	0.00
	M05	19.8	20.3	20.5	20.5	Si					
	M06	19.8	20.3	20.5	20.5	Si					
	M07	19.8	20.3	20.5	20.5	Si					
	M01	19.8	20.5	20.7	20.5	Si					
	M02	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					
	M03	19.8	20.5	20.7	20.5	Si					
7.5	M04	19.8	20.5	20.7	20.5	Si	20.5	0.00	20.50	20.50	0.00
	M05	19.8	20.5	20.7	20.5	Si					
	M06	19.8	20.3	20.5	20.5	Si					
	M07	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					
	M01	19.8	21.1	21.3	21.0	Si					
	M02	19.8	21.2	21.4	21.5	Si					
	M03	19.8	21.2	21.4	21.5	Si					
10.0	M04	19.8	21.0	21.2	21.0	Si	21.0	0.35	21.35	20.65	1.68
	M05	19.8	21.0	21.2	21.0	Si					
	M06	19.8	21.1	21.3	21.0	Si					
	M07	19.8	21.2	21.4	21.5	Si					
	M01	19.8	21.3	21.5	21.5	Si					
	M02	19.8	21.4	21.6	21.5	Si					
12.5	M03	19.8	21.4	21.6	21.5	Si	21.5	0.00	21.50	21.50	0.00
	M04	19.8	21.4	21.6	21.5	Si					
	M05	19.8	21.3	21.5	21.5	Si					

M06	19.8	21.3	21.5	21.5	Si
M07	19.8	21.3	21.5	21.5	Si

Tabla 85. Resistencia al desgaste a la abrasión del reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino x PET, con respecto a la desviación estándar y varianza

Código	Muestra	Dimensiones (mm)			Aproximación (mm)	(Huella ≤ 23)	Promedio de huella	Desviación estándar (σ)		Coeficiente de variación (%)	
		VC	AB	Huella (mm)				(σ)	Lim. Superior (mm)		Lim. Inferior (mm)
EMPRESA	M01	19.8	18.8	19.0	19.0	Si	19.0	0.20	19.20	18.80	1.07
	M02	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
	M03	19.8	18.8	19.0	19.0	Si					
	M04	19.8	18.8	19.0	19.0	Si					
	M05	19.8	18.5	18.7	18.5	Si					
	M06	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
	M07	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
PATRÓN	M01	19.8	19.2	19.4	19.5	Si	19.5	0.00	19.50	19.50	0.00
	M02	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
	M03	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
	M04	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M05	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M06	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M07	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
2.5	M01	19.8	20.3	20.5	20.5	Si	20.5	0.00	20.50	20.50	0.00
	M02	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					
	M03	19.8	20.3	20.5	20.5	Si					
	M04	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					
	M05	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					

	M06	19.8	20.3	20.5	20.5	Si					
	M07	19.8	20.3	20.5	20.5	Si					
	M01	19.8	20.7	20.9	21.0	Si					
	M02	19.8	20.9	21.1	21.0	Si					
5.0	M03	19.8	20.9	21.1	21.0	Si					
	M04	19.8	20.7	20.9	21.0	Si	21.0	0.00	21.00	21.00	0.00
	M05	19.8	20.9	21.1	21.0	Si					
	M06	19.8	20.8	21	21.0	Si					
	M07	19.8	20.8	21	21.0	Si					
	M01	19.8	21.3	21.5	21.5	Si					
	M02	19.8	21.4	21.6	21.5	Si					
	M03	19.8	21.3	21.5	21.5	Si					
7.5	M04	19.8	21.3	21.5	21.5	Si	21.5	0.00	21.50	21.50	0.00
	M05	19.8	21.2	21.4	21.5	Si					
	M06	19.8	21.2	21.4	21.5	Si					
	M07	19.8	21.4	21.6	21.5	Si					
	M01	19.8	22.5	22.7	22.5	Si					
	M02	19.8	22.4	22.6	22.5	Si					
	M03	19.8	22.5	22.7	22.5	Si					
10.0	M04	19.8	22.5	22.7	22.5	Si	22.5	0.00	22.50	22.50	0.00
	M05	19.8	22.4	22.6	22.5	Si					
	M06	19.8	22.3	22.5	22.5	Si					
	M07	19.8	22.3	22.5	22.5	Si					
	M01	19.8	22.6	22.8	23.0	Si					
	M02	19.8	22.7	22.9	23.0	Si					
12.5	M03	19.8	22.7	22.9	23.0	Si	23.0	0.29	23.29	22.71	1.26
	M04	19.8	22.5	22.7	22.5	Si					
	M05	19.8	22.6	22.8	23.0	Si					

M06	19.8	22.8	23.0	23.0	Si
M07	19.8	22.5	22.7	22.5	Si

Tabla 86. Resistencia al desgaste a la abrasión de la adición de PET a la mezcla de agregado grueso y agregado fino, con respecto a la desviación estándar y varianza

Código	Muestra	Dimensiones (mm)			Aproximación (mm)	Pasa (Huella ≤ 23)	Promedio de huella	Desviación estándar (σ)			Coeficiente de variación (%)
		VC	AB	Huella (mm)				(σ)	Lim. Superior (mm)	Lim. Inferior (mm)	
EMPRESA	M01	19.8	18.8	19.0	19.0	Si	19.0	0.20	19.20	18.80	1.07
	M02	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
	M03	19.8	18.8	19.0	19.0	Si					
	M04	19.8	18.8	19.0	19.0	Si					
	M05	19.8	18.5	18.7	18.5	Si					
	M06	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
	M07	19.8	18.7	18.9	19.0	Si					
PATRÓN	M01	19.8	19.2	19.4	19.5	Si	19.5	0.00	19.50	19.50	0.00
	M02	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
	M03	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
	M04	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M05	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M06	19.8	19.4	19.6	19.5	Si					
	M07	19.8	19.3	19.5	19.5	Si					
2.5	M01	19.8	19.5	19.7	19.5	Si	20.0	0.29	20.29	19.71	1.44
	M02	19.8	19.5	19.7	19.5	Si					
	M03	19.8	19.7	19.9	20.0	Si					
	M04	19.8	19.7	19.9	20.0	Si					
	M05	19.8	19.7	19.9	20.0	Si					
	M06	19.8	19.6	19.8	20.0	Si					
	M07	19.8	19.6	19.8	20.0	Si					
5.0	M01	19.8	19.9	20.1	20.0	Si	20.0	0.00	20.00	20.00	0.00
	M02	19.8	20.0	20.2	20.0	Si					
	M03	19.8	20.1	20.3	20.0	Si					
	M04	19.8	20.1	20.3	20.0	Si					

	M05	19.8	19.9	20.1	20.0	Si					
	M06	19.8	20.0	20.2	20.0	Si					
	M07	19.8	20.0	20.2	20.0	Si					
7.5	M01	19.8	20.5	20.7	20.5	Si					
	M02	19.8	20.4	20.6	20.5	Si					
	M03	19.8	20.5	20.7	20.5	Si					
	M04	19.8	20.6	20.8	21.0	Si	21.0	0.35	21.35	20.65	1.68
	M05	19.8	20.6	20.8	21.0	Si					
	M06	19.8	20.6	20.8	21.0	Si					
	M07	19.8	20.6	20.8	21.0	Si					
10.0	M01	19.8	21.0	21.2	21.0	Si					
	M02	19.8	21.2	21.4	21.5	Si					
	M03	19.8	21.1	21.3	21.0	Si					
	M04	19.8	21.0	21.2	21.0	Si	21.0	0.20	21.20	20.80	0.97
	M05	19.8	21.1	21.3	21.0	Si					
	M06	19.8	21.0	21.2	21.0	Si					
	M07	19.8	21.0	21.2	21.0	Si					
12.5	M01	19.8	21.4	21.6	21.5	Si					
	M02	19.8	21.5	21.7	21.5	Si					
	M03	19.8	21.6	21.8	22.0	Si					
	M04	19.8	21.3	21.5	21.5	Si	21.5	0.20	21.70	21.30	0.95
	M05	19.8	21.5	21.7	21.5	Si					
	M06	19.8	21.4	21.6	21.5	Si					
	M07	19.8	21.5	21.7	21.5	Si					

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1. Prueba paramétrica para datos normales (ANOVA)

Problema

¿Qué influencia tiene el reemplazo y porcentaje de los residuos de PET en adoquines tipo I sobre la compresión, absorción y abrasión, Trujillo, 2020?

Pautas para el análisis estadístico

- Nivel de significancia: 95 % de confianza ($\alpha=0.05$); debido a que la cantidad de réplicas para cada ensayo no excedieron las 7 unidades.
- Criterio de rechazo = Si $F_{exp} > F_{\alpha; (a-1); (a(r-1))}$ se rechaza la Hipótesis nula y se acepta la Hipótesis alterna.

1.1. Análisis estadístico de los datos experimentales del ensayo de resistencia a la compresión

H_0 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, aumentará la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto.

H_1 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, disminuirá la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto.

Datos previos

H_0 =Hipótesis Nula

H_1 = Hipótesis Alterna

Grados de Libertad (G.L.)

G.L. de las variables dependientes

- Grados de libertad:
 $(A-1) = 3$, $(B-1) = 5$ y n (número de réplicas) = 7
- Grados de libertad de AB
 $(A-1) \times (B-1) = 15$
- Grados de libertad del error:

$(A \times B) \times (n-1) = 144$

Cálculo de F teórico:

Grados de Libertad de A = 3

Grados de Libertad de B = 5

Grados de Libertad de Ax B = 15

Grados de Libertad del error = 144

Tabla 87. Datos y valores del F teórico.

F teórico	Valor
A	2.60
B	2.21
A x B	1.67

Cálculo de la F experimental para los valores de ensayo de resistencia a la compresión

Tabla 88. F experimental para ensayo de resistencia a compresión

	FACTOR B: Porcentajes de residuos PET					
	0%	2.50%	5%	7.50%	10%	12.50%
Reemplazo de AG x PET	445.56	419.89	397.85	387.83	376.39	359.51
	438.28	416.48	393.28	385.24	373.14	362.26
	445.97	417.51	389.50	385.47	373.27	361.89
	436.25	417.27	397.75	392.02	377.33	358.89
	437.26	420.00	395.00	392.64	376.29	361.45
	437.23	419.30	392.12	391.09	376.05	361.09
Reemplazo de AF x PET	445.72	417.36	395.86	386.19	373.52	361.73
	445.56	429.35	423.92	414.52	402.28	403.47
	438.28	430.25	422.68	419.30	415.95	407.35
	445.97	424.27	417.87	421.15	413.74	406.30
	436.25	422.23	417.76	412.84	409.07	404.78
	437.26	424.52	418.19	405.63	397.97	405.01
Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET	437.23	438.34	417.40	413.62	415.92	407.41
	445.72	445.82	421.47	419.78	408.45	406.18
	445.56	426.05	414.79	409.68	368.32	340.67
	438.28	424.04	418.06	410.70	357.46	339.04
	445.97	423.92	423.19	419.20	357.26	339.07
	436.25	428.48	422.30	419.08	356.32	342.29
Adición de PET a la mezcla AG y AF	437.26	426.68	411.95	409.10	357.64	344.41
	437.23	427.30	422.70	412.16	371.71	343.89
	445.72	426.71	414.06	418.11	367.85	340.10
	445.56	433.43	446.76	380.18	363.72	357.41
	438.28	431.52	443.94	375.04	362.69	356.78
	445.97	429.28	444.21	376.08	367.51	355.89
	436.25	428.84	447.02	379.61	367.43	354.79
	437.26	441.94	446.10	375.26	367.48	355.38
	437.23	438.74	440.42	378.46	367.76	356.16
	445.72	439.43	444.06	378.26	365.24	356.48

ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 89. Estimación de Y_j y Y_i para ensayo de resistencia a la compresión

		FACTOR B: Porcentajes de residuos PET						Y _i
		0%	2.5%	5.0%	7.5%	10.0%	12.5%	
FACTOR A: Tipos de reemplazo y adición de residuos PET	Reemplazo de AG x PET	3086.25	2927.82	2761.37	2720.48	2625.98	2526.83	16648.73
	Reemplazo de AF x PET	3086.25	3014.78	2939.28	2906.85	2863.39	2840.50	17651.06
	Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET	3086.25	2983.18	2927.05	2898.03	2536.56	2389.49	16820.56
	Adición de PET a la mezcla AG y AF	3086.25	3043.18	3112.50	2642.90	2561.82	2492.88	16939.54
	Y_j	12345.01	11968.96	11740.20	11168.25	10587.75	10249.70	68059.88

- **Análisis de Varianza y F de Fisher**

Suma de cuadrados

- ✓ Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{b \times n} - \frac{Y_T^2}{a \times b \times n}$$

$$SS_A = 27586166.90 - 27572304.41 = 13862.49$$

- ✓ Suma de cuadrados para el factor B

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{a \times n} - \frac{Y_T^2}{a \times b \times n}$$

$$SS_B = 27691942.34 - 27572304.41 = 119637.93$$

- ✓ Suma de cuadrados subtotales.

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{a \times b \times n}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 27734928.64 - 27572304.41 = 162624.22$$

- ✓ Suma de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B = 29123.80$$

- ✓ Suma de cuadrados totales.

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{a \times b \times n}$$

$$SS_T = 27737365.4 - 27572304.41 = 165061.03$$

- ✓ Suma de cuadrados del error:

$$SS_E = SS_T + SS_A + SS_B + SS_{AxB} = 2436.81$$

Media de cuadrados

- ✓ Media de los cuadrados del factor A.

$$MS_A = \frac{SS_A}{a-1} = 4620.83$$

- ✓ Media de los cuadrados del factor B.

$$MS_B = \frac{SS_B}{b-1} = 23927.59$$

- ✓ Media de la interacción de factores A x B

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a-1) \times (b-1)} = 1941.59$$

- ✓ Media de los cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(ab) \times (n-1)} = 16.922$$

F₀ experimental

- ✓ F₀ (A)

$$F_0 (A) = \frac{MS_A}{MS_E} = 273.06$$

- ✓ F₀ (B)

$$F_0 (B) = \frac{MS_B}{MS_E} = 1413.97$$

- ✓ F₀ (A x B)

$$F_0 (A \times B) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E} = 114.74$$

Tabla 90. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de resistencia a la compresión

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F. Experimental	F. Teórico
A	3	13862.49	4620.83	273.06	2.21
B	5	119637.93	23927.59	1413.97	2.6
A x B	15	29123.80	1941.59	114.74	1.67
ERROR	144	2436.81	16.92		

- **Análisis de Confiabilidad**

Como el F. EXPERIMENTAL < F. TEÓRICO

Se acepta: H_0 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, aumentará la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto.

Y se rechaza H_1 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, disminuirá la resistencia a la compresión de los adoquines de concreto.

1.2. Análisis estadístico de los datos experimentales del ensayo de absorción

H_0 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, disminuirá el porcentaje de absorción de los adoquines de concreto.

H_1 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, aumentará el porcentaje de absorción de los adoquines de concreto.

Cálculo de la F experimental para los valores de ensayo de absorción

Tabla 91. F experimental para ensayo de absorción

		FACTOR A: Porcentajes de residuos PET					
		0%	2.50%	5%	7.50%	10%	12.50%
FACTOR B: Tipos de reemplazo y adición de residuos PET	Reemplazo de AG x PET	4.45	4.85	5.19	5.93	6.10	6.44
		4.52	4.77	5.23	5.91	6.14	6.46
		4.46	4.74	5.20	5.90	6.12	6.45
		4.50	4.74	5.24	5.88	6.06	6.40
		4.50	4.89	5.27	5.98	6.09	6.46
		4.47	4.86	5.26	5.73	6.07	6.49
		4.49	4.73	5.28	5.93	6.08	6.43
	Reemplazo de AF x PET	4.45	4.89	5.14	5.47	5.87	6.27
		4.52	4.71	5.00	5.44	5.94	6.14
		4.46	4.80	5.01	5.57	6.08	6.06
		4.50	4.82	5.02	5.45	5.97	6.16
		4.50	4.69	5.00	5.59	5.80	6.09
		4.47	4.79	5.08	5.56	5.81	6.06
		4.49	4.78	4.96	5.58	5.90	6.09
	Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET	4.45	5.27	6.50	7.17	8.04	8.76
		4.52	5.33	6.49	7.15	8.08	8.61
		4.46	5.27	6.52	7.15	8.07	8.72
		4.50	5.36	6.52	7.35	8.04	8.71
		4.50	5.38	6.55	7.34	8.08	8.90
		4.47	5.32	6.49	7.22	8.05	8.96
		4.49	5.36	6.54	7.36	8.07	8.94
	Adición de PET a la mezcla AG y AF	4.45	4.77	4.38	7.82	8.46	9.38
		4.52	4.65	4.26	7.72	8.53	9.25
		4.46	4.76	4.24	7.87	8.40	9.15
4.50		4.71	4.25	7.71	8.42	9.14	
4.50		4.75	4.35	7.81	8.45	9.16	
4.47		4.55	4.32	7.85	8.48	9.17	
4.49		4.68	4.39	7.49	8.79	9.57	

Tabla 92. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de absorción

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F. Experimental	F. Teórico
A	3	64.38	21.46	3560.53	2.21
B	5	236.63	47.33	7851.68	2.6
A x B	15	69.94	4.66	773.51	1.67
ERROR	144	0.868	0.01		

- **Análisis de Confiabilidad**

Como el F. EXPERIMENTAL < F. TEÓRICO

Se acepta: H_0 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, disminuirá el porcentaje de absorción de los adoquines de concreto.

Y se rechaza H_1 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, aumentará el porcentaje de absorción de los adoquines de concreto.

1.3. Análisis estadístico de los datos experimentales del ensayo de desgaste a la abrasión

H_0 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, disminuirá el desgaste superficial con un menor ancho de huella en los adoquines de concreto.

H_1 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, aumentará el desgaste superficial con un mayor ancho de huella de los adoquines de concreto.

Cálculo de la F experimental para los valores de ensayo de desgaste a la abrasión

Tabla 93. F experimental para ensayo de desgaste a la abrasión

		FACTOR A: Porcentajes de residuos PET					
		0%	2.50%	5%	7.50%	10%	12.50%
FACTOR B: Tipos de reemplazo y adición de residuos PET	Reemplazo de AG x PET	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0
		19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0
		19.5	20.0	21.0	21.0	21.5	22.0
		19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	21.5
		19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0
		19.5	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0
		19.5	20.0	21.0	21.0	21.5	22.0
	Reemplazo de AF x PET	19.5	20.0	20.5	20.5	21.0	21.5
		19.5	20.0	20.5	20.5	21.5	21.5
		19.5	20.0	20.5	20.5	21.5	21.5
		19.5	20.0	20.5	20.5	21.0	21.5
		19.5	20.0	20.5	20.5	21.0	21.5
		19.5	20.0	20.5	20.5	21.5	21.5
	Reemplazo de la mezcla de AG y AF x PET	19.5	20.5	21.0	21.5	22.5	23.0
		19.5	20.5	21.0	21.5	22.5	23.0
		19.5	20.5	21.0	21.5	22.5	23.0
		19.5	20.5	21.0	21.5	22.5	22.5
		19.5	20.5	21.0	21.5	22.5	23.0
		19.5	20.5	21.0	21.5	22.5	23.0
	Adición de PET a la mezcla AG y AF	19.5	19.5	20.0	20.5	21.0	21.5
19.5		19.5	20.0	20.5	21.5	21.5	
19.5		20.0	20.0	20.5	21.0	22.0	
19.5		20.0	20.0	21.0	21.0	21.5	
19.5		20.0	20.0	21.0	21.0	21.5	
19.5		20.0	20.0	21.0	21.0	21.5	

Tabla 94. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de desgaste a la abrasión

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F. Experimental	F. Teórico
A	3	18.46	6.153	344.56	2.21
B	5	118.46	23.963	1326.80	2.6
A x B	15	7.45	0.497	27.82	1.67
ERROR	144	2.571	0.018		

- **Análisis de Confiabilidad**

Como el $F_{\text{EXPERIMENTAL}} < F_{\text{TEÓRICO}}$

Se acepta: H_0 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, disminuirá el desgaste superficial con un menor ancho de huella de los adoquines de concreto.

Y se rechaza H_1 = A medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuos PET, aumentará el desgaste superficial con un mayor ancho de huella de los adoquines de concreto.

ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 42. Daños generados en veredas de concreto

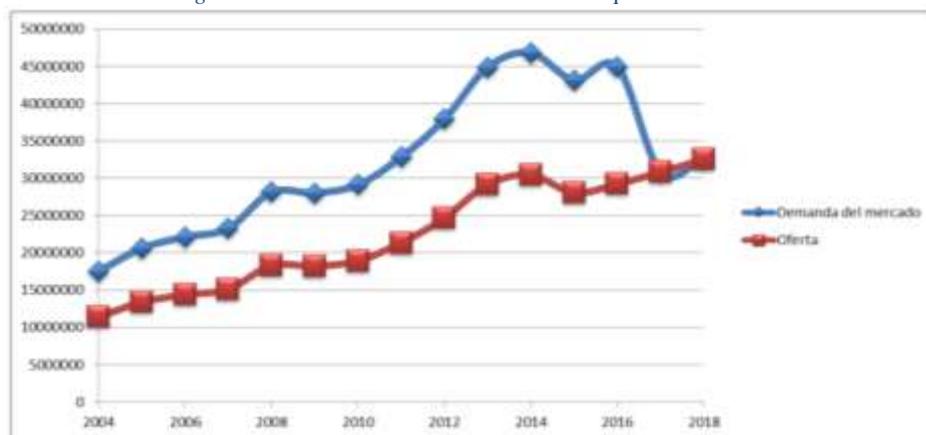


Figura 43. Instalación de adoquines tipo I



Fuente: The owl digital diary

Figura 44. Gráfico de demanda anual de adoquines en el Perú



Fuente: Pastor, Salazar, Seminario, Tineo y Zapata, 2015

Figura 45. Pasaje adoquinado del Jr. Pizarro – Trujillo



Fuente: La República.com

Figura 46. Instalación de adoquines del Jr. Grau – Trujillo



Fuente: La República.com

Figura 47. Máquinas bloqueras para adoquines

a. Máquina bloquera estacionaria para adoquines



Fuente: Bloqueras Perú S.A.C

b. Máquina bloquera electromecánica para adoquines



Fuente: Bloqueras pressmac querétaro

c. Máquina bloquera hidráulica para adoquines



Fuente: Maquinaria 10

Figura 48. Residuos plásticos de origen domiciliario



Fuente: Diario Posta

Figura 49. Botadero controlado El Milagro - Trujillo



Fuente: Servicio de gestión ambiental de Trujillo

Figura 50. Colapso de basura del botadero El Milagro



Fuente: Plataforma digital única del estado peruano

Figura 51. Laboratorio de la Universidad Privada del Norte - sede San Isidro - Trujillo



Tabla 95. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>¿De qué manera influye el reemplazo y el porcentaje de los residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I sobre la compresión, absorción y abrasión, Trujillo, 2020?</p> <p>Prob. Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> De qué manera se diseña la mezcla por método ACI 211 y optimizar la dosificación para un adoquín reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno. Cómo afecta el comportamiento de la resistencia a la compresión reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I. Cómo afecta el porcentaje de absorción reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de 	<p>O. General: Evaluar la influencia que tiene el reemplazo y porcentaje de los residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I sobre la compresión, absorción y abrasión de la ciudad de Trujillo.</p> <p>O. Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Diseñar la mezcla por método ACI 211 y optimizar la dosificación para un adoquín reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno. Analizar el comportamiento de la resistencia a la compresión reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I. Evaluar el porcentaje de absorción reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de 	<p>Aguilera y Diestra (2017) en su tesis titulada “Influencia de la fibra de PET a partir de botellas recicladas sobre el comportamiento mecánico en un concreto aplicado en prefabricados”</p> <p>Arangurí Castillo (2015) en una publicación de la revista Ingeniería titulada “La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad”.</p> <p>Becerra (2019) en su tesis titulada “Reciclado de residuos plásticos PET en dosificación de mezclas de concreto para mitigar su impacto ambiental en la ciudad de Tacna”.</p> <p>Di Marco (2015) en una publicación de la revista ESAICA titulada “Diseño y elaboración de un sistema de adoquines de bajo costo y material reciclado para</p>	<p>H. General: El reemplazo y porcentaje de residuos de tereftalato de polietileno influye significativamente en adoquines tipo I sobre la compresión, absorción y abrasión de la ciudad de Trujillo, 2020.</p> <p>H. Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> El aumento de residuos de tereftalato de polietileno disminuirá la resistencia a la compresión en adoquines tipo I para construcciones de obras viales. El incremento de residuos de tereftalato de polietileno aumentará la absorción en adoquines tipo I para construcciones de obras viales A mayor cantidad de residuos de tereftalato de polietileno, la resistencia al desgaste a la abrasión disminuye en adoquines tipo I para 	<p>V. Independiente:</p> <p>A. Tipos de reemplazo de residuos PET</p> <p>a1 = Reemplazo de agregado grueso por PET</p> <p>a2 = Reemplazo de agregado fino por PET</p> <p>a3 = Reemplazo de la mezcla de agregado grueso y agregado fino por PET</p> <p>a4 = Adición de PET a la mezcla de agregado grueso y agregado fino</p> <p>B. Porcentajes de residuos PET</p> <p>• b1 = 2.5%, b2 = 5%, b3 = 7.5%, b4 = 10%, b5 = 12.5%</p> <p>V. Dependiente:</p> <p>Propiedades de concreto.</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Compresión, Kg/cm² Absorción, % Abrasión, mm 	<p>Diseño de Investigación:</p> <p>Diseño experimental</p> <p>Unidad de Estudio: Un Adoquín tipo I de 20 x 10 x 6 cm adicionado con residuos de Tereftalato de polietileno.</p> <p>Población: Todos los adoquines tipo I (20 cm x 10 cm x 6 cm) en la ciudad de Trujillo.</p> <p>Muestra :</p> <p>Técnica de Muestreo:</p> <p>Muestreo probabilístico, por conveniencia para porque todos los adoquines adicionados con residuos de Tereftalato de polietileno elaborados tuvieron la misma posibilidad de ser elegidas.</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</p> <p>Técnica: La observación</p>

<p>polietileno en adoquines tipo I.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cómo afecta las dimensiones del ancho de huella a través del desgaste a la abrasión reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I. • De qué manera se contrasta el SPSS y el ANOVA la influencia de las variables independientes sobre las dependientes. • De qué manera se realiza el contraste de costos entre los adoquines tradicionales y los adoquines con residuos de tereftalato de polietileno. 	<p>polietileno en adoquines tipo I.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar las dimensiones del ancho de huella a través del desgaste a la abrasión reemplazando y adicionando residuos de tereftalato de polietileno en adoquines tipo I. • Contrastar a partir del SPSS y el ANOVA la influencia de las variables independientes sobre las dependientes. • Realizar un contraste de costos entre los adoquines tradicionales y los adoquines con residuos de tereftalato de polietileno. 	<p>construcciones en núcleos rurales, Colombia”.</p> <p>Jaimes (2018) en su tesis titulada “Resistencia de adoquines de concreto F^c = 320 Kg/cm², sustituyendo el cemento en 15% y 30% por una combinación de cáscara de huevo y vidrio molido”</p> <p>Léctor y Villarreal (2017) en su tesis titulada “Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de nuevo Chimbote”</p> <p>Montiel (2017) en su tesis titulada “Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales”</p> <p>Morales, (2016) en su tesis titulada Estudio del</p>	<p>construcciones de obras viales.</p>		<p>Porque permitió obtener un registro visual de una situación real de ensayos de la resistencia a la compresión, la absorción y desgaste a la abrasión que tuvo un adoquín, así mismo permitió registrar datos cuantitativos y cualitativos.</p> <p>El instrumento empleado para la técnica de la observación fue la guía de observación como las fichas técnicas, normas porque permitió visualizar y detallar el comportamiento del fenómeno en los ensayos y la lista de cotejo que se encuentran en las tablas de la metodología porque permitió registrar datos cuantitativos.</p> <p>Técnicas de análisis de datos:</p> <p>Inferencia estadística</p> <p>Software : Prueba de normalidad SPSS</p>
--	--	---	--	--	---

		<p>comportamiento del concreto incorporando PET reciclado”</p> <p>Pérez (2012) en una publicación de la revista INGENIUM titulada “Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto, Colombia”,</p> <p>Poveda, Granja, Hidalgo, & Ávila (2015) en una publicación de la revista Politécnica titulada “Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A”</p>			<p>Prueba de hipótesis, Test de Shapiro Wilk..</p>
--	--	--	--	--	--



INFORME N°01/JUL20

CERTIFICADO DE LABORATORIO

Solicitante: Toribio Mauricio Juan Fernando
Institución: Universidad Privada del Norte / Sede Trujillo
Investigación: Influencia del reemplazo y porcentaje de residuos de PET en adoquines tipo I sobre la compresión, absorción y abrasión, Trujillo, 2020

MUESTRA:

Especímenes: 441 muestras de adoquines tipo I peatonal de dimensiones de 20 cm x 10 cm x 6 cm
Muestreo: Realizado por testista.

ENSAYOS A APLICAR. Las principales Normas Técnicas vigentes que rigen la calidad de los adoquines son:

- Resistencia a la compresión en unidades de concreto. Requisitos NTP 331.034.
- Ensayo de absorción. Requisitos NTP 339.604.
- Resistencia a la abrasión. Requisitos NTE INEN 3040.

PARÁMETROS DEL EQUIPO:

Compresión en estado endurecido				
Marca	Modo	Unidades	Velocidad de carga	Capacidad máxima
Ele International	Mode I: compresión	SI	0.05 KN/seg.	2000 KN
Estufa de secado				
Marca	Modo	Unidades	Capacidad máxima	
General Electric	Mode I: Secado	SI	400° C	
Desgaste de concreto				
Marca	Modo	Unidades	Capacidad máxima	
-	Mode I: Abrasión	SI	1 unidad	

Jefe de laboratorio de concreto y reciclado: Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo, 17 de Julio del 2020



Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro
Asesor

Iván E. Vásquez Alfaro
ING. MATERIALES
R. OP. 121988

> FICHA TÉCNICA

CEMENTO ANTI SALITRE

CON ADICIONES
ACTIVAS +LH+R

TIPO HS



> CEMENTO DE USO GENERAL

Cuenta con ventajas y propiedades únicas para el uso en la industria, minería, infraestructura vial, construcción de viviendas, edificios, obras de concreto estructural, obras hidráulicas y aquellas que estén expuestas a suelos húmedos salitrosos, al agua de mar y brisa marina.



PÍDELO EN LA RED INKA

☎ (01)5000600 Anx.125

☎ 946528340

📍 Sub lote 2C Cajamarquilla
Lurigancho/Chosica, Lima.

> CARACTERÍSTICAS

El Cemento INKA Anti Salitre posee bajo calor de hidratación y alta resistencia a los sulfatos, así como baja reactividad con agregados álcali-reactivos. Estas características resultan ideales para cualquier construcción en zonas húmedas salitrosas y expuestas al agua de mar. Por ello, cumplen con las normas técnicas NTP 334.082 y la ASTM C-1157.

Sus adiciones activas, complementadas con una molienda extrafina, disminuyen la posibilidad del ingreso de cualquier agente agresor. Asimismo, protegen los aceros de refuerzo contra la acción de los cloruros, lo que garantiza una mayor durabilidad de la obra.

> PROPIEDADES

- SUPER RESISTENTE AL SALITRE
- MAYOR IMPERMEABILIDAD Y DURABILIDAD
- MAYOR RESISTENCIA EN EL TIEMPO
- BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN
- RESISTENTE A LA REACCIÓN ÁLCALI- SÍLICE

CUIDAMOS NUESTRO
MEDIO AMBIENTE



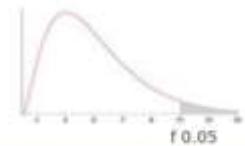
Conforme a normas técnicas:
NTP 334.082 / ASTM C-1157

 /CementoInkaPeru

cementosinka.com.pe

Cátedra: Probabilidad y Estadística
Facultad Regional Mendoza
UTN

Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)



Grados de libertad del Denominador	Grados de libertad del Numerador														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161,4	199,5	215,7	234,8	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,786	2,761	2,739	2,719
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,685	2,660	2,637	2,617
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,026	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,175	2,150	2,128
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,620	2,508	2,422	2,355	2,300	2,255	2,216	2,184	2,155	2,130	2,108
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,322	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,312	2,244	2,188	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992
33	4,139	3,285	2,892	2,658	2,502	2,389	2,302	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,981
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,227	2,171	2,125	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,073	2,041	2,012	1,986	1,963
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,952	1,917	1,887	1,860	1,836
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,289	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,751
inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,789	1,752	1,720	1,692	1,666

Distribución F (0,05) - Pág. 1

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO MONIMAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS									
		50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 1/2 in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.)	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4)	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 339.033
2009

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo

CONCRETE. Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 31/C 31M-2008b Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

2009-08-26
3ª Edición

R.026-2009/INDECOPI-CNB. Publicada el 2009-09-13 Precio basado en 17 páginas
I.C.S.: 91.100.30 ESTA NORMA ES RECOMENDABLE
Descriptores: Hormigón, concreto, práctica normalizada, elaboración, curado, especímenes de concreto

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 399.604
2002

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto

MASONRY UNITS. Standard test methods of sampling and testing concrete masonry units

2002-12-05
1ª Edición

R.0130-2002/INDECOPI-CRT Publicada el 2002-12-15

Precio basado en 16 páginas

I.C.S.: 91.100.01

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Absorción, resistencia a la compresión, unidades de albañilería de concreto, densidad, espesor equivalente, espesor equivalente del tabique, cara lateral, contenido de agua, espesor del tabique, tabique

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 399.624
2006 (revisada el 2015)

Dirección de Normalización - INACAL
Calle Las Camelias 815, San Isidro (Lima 27)

Lima, Perú

**UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para
determinar la resistencia al desgaste por abrasión de
adoquines de concreto utilizando la máquina de desgaste**

MASONRY UNITS. Method of test to determine the resistance to the wearing down by concrete paving
blocks using the wearing down machine

2015-12-11
1ª Edición

R.N° 010-2015-INACAL/DN. Publicada el 2015-12-25

Precio basado en 12 páginas

I.C.S.: 91.100.01

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Resistencia a la abrasión; desgaste; máquina de desgaste; adoquín

© INACAL 2015



NORMA TÉCNICA
ECUATORIANA

NTE INEN 3040

2015-xx

**ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y METODOS DE
ENSAYO.**

CONCRETE PAVING BLOCKS. REQUIREMENTS AND TEST METHODS

DESCRIPTORES: Adoquines, terminología, clasificación, requisitos, métodos de ensayo
ICS: 91.100.30

54
Páginas

INFRAESTRUCTURA VIAL EXISTENTE DEL SINAC, SEGÚN DEPARTAMENTO 2018

Kilómetros

DEPARTAMENTO	LONGITUD TOTAL	NACIONAL			DEPARTAMENTAL			VECINAL		
		SUB TOTAL	Pavimentada	No Pavimentada	SUB-TOTAL	Pavimentada	No Pavimentada	SUB-TOTAL	Pavimentada	No Pavimentada
TOTAL	168,473.1	27,109.6	21,434.0	5,675.6	27,505.6	3,623.1	23,882.5	113,857.9	1,858.9	111,999.0
Amazonas	3,341.4	851.9	851.9	0.0	746.5	31.3	715.3	1,742.9	0.0	1,742.9
Ancash	10,775.2	1,091.4	1,234.4	659.0	1,218.6	482.8	735.8	7,663.3	112.4	7,550.9
Apurímac	7,491.1	1,281.0	923.2	357.8	1,261.9	9.1	1,252.8	4,948.1	7.3	4,940.9
Arequipa	9,391.4	1,497.1	1,215.6	281.5	1,738.9	571.0	1,167.9	6,155.4	402.3	5,753.2
Ayacucho	12,360.6	1,801.0	1,664.5	136.5	1,853.7	264.0	1,589.9	8,702.9	19.0	8,686.9
Cajamarca	14,649.2	1,730.9	1,465.3	275.7	886.4	31.8	854.6	12,023.0	40.1	11,983.7
Callao	50.3	43.4	43.4	0.0	6.9	5.2	1.7	0.0	0.0	0.0
Cusco	17,888.0	2,034.1	1,623.4	410.7	2,801.2	480.9	2,320.3	12,252.7	115.3	12,137.4
Huancavelica	8,227.0	1,403.7	1,194.5	209.1	2,002.3	21.3	1,981.0	4,821.1	0.7	4,820.4
Huánuco	7,798.6	1,305.5	674.9	630.6	772.4	16.7	755.8	5,630.7	4.0	5,626.7
Ica	3,505.2	697.9	680.7	17.2	743.1	48.9	694.1	2,004.2	82.0	1,922.2
Iquitos	11,981.8	1,741.5	984.4	757.1	1,126.9	67.7	1,059.2	9,115.5	212.9	8,902.6
La Libertad	8,796.0	1,261.8	794.2	467.6	1,032.1	92.0	940.1	5,602.1	155.8	5,446.3
Lambayeque	3,291.0	562.0	452.6	109.3	672.4	200.6	471.8	2,056.6	27.6	2,029.1
Lima	7,513.0	1,684.4	1,282.8	401.6	1,577.3	160.4	1,416.9	4,251.3	166.3	4,084.9
Loreto	891.2	124.9	93.6	31.3	320.7	97.2	223.6	445.5	19.1	426.4
Madre de Dios	2,015.0	399.3	399.3	0.0	340.0	2.3	337.8	1,275.8	6.4	1,269.4
Moquegua	2,643.2	469.2	469.2	0.0	908.9	91.4	817.6	1,265.1	99.0	1,166.3
Pasco	3,292.5	590.2	346.9	243.3	607.6	34.4	573.1	2,094.7	0.0	2,094.7
Piura	8,934.2	1,736.0	1,586.8	149.2	589.7	167.5	422.2	6,608.5	170.6	6,437.9
Puno	13,211.6	2,018.0	1,779.4	238.7	2,368.0	436.4	1,931.6	8,825.6	42.4	8,783.2
San Martín	5,289.6	873.2	728.4	144.8	966.1	161.4	804.7	3,450.2	0.1	3,450.1
Tarma	2,520.3	635.7	584.4	51.3	489.7	83.0	406.7	1,394.9	163.1	1,231.8
Tumbes	991.1	138.5	138.5	0.0	285.3	89.5	195.8	567.3	9.3	558.0
Ucayali	2,512.6	327.2	221.6	105.6	1,288.0	5.5	1,282.5	896.6	2.3	894.3

Fuente: GTT-31.Dic.2018