



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Efecto de las Partículas de Tereftalato de Polietileno Reciclado en la Resistencia a la  
Compresión y Desgaste de Adoquines de Concreto.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Civil

AUTORAS:

Rodríguez Sánchez, Olenka Kelda (ORCID: 0000-0001-5940-5836)

Villarreal Centurión, Lady Elizabeth (ORCID: 0000-0002-0075-8677)

ASESORES:

Dr. Valdivieso Velarde, Alan Yordan (ORCID: 0000-0002-8179-2809)

Mg. Chávez Novoa, Danny Mesías (ORCID: 0000-0002-8513-7764)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

TRUJILLO – PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

*Al ser supremo, por la salud, sabiduría y fuerzas  
para seguir adelante en las adversidades  
sin desfallecer en el intento.*

*A la familia, que son lo mejor y más valioso que tenemos;  
a nuestros padres, por su apoyo incondicional en la parte  
moral y económica necesarios para nuestra  
formación profesional.*

*A los asesores, por el ánimo para seguir día a día en  
esta investigación.*

***Olenka Kelda, Rodríguez Sánchez  
Lady Elizabeth, Villarreal Centurión***

## **AGRADECIMIENTO**

*A nuestro centro de estudios, la Universidad Privada César Vallejo,  
por brindarnos los conocimientos que se aplican  
en la vida profesional.*

*Al Ing. Alan Valdivieso, director de la escuela de Ingeniería  
Civil, por brindar las facilidades necesarias y asesoría.*

*Al Ing. Marlon Farfán, por su asesoría metodológica y apoyo  
constante en la redacción.*

*Al Ing. Danny Chávez, por la oportunidad de recurrir a su  
capacidad y conocimientos brindados en esta investigación.*

*Al Ing. Alexander Vega, por su motivación en la búsqueda de  
el porqué del comportamiento de los materiales.*

*Al Ing. Paul Sisniegas, por demostrar interés en la  
redacción de esta investigación y su motivación constante  
en la búsqueda de la perfección.*

***Olenka Kelda, Rodríguez Sánchez***

***Lady Elizabeth, Villarreal Centurión***

## Página del Jurado

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Olenka Kelda Rodríguez Sánchez y Lady Elizabeth Villarreal Centurión, estudiantes de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo, identificadas con DNI N° 70348804 y 70820425; a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, declaramos bajo juramento que la tesis es de nuestra autoría y que toda la documentación, datos e información que en ella se presenta es veraz y auténtica.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto del contenido de la presente tesis como de la información adicional aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 20 de Julio del 2020



---

Olenka Kelda Rodríguez Sánchez

DNI: 70348804



---

Lady Elizabeth Villarreal Centurión

DNI: 70820425

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
PÁGINA DEL JURADO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MÉTODO.....	14
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	14
2.2. Operacionalización de variables.....	15
2.3. Población, muestra y muestreo.....	16
2.3.1. Población .....	16
2.3.2. Muestra.....	16
2.3.3. Muestreo .....	17
2.3.4. Criterios de Selección.....	18
2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos, Validez y Confiabilidad .....	19
2.4.1 Técnicas.....	19
2.4.2 Instrumento.....	19
2.4.3 Validez.....	19
2.4.4 Confiabilidad .....	20
2.5. Procedimientos .....	20
2.5.1. Agregados: Cantera “EL MILAGRO S.A.” .....	20
2.5.2. Extracción y preparación de los Áridos (NTP 400.010) .....	20
2.5.3. Análisis Granulométrico (ASTM C - 136) .....	22
2.5.4. Módulo de fineza de los Agregados (NTP 400.037).....	22
2.5.5. Contenido de Humedad (ASTM D - 2216).....	23

2.5.6. Peso Unitario (ASTM C - 29).....	24
2.5.7. Peso Específico Aparente .....	25
2.5.8. Absorción.....	26
2.5.9. Diseño de Mezcla (ACI 211).....	28
2.5.10. Elaboración y Curado de Adoquines de Concreto (NTP 339.033) .....	28
2.5.11. Ensayo de Resistencia a la Compresión de Adoquines (NTP399.604).....	29
2.5.12. Ensayo de Tolerancia Dimensional (NTP 399.604) .....	29
2.5.13. Ensayo de Desgaste por Abrasión de Adoquines (NTP 399.624).....	29
2.5.14. Ensayo de Absorción de Adoquines de Concreto (NTP 399.604) .....	30
2.6. Métodos de Análisis de datos .....	30
2.7. Aspectos éticos .....	30
III. RESULTADOS.....	31
3.1. Propiedades físicas y mecánicas del tereftalato de polietileno reciclado.....	31
3.2. Análisis Físico del Agregado Fino y Agregado Grueso .....	32
3.3. Diseño de Mezclas para $f'c = 320 \text{ kg/cm}^2$ .....	34
3.4. Ensayo de resistencia a la compresión y desgaste de los prototipos de adoquines con distintas dosificaciones de tereftalato de polietileno. ....	36
3.5. Porcentaje de tereftalato de polietileno reciclado empleado en el adoquín para obtener la mayor resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.....	47
3.6. Porcentaje de tereftalato de polietileno reciclado empleado en el adoquín para obtener la mayor resistencia al desgaste a los 28 días de curado.....	47
3.7. Determinar si los prototipos elaborados cumplen con los requerimientos como material de adoquín para pavimento articulado tipo I. ....	47
IV. DISCUSIÓN.....	51
V. CONCLUSIONES .....	55
VI. RECOMENDACIONES .....	56
REFERENCIAS .....	57
ANEXOS .....	59

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Operacionalización de Variables .....	15
<b>Cuadro 2.</b> Cantidad de Probetas para el Ensayo de Resistencia a la Compresión de concreto simple.....	16
<b>Cuadro 3.</b> Cantidad de Probetas para el Ensayo de Resistencia a la Compresión de concreto simple con Tereftalato de Polietileno. ....	16
<b>Cuadro 4.</b> Cantidad de Probetas sometidas al Ensayo de Desgaste por Abrasión de Concreto Simple. ....	17
<b>Cuadro 5.</b> Cantidad de Probetas sometidas al Ensayo de Desgaste por Abrasión de Concreto Simple con Tereftalato de Polietileno.....	17
<b>Cuadro 6.</b> Medida de las muestras .....	21
<b>Cuadro 7.</b> Granulometría del Confitillo .....	21
<b>Cuadro 8.</b> Datos técnicos del Tereftalato de Polietileno.....	31
<b>Cuadro 9.</b> Características Físicas de los Agregados.....	34
<b>Cuadro 10.</b> Diseño de Mezclas para Concreto Simple.....	34
<b>Cuadro 11.</b> Diseño de Mezclas de concreto con 3% de PET.....	35
<b>Cuadro 12.</b> Diseño de Mezclas de concreto con 5% de PET.....	35
<b>Cuadro 13.</b> Diseño de Mezclas de concreto con 7% de PET.....	36
<b>Cuadro 14.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto Simple.....	36
<b>Cuadro 15.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto con 3% de RPET.....	37
<b>Cuadro 16.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto con 5% de RPET.....	37
<b>Cuadro 17.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto con 7% de RPET.....	37
<b>Cuadro 18.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto Simple.....	38
<b>Cuadro 19.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto con 3% de RPET.....	38
<b>Cuadro 20.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto con 5% de RPET.....	38
<b>Cuadro 21.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto con 7% de RPET.....	39
<b>Cuadro 22.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto Simple.....	39
<b>Cuadro 23.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto con 3% de RPET.....	39
<b>Cuadro 24.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto con 5% de RPET.....	40
<b>Cuadro 25.</b> Resistencia a la Compresión de Concreto con 7 % de RPET.....	40
<b>Cuadro 26.</b> Desgaste a la abrasión de Concreto Simple a los 28 días de curado. ....	44
<b>Cuadro 27.</b> Desgaste a la abrasión de Concreto Modificado a los 28 días de curado.....	44
<b>Cuadro 28.</b> Desgaste a la abrasión de Concreto Modificado a los 28 días de curado.....	45

**Cuadro 29.** Desgaste a la abrasión de Concreto Modificado a los 28 días de curado..... 46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Granulometría del Agregado Grueso (Especificación ASTM C-136)) .....	32
<b>Figura 2.</b> Granulometría del Agregado Fino (Especificación ASTM C-136)).....	33
<b>Figura 3.</b> Influencia del tiempo de curado en la Resistencia a la Compresión al incorporar 3% de Tereftalato de Polietileno Reciclado. ....	41
<b>Figura 4.</b> Influencia del tiempo de curado en la Resistencia a la Compresión al incorporar 5% de Tereftalato de Polietileno Reciclado. ....	42
<b>Figura 5.</b> Influencia del tiempo de curado en la Resistencia a la Compresión al incorporar 7% de Tereftalato de Polietileno Reciclado .....	43
<b>Figura 6.</b> Desgaste por Abrasión en gr/min durante 20 minutos a la edad de 28 días de curado. ....	45
<b>Figura 7.</b> Desgaste por Abrasión en gr/min durante 20 minutos a la edad de 28 días de curado. ....	46
<b>Figura 8.</b> Desgaste por Abrasión en gr/min durante 20 minutos a la edad de 28 días de curado. ....	47
<b>Figura 9.</b> Comparaciones de los resultados obtenidos con las Normas Técnicas Peruanas. ....	48
<b>Figura 10.</b> Comparaciones de los resultados obtenidos con las Normas Técnicas Peruanas. ....	49
<b>Figura 11.</b> Comparaciones de los resultados obtenidos con las Normas Técnicas Peruanas. ....	49

## RESUMEN

Esta investigación está enfocada a mejorar la resistencia de compresión y desgaste de adoquines convencionales tipo I empleando partículas de tereftalato de polietileno reciclado, tomando como referencia la NTP.399.611 y NTP.399.624. En los antecedentes mencionados se observó resultados positivos al sustituir el agregado fino por tereftalato de polietileno reciclado motivándonos a realizar este proyecto por el impacto positivo al medio ambiente y a su vez nos inspira a realizar más ensayos para mejorar las propiedades físicas del adoquín propuesto. El tereftalato de polietileno es empleado como un sustituyente en porcentajes de los agregados finos, las proporciones al peso de la mezcla incluyen tres, cinco y siete de tereftalato de polietileno reciclado respectivamente. Se partió con el análisis granulométrico correspondiente y así sucesivamente cada uno de los ensayos para determinar el diseño de mezcla óptimo y adecuado. Luego del moldeo de las muestras se realizaron los ensayos de la resistencia a la compresión a los siete, catorce y veintiocho días de curado, y el ensayo de desgaste por abrasión a los veintiocho días concluyendo que el tereftalato de polietileno reciclado tiene un efecto positivo en la resistencia a la compresión y desgaste de los adoquines convencionales. Con los datos obtenidos, se puede emplear el mortero de tereftalato de polietileno reciclado incluso en elementos estructurales, considerando los ensayos pertinentes. Se concluyó que incorporando el 3 % de tereftalato de polietileno, la resistencia a la compresión a los veintiocho días mejora en un 10.67 % y en la resistencia al desgaste por abrasión en el 3% de tereftalato de polietileno reciclado la huella aminoro en un 20.02 gr/min respecto a la muestra patrón.

**Palabras Claves:** Resistencia a la compresión, Resistencia al desgaste por abrasión y Partículas de tereftalato de polietileno reciclado.

## ABSTRACT

This research is focused on improving the resistance compression and wear of conventional type I pavers using recycled polyethylene terephthalate particles, taking as reference the NTP.399.611 and NTP.399.624. In the aforementioned background, positive results were observed when replacing the fine aggregate with recycled polyethylene terephthalate, motivating us to carry out this project due to the positive impact on the environment and in turn inspiring us to carry out more tests to improve the physical properties the proposed cobblestone. Polyethylene terephthalate is used as a substituent in percentages of fine aggregates, the proportions to the weight of the mixture include three, five and seven of recycled polyethylene terephthalate respectively. It started with the corresponding granulometric analysis and so on each of the tests to determine the design of the optimal and appropriate mixture. After the molding of the samples, the tests of the compressive strength at seven and fourteen and twenty-eight days of curing were performed, and the abrasion wear test at twenty-eight days concluding that the recycled polyethylene terephthalate has a positive effect on the resistance to the compression and wear of conventional pavers. With the data obtained, recycled polyethylene terephthalate mortar can be used even in structural elements, considering the relevant tests. It was concluded that by incorporating 3% of polyethylene terephthalate, the compressive strength at twenty-eight days improves by 10.67% and the abrasion resistance in 3% of recycled polyethylene terephthalate the slowed down footprint by 20.02 gr / min with respect to the standard sample.

**Keywords:** Compressive strength, Abrasion wear resistance and Recycled polyethylene terephthalate particles.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas se percibe un gran aumento de los desechos tóxicos que ponen en amenaza la salud de los seres vivos que conforman el planeta Tierra. Mundialmente, la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2018), da a conocer que los plásticos no se biodegradan solo se dividen hasta convertirse en micro plásticos y luego en nano plásticos, llegando el 90 % de éstos al mar, ocasionando daños a los ecosistemas.

Geyer, Jambeck y Lavender (2017), en el artículo “Production, use, and fate of all plastics ever made”, indican que a nivel mundial hasta el año 2015 se generó 6300 millones de metros cúbicos de residuos plásticos, de los cuales el 9% se recicló, el 12% se quemó y 79% se arrojó en vertederos y mares.

Por otro lado, el Perú a través del Ministerio del Ambiente (2018), aprobó la ley N° 30884 para regularizar el uso del plástico a través de medidas de prohibición, cobro, sensibilización, educación, entre otros. Dando a conocer que el 68% son plásticos de un solo uso y que las botellas de PET representan el 43.7 %, siendo éste el mayor porcentaje.

Además, en el diario oficial El Peruano. (2019), se da a conocer dicha ley que está en vigencia desde el 1 de agosto del año 2019 y a su vez en el artículo 10 se hace mención que los fabricantes de botellas de tereftalato de polietileno obligatoriamente deben incluir en su producción PET reciclado, en al menos 15% de su composición, cumpliendo con las normas de salubridad alimentaria. Si no hay cumplimiento no se otorga un certificado de biodegradabilidad, estando sujetos al impuesto al consumo de bolsas de plástico, siendo la cuantía por adquisición unitaria de S/0.10 en el 2019, S/0.20 en el 2020 y así sucesivamente cada año.

También, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2015), informa que la región La Libertad recoge un promedio de 1, 568.780 kg de residuos sólidos diarios del cual sólo se recicla el 19% de ello y el porcentaje restante en su mayoría, es arrojado en el Botadero Controlado de El Milagro, tal como se muestra en el *Anexo 1(pp.77)*.

Sánchez, Peña y Rico (2018), en el proyecto integrador “Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) Reciclado en la Ingeniería Civil” indican,

que, para producir 1000 millones de botellas de tereftalato de polietileno, se usa 24 millones de petróleo en galones, sustancias tóxicas, químicos y pigmentos colorantes perjudicando todos sus componentes a todos los seres vivos.

Hansen, Nilsson y Ravnhol (2014), en el artículo “Problematisk kemiske stoffer i plast” indican que, para reciclar las botellas de plásticos se tiene que fundir bloques de botellas “recicladas”, se eleva a altas temperaturas eliminando aproximadamente 132 sustancias tóxicas al medio ambiente y dentro de ellas hay sustancias químicas peligrosas que se filtran en el aire en forma de partículas de polvo y en el agua, las cuales son absorbidas por los seres vivos, lo que conllevaría a desarrollar diversas enfermedades y la contaminación ambiental.

Para entender el funcionamiento de la incorporación del tereftalato de polietileno reciclado en el concreto convencional se analizaron diversas investigaciones a nivel mundial y nacional, tal es el caso de Santiago et al (2015), en el artículo “Diseño y elaboración de adoquines de PET reciclado” en la Ciudad de México, se plantearon como objetivo fabricar adoquines de 0.50 m x 0.40 m x 0.06 m empleando PET reciclado realizando el ensayo a la compresión, quienes usaron 5% de PET reciclado como sustituyente del peso de los agregados finos. Teniendo como fin reducir el impacto ambiental negativo y disminuir los gases que producen al fabricar las botellas plásticas. Al realizar el ensayo a la compresión se obtuvo una resistencia de 350 Kg/cm<sup>2</sup>. Concluyendo que este adoquín puede ser usado en las obras de construcción tanto públicas y privadas.

Botero et al (2014), en el artículo “Comportamiento mecánico del polietileno tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas”, emplearon envases de PET reciclado con el objetivo de que estas soporten edificaciones livianas construidas sobre suelos blandos y como alternativa de ser utilizado como reemplazo, relleno y mejoramiento de suelos en la Ciudad de México. Para esto se realizó el ensayo a la compresión de dos grupos denominados E<sub>19</sub> que representa el uso del envase de bebidas carbonatadas usado un 7 % y E<sub>28</sub>, las bebidas de agua mineral usado un 11%. Teniendo como resultados que E<sub>19</sub> es 24.000 N/m<sup>2</sup> y E<sub>28</sub>, 31.086 N/m<sup>2</sup>. Se concluyó que ambos grupos mejoran su resistencia a la compresión en 1.25% y pueden ser usados en construcciones livianas, aligeramiento y nivelación en áreas extensas.

Pastor et al (2015), lograron establecer el “Diseño de planta productora de adoquines a base de cemento y plástico reciclado” en la ciudad de Piura. Para la realización de esta tesis se empleó adoquines de 0.20 m. x 0.10 m. x 0.06 m., también se tuvo que determinar la resistencia del adoquín propuesto. Se elaboraron 6 prototipos de adoquines, de los cuales 3 fueron adoquines convencionales y 3, adoquines con 5% de plástico. La resistencia a la compresión promedio de los adoquines de concreto simple fueron de 350.02 kg/cm<sup>2</sup> y el promedio de los adoquines elaborados con plástico fueron de 402.52 kg/cm<sup>2</sup>. En conclusión, los adoquines que se elaboraron cumplen con requisitos de la NTP en la resistencia a la compresión siendo usados en la construcción de vías públicas.

Farías (2018), presenta la investigación titulada “Influencia del porcentaje de polietileno tereftalato en las propiedades físicas y mecánicas del bloque de concreto”, en la ciudad de Chimbote. Tuvo como objetivo determinar la influencia del porcentaje de polietileno tereftalato (PET) en las propiedades físicas y mecánicas del bloque de concreto, desarrollando ensayos de absorción. Para esto, se realizaron 180 bloques de concreto de 0.15 m. de ancho x 0.20 m. de alto y 0.40 m. de largo, con porcentajes de plástico reciclado de 0%, 5%, 15% y 30% en relación con el volumen del agregado fino. Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días de curado, que se obtuvieron en el laboratorio fueron de 73.77 kg/cm<sup>2</sup>, 78.02 kg/cm<sup>2</sup>, 80.76 kg/cm<sup>2</sup> y 70.39 kg/cm<sup>2</sup>, en el orden de porcentajes mostrados anteriormente. Se determinó que, el 15% de PET mejora la resistencia a la compresión de bloques de concreto y al 30%, el bloque de concreto comenzó a disminuir su resistencia, el autor sugiere seguir haciendo más estudios y tomar en cuenta el tamaño de PET que se está incorporando.

Mahyar, Reza, y Taheri (2016), en la investigación “The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; a laboratory evaluation”, de Irán, plantearon investigar los efectos de agregar residuos de plástico en las propiedades de una probeta cilíndrica. Para este fin se realizó un diseño mezclas, cuyas cantidades fueron basadas del 0%, 3% y 7% del peso de los agregados finos, que fueron reemplazados por los desechos. En las mezclas empleadas, la cantidad de agregado grueso y su relación a/c fue de 0.5, se mantuvieron constantes. Se efectuó el ensayo de resistencia y se obtuvo 295.72 kg/cm<sup>2</sup> en 0%, 340.08 kg/cm<sup>2</sup>

en el 3% y  $319.38\text{kg/cm}^2$  en el 7%. Los resultados indican que las sustituciones superiores al 10% causan una disminución en la resistencia del concreto. Por lo tanto, se argumenta que el reemplazo de las partículas finas con fragmentos de PET puede afectar positivamente los valores relacionados con la resistencia de las muestras de concreto.

Lasso y Pariguaman (2017), en la tesis doctoral “Correlación entre las propiedades mecánicas de los adoquines ecológicos fabricados con agregados reciclados adoquines convencionales”, realizado en Ecuador, tuvieron como objetivo emplear botellas de plástico y el vidrio como reemplazo de los áridos finos en la mezcla de concreto para realizar un análisis de costos por  $\text{m}^2$ . Su reemplazo fue al 0%, 10%, 20% y 30% en función del volumen, siendo las dimensiones del adoquín ecológico de 0.20 m x 0.10 m x 0.06 m. Se efectuó el ensayo a la compresión por cada porcentaje. El resumen de análisis de costos por  $\text{m}^2$  fue al 0% de 16.16 \$ con una resistencia de  $32.71\text{ kg/cm}^2$ . Al 10%, con  $74.18\text{ kg/cm}^2$  y con un costo de 15.17 \$; al 20 %, de  $56.79\text{ kg/cm}^2$ , cuyo costo es de 14.50 \$ y al 30%, de  $45.91\text{ kg/cm}^2$  y el costo es de 13.50 \$. De esta forma se concluye que, para 1km de vía peatonal adoquinada con un ancho de carril 1.60 m se recicla hasta 202,271 botellas de plástico y 32,330 botellas de vidrio, lo que contribuye al cuidado del medio ambiente.

Poveda et al (2015), publicaron una revista titulada “Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A”, en la ciudad de Quito y tuvieron como propósito fue determinar el tamaño de la huella en m en adoquines de concreto y se sustituyó al 5%, 15%, 25% y 35% de vidrio fino y vidrio grueso. Se realizaron muestras de 0.20 m x 0.10 m x 0.08 m y los resultados obtenidos fueron de 0.0 28 m, 0.027 m, 0.027 m y 0.027 m en vidrio fino y 0.026 m, 0.0 255 m, 0.026 m y 0.0275 m en vidrio grueso correspondiente a los porcentajes planteados respectivamente. En efecto el vidrio como agregado incrementa la resistencia al desgaste.

Angarita y Lizarazo (2018), en su tesis para obtener el título de ingeniero civil “Análisis del comportamiento mecánico de adoquines de concreto con adición de fibra de acero de llantas recicladas”, realizado en la ciudad de Bogotá (Colombia). Proponen evaluar mecánicamente adoquines de concreto reforzados con fibra de acero reciclada de neumático y realizó ensayos a la compresión y al desgaste. De tal forma, se realizó

adoquines de 0.20 m x 0.10 m x 0.08 m, dado que el adoquín es para tráfico pesado. Los porcentajes empleados fueron del 0%, 2%, 5%, 7% y 9%. Los ensayos de resistencia a la compresión dieron como resultado 203.943 kg/cm<sup>2</sup>, 316.112 kg/cm<sup>2</sup>, 336.506 kg/cm<sup>2</sup>, 305 kg/cm<sup>2</sup> y 193.746 kg/cm<sup>2</sup> y los resultados de desgaste fueron de 16.20 mm, 14.86 mm, 14.24 mm, 12.69 mm y 17.15 mm. En conclusión, el 5% tuvo un mejor desempeño porque aumento un 17.59% con respecto a la resistencia a la compresión y la huella aminoró un 12.09% con respecto a la muestra patrón.

Mendevil et al (2017), en el artículo “Methamorphosis in the Porosity of Recycled Concretes Through the Use of a Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Additive. Correlations between the Porous Network and Concrete Properties”, en la ciudad de EE. UU, tuvieron como objetivo determinar la evolución que experimenta el concreto con un agregado reciclado. Para la preparación de los especímenes de concreto modificado con agregado reciclado (RPC) usó una relación a/c de 0.5 y al 0%,1%,3%,4%,5%,7% y 9% en sustitución de agregados finos. Se realizó muestras cúbicas de 0.10 m × 0.10 m × 0.10 m, para la resistencia a la compresión. Como resultados se obtuvieron 22.70, 22.90, 23.34, 23.86, 23.82, 24.15 y 24.07 kg/cm<sup>2</sup>, en el orden del %PET mencionado. En conclusión, en el presente estudio se realiza las diferentes propiedades, así como sus aplicaciones estructurales, pavimentos, recubrimientos de superficies de concreto, etc.

Estrada (2017), en el trabajo de graduación “Uso del material reciclado de tereftalato de polietileno, PET, como agregado fino para mezclas de concreto para la elaboración de adoquines” realizado en la ciudad de Guatemala, busco proponer el uso del PET como un agregado para la elaboración de adoquines de concreto. Se hicieron ensayos a la resistencia a la compresión y desgaste. Se fabricaron 40 adoquines para resistencia a la compresión y 4 cubos de adoquines para resistencia a la abrasión, en los porcentajes de 0%, 5%, 7% y 15%. Los adoquines fabricados fueron de 0.25 m. de largo, 0.22 m. de ancho y 0.095 m. de alto, cuyo mayor valor fue de 106.59 kg/cm<sup>2</sup> con el 7% de PET y el de concreto convencional 101.21 kg/cm<sup>2</sup> y en los resultados al desgaste conseguidos del laboratorio fueron de 8394 mm<sup>3</sup> y de 20803 mm<sup>3</sup> respectivamente al volumen. En conclusión, el resultado de la resistencia a la abrasión fue exitoso obteniendo valores máximos con la mezcla al 7% de agregado de tereftalato de polietileno.

En las investigaciones descritas anteriormente se utilizaron partículas de tereftalato reciclado con el propósito fundamental de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un adoquín convencional.

Además, la presente investigación permite ampliar los conocimientos con la siguiente base teórica tal es el caso de Concretos Supermix (2017), define al adoquín como una pieza de concreto simple que pasa por un proceso de vibro compactación brindando un tránsito fluido y con un mejor comportamiento de las lluvias.

La Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON 12009-10), indica que el adoquín de concreto permite conformar superficies completas como componentes de un pavimento intertrabado y éste, está formado por una base granular, una capa de arena, adoquines, arena de sello, confinamientos laterales y el drenaje.

La Norma Técnica Peruana (NTP 399.611), clasifica a los adoquines, según su uso como tipo I para peatones (uso peatonal), tipo II para vehículos ligeros (tránsito ligero) y tipo III para vehículos pesados (tránsito pesado). Además, establece que el adoquín tipo I para peatones, tiene dimensiones de 0.20 m. x 0.10 m. x 0.06 m. y que la resistencia a la compresión promedio de 3 unidades es de 320 kg/cm<sup>2</sup>.

Cementos Pacasmayo (2014), “Adoquines de Concreto Pacasmayo”, nos recalca que un adoquín está conformado por cemento, agua, piedra y arena. Diseñada en moldes mediante la compresión, al endurecerse esta mezcla forma el adoquín de concreto que después de días de curado, será más resistente a la compresión. Así mismo debe cumplir con diversos requisitos según la Norma Técnica Peruana.

Sánchez (2001), define los diferentes materiales que conforman el concreto como el cemento, que es un material que permite unir los demás componentes del concreto entre sí, para mejorar la resistencia y durabilidad. En el caso del agua, permite que el cemento experimente reacciones para el fraguado y endurecimiento de una mezcla sólida. También los áridos, llamados agregados, son materiales inertes de forma irregular, de procedencia artificial o natural, que son tratadas o elaboradas, y garantizan una adherencia de pasta endurecida de cemento.

La Universidad Autónoma de Chihuahua (2003), publicó en el “Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto”, que los agregados naturales están conformados por áridos finos y áridos gruesos. Los agregados finos son partículas que consisten en

piedra triturada (arena gruesa) y arena fina siendo menores que 5 mm y los agregados gruesos, consisten en grava cuya partícula sea predominante entre 9.5 mm y 38 mm.

La NTP 400.037, menciona que el árido fino es el que pasa el tamiz 9.5mm (3/8”) y es retenido en el tamiz 74 micras (N° 200) y que el árido grueso queda retenido en el tamiz 4.75 mm(N°4). Cabe mencionar que, los agregados empleados en una mezcla de concreto cumplen con requisitos de granulometría expuestos en la Norma Técnica Peruana.

Paya (1979), explica que los agregados de naturaleza artificiales emanan de procesos industriales como arcillas, escorias, limadura de hierro y otros que poseen características como baja densidad, aislante, resistente, no toxico y durable.

Por lo tanto, el Tereftalato de Polietileno, se puede considerar como un agregado artificial por las características que posee en sustitución del agregado fino (arena gruesa).

El programa sustentable de ahorro de recursos realizado por el Gobierno de México (2018), señala que 1 kilo de PET se origina a partir de 64% de petróleo, 13% de aire y 23% de gas. Del petróleo, se obtiene paraxileno y del gas natural, etileno. Ambos se oxidan con el O<sub>2</sub> para dar PTA y E0 respectivamente.

Además, Abts (2016), constata que las botellas de PET han reemplazado los envases de metal o vidrio en gran medida. Dichas botellas tienen diferentes grosores de pared, colores y formas, las botellas de pared delgada son botellas desechables y de pared gruesa son botellas retornables.

Lumitos (2016), en un artículo alemán “Polyethylenterephthalat: Eintrag zu Polyethylenterephthalat in der GESTIS-Stoffdatenbank des BGIA”, informa que el PET se utiliza debido a varias propiedades útiles, es libre de arrugas, resistente a las roturas, resistente a la intemperie y absorbe muy poca agua.

También, Pleiger (2007), en una revista titulada “Polyethylenterephthalat” en la ciudad de Alemania, realza las propiedades del PET, dentro de las cuales se tiene su elevada resistencia, alta rigidez y dureza, buena estabilidad dimensional, baja absorción de agua, buena maquinabilidad, buena resistencia química y buena reciclabilidad.

Así mismo, Angumba (2016), resalta las características más relevantes del PET para ser empleado como mortero de baja densidad como el buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes, buena resistencia química, compatibilidad con otros materiales, buenas propiedades térmicas, buen coeficiente de deslizamiento, cristalinidad y transparencia, buena barrera contra el CO<sub>2</sub> y la humedad.

Es por ello, que los autores precedentes han empleado PET reciclado en el pavimento intertrabado.

Australian Paving Centre (2016), en su revista titulada “Top 5 benefits for Concrete Paving Projects” en el país de Australia, da a conocer los 5 beneficios que se obtiene al emplear el pavimento de concreto intertrabado y su versatilidad, ya que, posee variedad de patrones, colores y un diseño que tiene un aspecto muy profesional.

En la parte económica, si bien es cierto es caro el producto, pero su costo de reparación es menor en comparación con otros tipos de pavimentos y la esperanza de vida de los adoquines de concreto supera a los 30 años de servicio, por lo tanto, posee un bajo mantenimiento.

El Centro de Investigación Tecnológica del Cemento y el Concreto (2017), detalla características importantes a considerar de un pavimento de adoquines de concreto como el periodo de mantenimiento cada 10 años, se ahorra menos del 50% de material granular, aumenta su resistencia en el tiempo, resiste a derrames de gasolina y diesel y el costo de mantenimiento reduce al 45% que el asfalto. En cuanto a la resistencia a la intemperie, este tipo de pavimentos poseen una superficie de concreto texturizada que le permite ser resistente al desplazamiento.

Por lo tanto, la preferencia de elegir el pavimento intertrabado es por los beneficios que ofrece. Además, se toma en cuenta las sugerencias y recomendaciones de diversos autores como Sánchez. (2003), en su tesis “Comportamiento Térmico y Mecánico del Poli (Etilén Tereftalato) (PET) Modificado con Resinas Poliméricas Basadas en Bisfenol-A”, afirma que es de suma importancia saber el comportamiento mecánico de las mezclas, el cual es dependientemente fuerte de la morfología de éstas y de las características finales como forma, distribución , tamaño promedio, y distancia entre las partículas; es por ello, que al presentarse la dispersión homogénea se desarrolla una

distribución uniforme de tensiones y deformaciones mecánicas indicando que existe un tamaño preciso que beneficia un refuerzo en la naturaleza de la mezcla.

También, Schaefer (2017), en su tesis “Irradiated Recycled Plastic as a Concrete Additive for improved chemo-mechanical properties and lower carbón footprint”, menciona que hay innumerables combinaciones de dosis de plástico y aditivos minerales que podrían explorarse, pero para descubrir una combinación óptima de alta resistencia. Además de numerosas variaciones en el tipo de plástico, composición porcentual de plástico, tamaño de partícula de plástico, mineral composición porcentual aditiva, etc. También es importante probar la variación en los diferentes ensayos como la resistencia a la tracción, flexión, impacto y trabajabilidad.

The Constructor (2015), publicó “Factors Affecting Strength of Concrete”, en el que, los factores influyentes en la resistencia son la calidad de los elementos básicos como el cemento que debe cumplir con estándares apropiados, los agregados que debe tener calidad en su forma, textura, resistencia, etc. y el agua, éstos deben cumplir pruebas para determinar que es ideal para ser usada; la relación agua cemento, la proporción de áridos finos y gruesos y la relación de áridos y cemento. También nombra otros factores que son la humedad, la temperatura y el curado que se le da al concreto para luego someterlo a cargas de compresión.

Para poder saber sobre el accionar de las partículas de Tereftalato de Polietileno Reciclado, su compatibilidad con el concreto y la interacción de sus moléculas es necesario recurrir a la composición química y a la formación del tereftalato de polietileno reciclado.

Mathot (1994), califica al Tereftalato de Polietileno como una resina poliéster de glicol etilénico y ácido tereftálico. La policondensación del ácido tereftálico forma macromoléculas con alto equilibrio molecular, permitiendo la creación de poliésteres aromáticos cristalinos. Este polímero en la fase amorfo muestra una configuración en la que las cadenas adoptan mayoritariamente, tal como se ve en el *Anexo I(pp.78)*. Consta de un anillo bencénico que estimula la rigidez en las moléculas disminuyendo la posible cristalización del elemento. A su vez, muestra grupos esteres polares, tal como el grupo CHh -CH<sub>2</sub> de los glicoles. La apariencia cis es asimétrica y es causante del momento dipolar neto que es de unos 0,7 Debyes. La temperatura de fusión del

elemento se encuentra ubicada alrededor de los 260 °C y realizando un enfriamiento veloz (quenching) desde el estado fundido hasta la temperatura ambiental se logra un elemento en estado amorfo con un grado de cristalinidad aproximadamente del 3 %. En la fase de calentamiento una vez que la temperatura de la muestra se localiza próxima a la Tg los grupos - CFb – empieza a rotar. Estos desplazamientos locales van incrementando hasta lograr una temperatura en la cual comienza la fase de cristalización del material. Para cristalizar es necesario que la cadena adopte una distribución más simétrica, pero los polímeros no son cien por ciento cristalinos ya que su distribución es asimétrica. El proceso de cristalización en el tereftalato de polietileno provoca que posea un anillo bencénico en su estructura molecular y a su vez le da una característica importante de dureza. Se debe analizar este comportamiento molecular con la interacción de las moléculas del cemento.

Virella (1967), indica que la mayor tarea hidráulica del cemento portland frecuente pertenece a los silicatos bicálcico y tricálcico. En la estructura de los silicatos la pieza elemental es un tetraedro en cuyo núcleo se halla un diminuto átomo de silicio, encontrándose sus vértices habitados por cuatro inmensos átomos de oxígeno, con un diámetro 3,4 cuatro veces mayor del que se asigna al átomo central. Como sea que a cada átomo de silicio tan sólo se pueden unir dos átomos de oxígeno para alcanzar un conjunto eléctricamente neutro, algunos de estos cuatro grandes átomos deben ser divididos por otros tetraedros (covalencia) o neutralizados por cationes de otra clase. Así resultan unas moléculas gigantescas, cuyo equilibrio depende de la compacidad de la asociación tetraédrica y del número y dimensión de los cationes interestructurales.

Por la difracción de los rayos X conocemos que los pequeñísimos cristales de silicato cálcico hidratado formados por el fraguado del cemento son parecidos a los de un mineral muy extraño que fue encontrado en Escocia y nombrado tohermorita. Su discutida estructura molecular se ha analizado como formada por folículos en zigzag de grupos tetraédricos, organizados paralelamente. Entre los folículos se mezcla un número variable de moléculas de agua y de cationes variados que puede cambiar la distancia interfolicular sin grandes variaciones en la estructura elemental. Es encantador constatar que las moléculas de agua interfoliculares gozan un volumen aparente menor que en estado libre, fenómeno que demuestra el porqué de las retracciones observadas en las mezclas de cemento endurecidas. Las propiedades

aglomerantes, el endurecimiento y las resistencias mecánicas se explicarían por la estructura denticular de los silicatos hidratados, la cual facilitaría la imbricación de unos con otros cristales, llegando a una masa compacta semejante a un fieltro. Contribuye a la adherencia de la pasta de cemento a los agregados pétreos del hormigón la propiedad llamada epitaxia, que radica en el establecimiento de una cierta continuidad de las redes cristalinas de los áridos con las estructuras correspondientes de los cementos.

La Universidad de Málaga (2016), menciona que la microscopía electrónica de barrido permite la caracterización microestructural de los materiales, permite la identificación, análisis de fases cristalinas y transiciones de fases en diversos materiales tales como los metales, cerámicos, materiales compuestos, semiconductores, polímero y minerales. Valora el deterioro de los materiales y permite la identificación del cualquier tipo de degradación. Para analizar el comportamiento de forma conjunta, se toma en consideración este método para la caracterización del cemento, como se muestra en el *Anexo I(pp.79)*. El *Anexo I(pp.80)*, es una imagen general obtenida por microscopía electrónica de Rastreo (SEM), en la que se puede observar un sinterizado de partículas. La Espectrometría de Dispersión de Energía (EDS), indica los componentes mayoritarios como Si, Al, Ca y O con pequeñas cantidades de Fe. En el *Anexo I(pp.81)*, se observa Tereftalato de Polietileno Reciclado y en el *Anexo I(pp.82 - 83)*, el comportamiento de barreras de las moléculas del Tereftalato de Polietileno.

No puede faltar la microscopía electrónica de los agregados, por la interacción conjunta de todas las moléculas al momento de elaborar una mezcla, como se muestra en el *Anexo I(pp.84)*, detalla la morfología de los agregados. A la izquierda pueden observarse cristales de asociado a otros sulfatos de Mg. A la derecha se ven agregados de sulfatos de Mg. en los cuales no pueden distinguirse cristales individuales.

Actualmente es necesario investigar y elaborar productos cuyos componentes estén elaborados de materiales reciclados, en la búsqueda de poder minimizar y mitigar el gran volumen que se genera diariamente de forma constante, incentivando a usar PET en el sector constructivo.

Tomando en cuenta estos estudios nos planteamos la siguiente interrogante ¿Cuál es el efecto de las partículas de tereftalato de polietileno reciclado en la resistencia a la compresión y desgaste de adoquines de concreto?

Teóricamente, esta investigación justifica al empleo del tereftalato de polietileno reciclado (RPET), como un material de gran cantidad a nivel mundial, siendo poco usado en el sector constructivo por la falta de conocimiento y tecnología, en el impacto positivo de las propiedades mecánicas del concreto, con la finalidad de dar mayor durabilidad a las obras públicas y privadas. Es por ello, que se resalta la importancia de realizar proyectos de investigación sostenibles para promover el reciclaje y darle un valor agregado al tereftalato de polietileno reciclado incorporándolo en el sector construcción, y a la vez generar un menor costo permitiendo que sea accesible a la población.

También, en el aporte técnico del RPET permite mejorar la resistencia a la compresión y la resistencia al desgaste realizados en el laboratorio para los adoquines de concreto, formándose un método cuidadoso para su elaboración tratando de optimizar sus propiedades y minimizar los desechos reciclables. Su viabilidad conlleva a la realización de esta propuesta porque se cuenta con equipos precisos para su progreso como equipo de compresión, juego de tamices, balanza y moldes para ejecutar los ensayos descritos anteriormente.

Además, la metodología empleada da como referencia el cumplimiento de las normas vigentes para obtener el procedimiento adecuado de las especificaciones técnicas de los ensayos de resistencia a la compresión y desgaste, tamaño de adoquines de concreto, absorción y diversas propiedades para su comercialización posteriormente.

El adoquín que se diseñara está dirigido al uso peatonal con dimensiones de 0.20 m x 0.10 m x 0.06 m y con una resistencia de  $f'c$  320 kg/cm<sup>2</sup>, rigiéndose en la NTP 399.611 “Adoquines de Concreto para Pavimentos”.

Por consiguiente, en el aspecto social se conoce esta problemática y se considera que en distintos países existen grandes porcentajes de residuos sólidos, como el tereftalato de polietileno que es desechado, incrementa la contaminación ambiental en diferentes lugares del mundo, debido a su descomposición lenta. El reciclaje de este material proporciona diversos beneficios ya expuestos, además de beneficios salariales y

medioambientales, se pretende mejorar la salud pública y llevar una mejor calidad de vida sin contaminación.

Por último, con esta investigación se procura aportar tecnológicamente al desempeño del concreto, dándose a conocer las mejoras en los resultados obtenidos de un diseño de mezcla de concreto simple a comparación de una mezcla con un material reciclado, provenientes de los residuos sólidos generados por la población, tal es el caso del RPET, generando un nuevo avance en investigaciones posteriores a la presentada.

En respuesta a esta problemática de carácter mundial se afirma que, las partículas de tereftalato de polietileno reciclado tienen efecto sobre la resistencia a la compresión y desgaste para adoquines de concreto, para lo cual se empleó una resistencia de 320 kg/cm<sup>2</sup> para los adoquines convencionales, adoquines con incorporación de 3%, 5% y 7% de partículas de RPET respecto al peso del agregado fino.

Siendo el objetivo fundamental de esta investigación determinar el efecto de las partículas de tereftalato de polietileno reciclado en la resistencia a la compresión y desgaste de adoquines de concreto, y para cumplir el objetivo, se tuvo que determinar las propiedades físicas y mecánicas del tereftalato de polietileno reciclado, realizar el análisis físico del agregado fino y grueso, realizar el diseño de mezclas para  $f'c = 320$  kg/cm<sup>2</sup>, realizar el ensayo de resistencia a la compresión y desgaste de los prototipos de adoquines con distintas dosificaciones de tereftalato de polietileno reciclado, determinar el porcentaje de tereftalato de polietileno reciclado empleado en el adoquín para obtener la mayor resistencia a la compresión, determinar el porcentaje de tereftalato de polietileno reciclado empleado en el adoquín para obtener la mayor resistencia al desgaste y determinar si los prototipos elaborados cumplen con los requerimientos como material de adoquín para pavimento articulado tipo I.

## II. MÉTODO

### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Esta investigación posee un enfoque cuantitativo porque nos brinda datos numéricos a través de los ensayos que determinan la resistencia a la compresión y al desgaste por abrasión del concreto, según su finalidad es una investigación básica porque se va a tener conocimientos para generar mayor resistencia a la compresión y desgaste, asimismo, por su temporalidad es transversal debido a que se recolectaran datos después de realizar los ensayos de resistencia a la compresión y desgaste por abrasión de los adoquines de concreto y según su nivel es explicativa ya que indica el comportamiento de las variables. Hernández et al (2014)

El diseño de esta investigación es experimental, de carácter experimental puro, permitiendo la manipulación directa de la variable independiente midiendo así las variables dependientes.

Cuyo esquema es el siguiente:

$$RG_C: O_1$$

$$RG_{E_1}: X_1 O_2$$

$$RG_{E_2}: X_2 O_3$$

$$RG_{E_3}: X_3 O_4$$

#### Dónde:

- $G_C$ : Grupo Control
- $G_E$ : Grupo Experimental
- $O_1$ : Resistencia a la compresión y desgaste por abrasión del Concreto Simple
- $X_1, X_2$  y  $X_3$ : % Partículas de Tereftalato de Polietileno ( $X_1 = 3\%$ ,  $X_2 = 5\%$  y  $X_3 = 7\%$ )  $O_2, O_3$  y  $O_4$ : Resistencia a la compresión y desgaste por abrasión del Concreto Simple adicionando partículas de tereftalato de polietileno reciclado

## 2.2. Operacionalización de variables

**Cuadro 1.** Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de medición
<b>Partículas de Tereftalato de Polietileno</b>	Polímeros reciclados derivados del petróleo, empleado en la industria y obtención de nuevos productos. (Suasnavas, 2017)	Porcentajes de partículas de tereftalato de polietileno al 3%, 5% y 7% respecto a la proporción de agregados que se va a emplear.	Tiene efecto  No tiene efecto	Nominal
<b>Resistencia a la Compresión</b>	Es la capacidad que poseen los materiales y estructuras para soportar una fuerza sin agrietarse o desviarse. (The constructor, 2015)	Deberá ser realizado sobre todo el adoquín aplicando la carga perpendicular a la sección de mayor superficie (NTP 399.604), para esto se emplea una Prensa Hidráulica para romper los adoquines fabricados, cuya máquina da los datos de la fuerza en kg y luego a través de operaciones matemáticas podemos hallar la resistencia de cada adoquín.	kg/ cm <sup>2</sup>	Intervalo
<b>Resistencia al Desgaste</b>	Es la pérdida superficial de un cuerpo causada por el movimiento de otro cuerpo con relación a dicha superficie. (Instituto Asteco, 2018)	Consiste en someter la cara vista de un adoquín a desgaste por medio de un material abrasivo que pase tangencialmente entre dicha superficie y la cara lateral de un disco metálico, que ejerce presión. Generando una huella, cuya longitud es viceversa a la resistencia al desgaste por abrasión. (NTP 399.624)	gr/min	Intervalo

**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.3. Población, muestra y muestreo

### 2.3.1. Población

La mezcla de concreto está formada por agregados fino, agregado grueso, cemento, agua y tereftalato de polietileno, dosificados para un diseño de mezcla con resistencia de 320 kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.3.2. Muestra

Se usarán 48 adoquines de concreto de 0.20 m. x 0.10 m x 0.06 m y con porcentajes de 0%, 3%,5% y 7% de acuerdo con la NTP.399.611, para los ensayos propuestos.

En cada ensayo de resistencia a la compresión por cada determinada edad (días) se usará 3 probetas testigo. En el siguiente cuadro dado se verá la distribución por edad de concreto y por tipo.

**Cuadro 2.** Cantidad de Probetas para el Ensayo de Resistencia a la Compresión de concreto simple.

TIPO DE CONCRETO	N° DE PROBETAS A EDADES DE CURADO			TOTAL
	7	14	28	
Concreto Simple	3	3	3	9
				<b>9</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 3.** Cantidad de Probetas para el Ensayo de Resistencia a la Compresión de concreto simple con Tereftalato de Polietileno.

TIPO DE CONCRETO % PET reciclado	N° DE PROBETAS A EDADES DE CURADO			TOTAL
	7	14	28	
3 %	3	3	3	9
5 %	3	3	3	9
7 %	3	3	3	9
				<b>27</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

En el ensayo de resistencia al desgaste por abrasión, se realizará por cada determinada edad (días) 3 probetas testigo. En el siguiente cuadro se verá la distribución por edad de concreto y por tipo.

**Cuadro 4.** Cantidad de Probetas sometidas al Ensayo de Desgaste por Abrasión de Concreto Simple.

TIPO DE CONCRETO	N° DE PROBETAS A EDAD DE	
	CURADO	TOTAL
	<b>28</b>	
Concreto Simple	3	3
		<b>3</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 5.** Cantidad de Probetas sometidas al Ensayo de Desgaste por Abrasión de Concreto Simple con Tereftalato de Polietileno.

TIPO DE CONCRETO	N° DE PROBETAS A EDAD DE	
	CURADO	TOTAL
% PET reciclado	<b>28</b>	
3 %	3	3
5 %	3	3
7 %	3	3
		<b>9</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El total de adoquines de concreto sometidos al ensayo de resistencia a la compresión son de 36.

El total de muestras sometidas al ensayo de resistencia al desgaste son de 12.

### 2.3.3. Muestreo

Aleatorio usando como referencia los porcentajes de PET reciclado de 3 mm x 3mm.

## 2.3.4. Criterios de Selección

### A. Inclusión

#### a) Cemento

El cemento Tipo I Uso General, utilizado en la presente investigación es de marca Cemex, que es una de las más comercializadas en la ciudad de Trujillo.

#### b) Agregados

Los agregados empleados fueron proporcionados de la cantera:

- Denominación : Cantera “El Milagro S.A.”
- Ubicación

Se ubica en el norte de la ciudad de Trujillo a 13 km de los márgenes de la carretera Panamericana.

- Sector : El Milagro
- Distrito : Huanchaco
- Provincia : Trujillo
- Región : La Libertad

#### c) Agua

El agua usada en la elaboración de adoquines de concreto simple y con la incorporación de partículas de tereftalato de polietileno reciclado, fue potable de la ciudad de Trujillo.

#### d) Tereftalato de Polietileno Reciclado

Obtenidos del Botadero Controlado “El Milagro”, cumpliendo con el tamaño del agregado fino, establecido en la NTP 400.012 “AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global”, con dimensiones de 0.3 cm x 0.3 cm.

### B. Exclusión:

- Cemento : Diferente Uso y Marca.
- Agregados : Cantera de otra ubicación.  
Diferente análisis granulométrico.
- Agua : No potable, agua de río o de mar.
- Tereftalato de polietileno reciclado: Mayor o menor que 0.3 cm. x 0.3 cm.

## **2.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos, Validez y Confiabilidad**

### **2.4.1 Técnicas**

#### **La Observación Directa**

Esta técnica nos permitirá recoger datos a través del empleo de los instrumentos mencionados.

### **2.4.2 Instrumento**

#### **Guía de Observación**

Se utilizará para anotar los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia al desgaste con sus respectivos certificados de los equipos empleados. *Anexo 2*

- Certificado de la Prensa Hidráulica (*pp.106*)
- Certificado de la Prensa de Compresión (*pp.104*)
- Certificado de la Balanza (*pp.109*)
- Certificado de la Estufa (*pp.112*)

### **2.4.3 Validez**

- **Prensa Hidráulica Manual *Anexo 1(pp.85)***

Prensa de compactación *Shop Press* de 20 Toneladas de capacidad, temperatura de trabajo 25°C con mecanismo hidráulico y modalidad manual.

- **Máquina para ensayo a compresión axial, marca Forney *Anexo 1(pp.86)***

Esta provista para la aplicación de la carga de un rodillo de metal endurecido de asiento esférico y solidario con el cabezal superior de la máquina. Tiene puertas de lexan con bisagras y cerraduras, platina superior de 6 pulgadas 150(mm) de diámetro, válvula de seguridad de alta presión, capacidad: 250000 lbs, es ideal para ensayar cilindros, cubos, medio block y vigas y cumple con la norma NTP 399.604.

- **Máquina para ensayo de desgaste por abrasión *Anexo 1(pp.87)***

Fabricado en acero estructural, tiene un disco en acero tratado de 200 mm de diámetro con un giro en 75 rpm parada automática después de 75 revoluciones, una tolva de almacenamiento con una o dos válvulas para regular el flujo de material abrasivo. Una tolva orientadora, con un coche con sistema de sujeción para el adoquín y un contrapeso y cumple con la NTP 399.624.

#### **2.4.4 Confiabilidad**

- Prensa Hidráulica Manual
- Precisión +/- 0.6 % de la carga indicada.
- Máquina para ensayo a compresión axial
- Precisión +/- 0.5 % de la carga indicada.
- Máquina para ensayo de desgaste por abrasión.
- Precisión +/- 0.7 % de la carga indicada.

#### **2.5. Procedimientos**

##### **2.5.1. Agregados: Cantera “EL MILAGRO S.A.”**

###### **Localización geográfica**

La cantera se encuentra ubicada a 13 km al norte de la ciudad de Trujillo, del margen de la Carretera Panamericana del Centro Cívico de Trujillo. Geográficamente se ubica en las coordenadas este 711185.00 y norte 9112947 *Anexo I (pp.88)*

###### **Calidad de los Agregados**

En esta cantera, los agregados son extraídos a través de procesos mecánicos como el zarandeo y la trituración de piedra chancada con el empleo de maquinarias. La empresa abastecedora, cuenta con certificados sobre los agregados que se distribuyen, en este caso, se obtuvieron muestras para realizar esta investigación y corroborar a través de ensayos la veracidad de la calidad de estos materiales.

###### **Explotación de agregados**

La explotación de estos áridos, en este caso, es de tajo abierto, se emplean diferentes maquinarias para extraer arena gruesa, arena fina, piedra chancada de 1”, gravillas, etc., cabe mencionar que, juntamente con la cantera del Porvenir y Laredo, es una de las reconocidas proveedoras de agregados para las diferentes obras de construcción civil en la localidad de Trujillo y alrededores.

##### **2.5.2. Extracción y preparación de los Áridos (NTP 400.010)**

Conforme con la norma NTP 400.010 “AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras”, los áridos obtenidos de la cantera El Milagro fueron Agregado Fino y Agregado Grueso. *Anexo I(pp.89)*

En primer lugar, se identificó la cantera para la toma de muestras, se solicitó arena gruesa y confitillo para la elaboración de los adoquines de concreto.

Las condiciones del análisis granulométrico que se siguió para cumplir con los requisitos para la arena fina y confitillo se basan en las normas NTP 400.010.

En el caso del confitillo, la granulometría empleada se basa en la NTP 400.037 MTC HUSO 8 expuesto en el *Cuadro 7*.

**Cuadro 6.** Medida de las muestras

<b>Tamaño máximo nominal del agregado</b>	<b>Masa mínima aproximada para la muestra de campo kg.</b>
<b>Agregado Fino</b>	
<b>2.36 mm.</b>	10
<b>4.76 mm.</b>	10
<b>Agregado Grueso</b>	
<b>9.5 mm</b>	10
<b>12.5 mm</b>	15
<b>19.0 mm</b>	25
<b>25.0 mm</b>	50
<b>37.5 mm</b>	75
<b>50.0 mm</b>	100
<b>63.0 mm</b>	125
<b>75.0 mm</b>	150
<b>90.0 mm</b>	175

Fuente: NTP 400.010, 2001

**Cuadro 7.** Granulometría del Confitillo

<b>MALLA ASTM</b>	<b>% QUE PASA</b>
<b>1/2"</b>	100
<b>3/8"</b>	85 a 100
<b>N° 4 (4.75 mm.)</b>	10 a 30
<b>N° 8(2.36 mm.)</b>	0 a 10
<b>N° 16(1.18 mm)</b>	0 a 5

Fuente: NTP 400.037 MTC HUSO 8

### 2.5.3. Análisis Granulométrico (ASTM C - 136)

Según la ASTM C – 136, se determina por tamizado la distribución del tamaño de las partículas de los agregados finos y gruesos.

#### a. Materiales y equipos

- Agregado Fino.
- Agregado Grueso.
- Juego de Tamices  
Agregado Fino: 3/8”, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y fondo.  
Agregado Grueso: 2 ½”, 2”, 1 ½”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, N4 y fondo.
- Balanza (0.1% de Sensibilidad).
- Horno (110 °C ± 5° C).
- Tara.

#### b. Procedimiento

- Se tomó una muestra de agregado de la cantera El Milagro.
- Luego se puso la muestra al horno por 24 horas aproximadamente para secarla, pasado el tiempo se le retiro del horno y se volvió a pesar.
- Seguidamente se armó los tamices en forma decreciente e inmediatamente se introdujo la muestra que se ensayó.
- Se agitó los tamices manualmente, para que solo quede el material retenido.
- Una vez acabado el cernido se pesó cada material retenido en cada tamiz.
- Finalmente se realizó los cálculos correspondientes.

### 2.5.4. Módulo de fineza de los Agregados (NTP 400.037)

Según la NTP 400.037, se determina con la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados de las diferentes mallas hasta el tamiz N° 100 y luego se divide entre cien.

#### Agregado fino:

##### a. Generalidades

El módulo de fineza del agregado fino se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$M. F = \frac{\sum \% \text{Ret. Acum. en mallas}}{100}$$

## **b. Materiales y equipos**

Mallas para obtener el módulo de fineza del agregado fino.

- Malla 150 $\mu$ m (N°100)
- Malla 300 $\mu$ m (N°50)
- Malla 600 $\mu$ m (N°30)
- Malla 1,18mm (N°16)
- Malla 2,36mm (N°8)
- Malla 4,75mm (N°4)

## **Agregado grueso:**

### **a. Generalidades**

Se calculó empleando la siguiente formula:

$$M. F = \frac{\sum \%Ret. Acum, en mallas}{100}$$

### **b. Materiales y equipos**

Mallas para obtener el módulo de fineza del agregado grueso.

- Malla 3"
- Malla 1 1/2"
- Malla 3/4"
- Malla 3/8"
- Malla 4,75mm (N°4)

## **2.5.5. Contenido de Humedad (ASTM D - 2216)**

Según la ASTM D-2216, se determina con la resta de la muestra original y muestra seca entre la muestra seca por cien. Con el fin de obtener la cantidad de agua que tiene las partículas de los agregados en un determinado momento ayudando a relacionar el agua de la mezcla en el concreto

### **Generalidades**

Se definió como la porción de agua de un suelo, y fue calculada con la siguiente fórmula:

$$W\% = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco}} \times 100 = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

Wh = Muestra Original (gr)

Ws = Muestra Seca (gr)

**a. Materiales y Equipos**

- Agregado de la Cantera El Milagro
- Horno ( $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ).
- Balanza (0.1% de Sensibilidad)
- Taras.

**b. Procedimiento**

- Se calculó la cantidad de muestra que se empleó.
- Se pesó adecuadamente las taras.
- Se puso el suelo húmedo en las taras y se procedió a usar la balanza para pesar (tara + suelo húmedo)
- Se llevó al horno las muestras por 24 horas con el fin de eliminar el agua que se encuentra en el agregado.
- Cumplidas las 24 horas se dejó enfriar las muestras hasta temperatura de ambiente y consecutivamente se pesaron (tara + suelo seco).
- Luego se efectuó el cálculo del % de contenido de humedad.

**2.5.6. Peso Unitario (ASTM C - 29)**

Según la ASTM C-29, se determina empleando un cilindro de metal el cual se llena hasta su tope dando 25 golpes de forma helicoidal.

**a. Materiales y equipos**

- Agregado Fino
- Agregado Grueso
- Balanza (0.1% de sensibilidad)
- Taras
- Agitador:  
Agregado fino: Espátula delgada  
Agregado grueso: Espátula mediana
- Cilindro de metal:

Debe ser rígido, su altura debe ser de la misma longitud que su diámetro y nunca será más del 150% y menos del 80% de su altura. El cilindro tendrá un borde superior de espesor de 0,01 pulgadas.

- Varilla de acero de 5/8 \* 60 cm: Se usará para el compactado de los agregados.

**b. Procedimiento**

- Se usó la balanza para pesar el molde cilíndrico.
- Se colocó el agregado en un recipiente.
- Luego se incorporó el agregado en el molde cilíndrico hasta 1/3 de su capacidad. Seguidamente se procedió a dar 25 golpes en forma helicoidal con la varilla de acero.
- Sucesivamente se adiciono más agregado hasta los 2/3 y se dio otros 25 golpes.
- Luego se llenó el molde hasta su tope y se compacto con 25 golpes de la misma forma que el anterior.
- Finalmente, con la varilla de acero se quitó el agregado que sobra del molde con cuidado quedando así enrasado.
- Terminando el ensayo se pesó el recipiente cilíndrico con el agregado.

**2.5.7. Peso Específico Aparente**

Según la ASTM C-127 y ASTM C-128, se determina con el fin de obtener el peso de los agregados tal como es en realidad con sus vacíos y humedad variando por su tamaño y forma .Este ensayo es importante ya que nos sirve para calcular la cantidad de agregados en la mezcla de concreto.

**Agregado Fino (MTC E- 205 / ASTM C-128/ AASHTO T-84)**

**a. Materiales y equipos**

- Agua
- Muestra seca
- Balanza (0.1% de sensibilidad)
- Fiola (500 ml)

**b. Procedimiento**

- Primero se pesó la muestra seca.
- Luego se colocó en la fiola vacía la muestra seca y se vertió agua hasta que se cubrió totalmente y se agitó.

- Luego se agregó agua hasta los 500 ml y se pesó la muestra.
- Finalmente se calculó el peso específico aparente.

#### **Agregado Grueso (MTC E- 206 / ASTM C-127/ AASHTO T-85)**

##### **a. Materiales y equipos**

- Agua
- Muestra de agregado
- Balanza (0.1% de sensibilidad)

##### **b. Procedimiento**

- Primero se pesó la tara.
- Así mismo, se pesó la tara con la muestra.
- Posteriormente se colocó la muestra en un balde y se puso en un gancho para luego sumergirla completamente.
- Finalmente se anotó el peso sumergido de la muestra.

#### **2.5.8. Absorción**

Según la ASTM C-128 y ASTM C-127, es la cantidad de agua que absorbe el agregado después de estar sumergido por 24 horas.

#### **Agregado Fino (MTC E- 205 / ASTM C-128/ AASHTO T-84)**

##### **a. Materiales y equipos**

- Tamiz N° 200
- Muestra de agregado fino
- Bandeja
- Tara
- Horno
- Balanza

##### **b. Procedimiento**

- De la muestra de agregado fino se procedió a realizar el cuarteo tres veces.
- Luego se realizó el zarandeo con la malla N°200 y lo que quedó retenido correspondió al agregado grueso adecuado que se utilizó en el ensayo
- Continuando se tomó una porción de la muestra, y se lavó hasta que el agua utilizada alcance su transparencia posteriormente se sumergió en agua durante 24 horas.

- Luego se dejó la muestra en una bandeja hasta el día siguiente en el laboratorio con el fin de que se sature y se dejó secar al sol.
- Después se tomó solo la mitad de la muestra y se colocó en una tara para luego llevarlo al horno a una temperatura de 110 ° C durante 24 horas.
- Después de haber pasado las 24 horas, se tomó la muestra y se pesó.
- Finalmente se tomó los respectivos datos y se calculó los resultados para obtener el porcentaje de absorción.

### **Agregado Grueso (MTC E- 206 / ASTM C-127/ AASHTO T-85)**

#### **a. Materiales y equipos**

- Tamiz N° 4
- Muestra de agregado grueso
- Bandeja
- Tara
- Horno
- Balanza

#### **b. Procedimiento**

- De la muestra de agregado grueso se procedió a realizar el cuarteo tres veces.
- Luego se realizó el zarandeo con la malla N°4 y lo que quedo retenido correspondió al agregado grueso adecuado que se utilizó en el ensayo.
- Continuando se tomó una porción de la muestra, y se lavó hasta que el agua utilizada alcance su transparencia posteriormente se sumergió en agua durante 24 horas.
- Luego se dejó la muestra en una bandeja hasta el día en el laboratorio con el fin de que se sature y se dejó secar al sol.
- Después se tomó solo la mitad de la muestra y se colocó en una tara para luego llevarlo al horno a una temperatura de 110 ° C durante 24 horas.
- Después de haber pasado las 24 horas, se tomó la muestra y se pesó.
- Finalmente se tomó los respectivos datos y se calculó los resultados para obtener el porcentaje de absorción.

### **2.5.9. Diseño de Mezcla (ACI 211)**

Los adoquines de concreto se realizaron bajo el método ACI. Es muy recomendable considerar la relación, agua/cemento, para el cual se debe agregar el contenido óptimo de agua y que la masa del hormigón sea fresca. La relación agua/cemento empleada es de 0.57 para la elaboración de estos adoquines de concreto.

### **2.5.10. Elaboración y Curado de Adoquines de Concreto (NTP 339.033)**

Según la NTP 339.033 la mezcla de concreto debe tener trabajabilidad y consistencia. Dicha mezcla deber ser su distribución uniforme y sera mezclado por lo menos 90 segundos.

#### **a. Materiales y Equipos**

- Agregado Fino
- Agregado Grueso
- Molde metálico de 0.20m x 0.10m x 0.06 m
- Prensa de Compresión: Compactación y moldeo de los adoquines “kg”

#### **b. Procedimiento**

- Primero se recepcionó la materia prima a utilizar que son: cemento, agregado grueso (confitillo), agregado fino (arena fina) y agua de la cantera El Milagro.
- Luego se realizó el cortado respectivo del tereftalato de polietileno reciclado con dimensiones de 0.003 m x 0.003 m. *Anexo I(pp.90)*
- Así mismo se hace la mezcla de concreto (agregado fino, agregado grueso, cemento y agua) y luego se le añade las diferentes dosificaciones de tereftalato de polietileno reciclado al 0%, 3% ,5% y 7 % del total de los agregados finos correspondientemente.
- Luego se coloca sobre el molde metálico y se compacta gracias a una prensa compactadora. Los prototipos realizados fueron compactados con una fuerza de 6 Tn. *Anexo I(pp.91)*
- Luego que fueron desmoldados pasaron a la etapa de curado para ser sometidos al ensayo de resistencia a la compresión y desgaste en los días planteados. *Anexo I(pp.92)*

### **2.5.11. Ensayo de Resistencia a la Compresión de Adoquines (NTP399.604)**

#### **a. Equipos**

- Prensa Hidráulica : Rotura de Probetas “kg/cm”
- Balanza Analítica : Medición de materiales en “g”
- Regla de Metal : Medición de los adoquines “cm”

#### **b. Procedimiento**

- Para esto se empleó una Prensa Hidráulica, cuya maquina da los datos de la fuerza en kg que se empleó para romper los adoquines fabricados y luego a través de operaciones matemáticas se pudo hallar la resistencia de cada adoquín. *Anexo 1(pp.93)*

### **2.5.12. Ensayo de Tolerancia Dimensional (NTP 399.604)**

#### **a. Equipos**

- Una regla de metal

#### **b. Procedimiento**

- Medir con la ayuda de una regla de metal las dimensiones de diferentes adoquines que se emplearan en los ensayos de resistencia a la compresión y desgaste. *Anexo 1(pp.94)*

### **2.5.13. Ensayo de Desgaste por Abrasión de Adoquines (NTP 399.624)**

#### **a. Equipos**

- Una regla de metal
- Cortadora de Concreto Manual
- Máquina de Desgaste
- Balanza

#### **b. Procedimiento**

- Medir con la ayuda de una regla de metal dimensiones de 0.20 m. x 0.07 m. x 0.02 m. de los y trazar con la ayuda de un marcador, con el fin de obtener 3 muestras de cada porcentaje de tereftalato de polietileno reciclado.
- Usar la cortadora de Concreto Manual con mucho cuidado por el trazo. Una vez obtenidas las 12 muestras de concreto con diferentes dosificaciones, se pesa en una balanza cada muestra. *Anexo 1(pp.95)*

- Se coloca una muestra paralelamente al disco de la máquina de desgaste con un espacio aproximado de 1 cm.
- Sobre la tolva se agrega el material abrasivo, en este caso se empleó óxido de aluminio. El material abrasivo desciende en forma de lluvia sobre el disco abrasivo y éste comienza a girar produciendo el desgaste a la muestra que se ha colocado. *Anexo I(pp.96)*
- Luego se pesó la muestra desgastada en el transcurso de 20 minutos y, a través de los cálculos correspondientes, se obtiene el desgaste respecto al peso por un tiempo de 20 minutos.

## **Requisitos Complementarios**

### **2.5.14. Ensayo de Absorción de Adoquines de Concreto (NTP 399.604)**

#### **a. Equipos**

- Estufa

#### **b. Procedimiento**

- Primero se pesó las muestras.
- Luego se le puso en agua por el tiempo de curado y se pesó.
- Posteriormente se dejó las muestras secar a temperatura de ambiente y se colocó en la estufa por un periodo de 24 horas.
- Finalmente se pesó las muestras y se efectuaron los cálculos correspondientes *Anexo I(pp.97)*

### **2.6. Métodos de Análisis de datos**

Se procesará los datos a través tablas y/o figuras para obtener mejor entendimiento de los resultados obtenidos, y se empleará técnicas estadísticas utilizando la base de datos en Microsoft Excel.

### **2.7. Aspectos éticos**

Se tomó en cuenta la responsabilidad, compromiso y originalidad de datos, basándose principalmente en la NTP 399.611 y NTP 339.624. Por ende, se busca crear una cultura de concientización del uso de residuos sólidos para el cuidado del medio ambiente a través de proyectos como el planteado en la presente investigación.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Propiedades físicas y mecánicas del tereftalato de polietileno reciclado

En el *Anexo 1(pp.90)*, se muestra el Tereftalato de Polietileno Reciclado usado en la presente investigación que es de 3 mm x 3mm teniendo las características de un agregado fino según la (NTP 400.012).

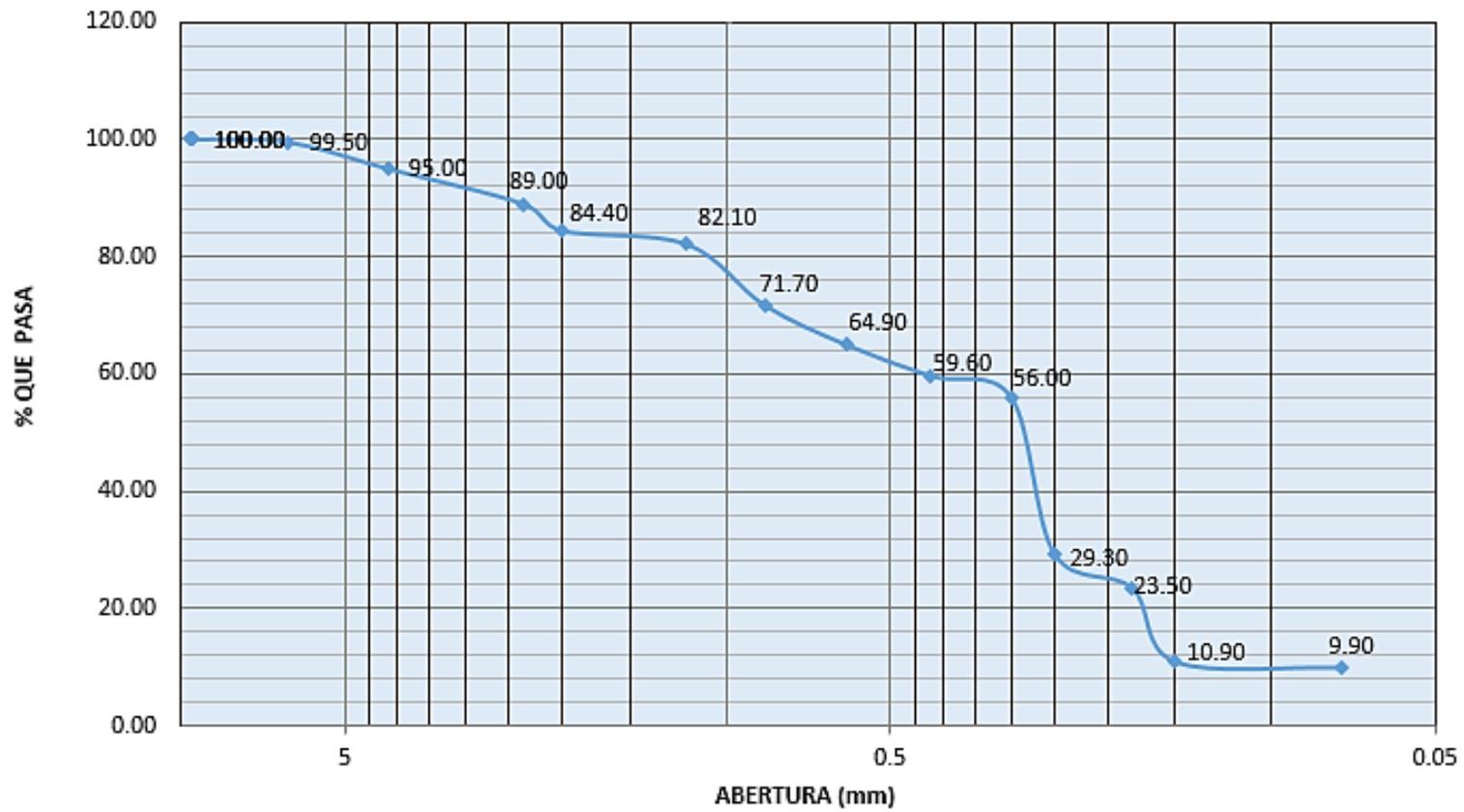
En el *Cuadro 8* se presenta las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas del Tereftalato de Polietileno Reciclado.

**Cuadro 8.**Datos técnicos del Tereftalato de Polietileno.

<b>DATOS TÉCNICOS DE POLIETILENO - TEREFTALATO (PET)</b>		
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>		
<b>Peso específico</b>	<i>gr/cm<sup>3</sup></i>	139
<b>Resistencia a la tracción fluencia/rotura</b>	<i>Kg/cm<sup>3</sup></i>	900
<b>Resistencia a la flexión</b>	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	1450
<b>Alargamiento a la rotura</b>	%	15
<b>Módulo de elasticidad (tracción)</b>	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	37000
<b>Resistencia al desgaste por roce</b>		Muy buena
<b>PROPIEDADES TÉRMICAS</b>		
<b>Temperatura de fusión</b>	°C	255
<b>Conductividad térmica</b>		Baja
<b>Temperatura de deformabilidad por calor</b>	°C	170
<b>Temperatura de ablandamiento de Vicat</b>	°C	175
<b>Coefficiente de dilatación de lineal de 23 a 100°C</b>	mm por °C	0.00008
<b>PROPIEDADES ELÉCTRICAS</b>		
<b>Absorción de humedad</b>	%	0.25
<b>PROPIEDADES QUÍMICAS</b>		
<b>Resistencia a álcalis débiles a temperatura ambiente</b>		Buena
<b>Resistencia a ácidos débiles a temperatura ambiente</b>		Buena
<b>Comportamiento a la combustión</b>		Arde con mediana dificultad
<b>Propagación de llama</b>		Mantienen la llama
<b>Comportamiento al quemado</b>		Gotea

Fuente: Plásticos Mecanizables. IMC, 2010.





**Figura 2.** Granulometría del Agregado Fino (Especificación ASTM C-136)

**Cuadro 9.** Características Físicas de los Agregados.

Características	Agregados	
	Arena Gruesa	Confitillo
Módulo de Finesa	2.02	0.9
Contenido de Humedad	0.60 %	0.93%
Peso Unitario Suelto	1.50 (gr/cc)	1.39(gr/cc)
Peso Unitario Compactado	1.77(gr/cc)	1.52(gr/cc)
Peso Especifico	2.65 (gr/cm3)	2.70(gr/cm3)
Porcentaje de Absorción	1.27%	1.01 %

**Fuente:** Elaboración Propia.

En el *Anexo 3(pp.115)* se muestra los Resultados de Análisis físicos de los agregados hechos en el MTC.

### 3.3. Diseño de Mezclas para $f'c = 320 \text{ kg/cm}^2$

#### 3.3.1 Diseño de Mezclas de Concreto Convencional

Los diseños de mezclas fueron hechos según el (ACI 211)

Las cantidades de cada materia prima se encuentran detallada en el *Cuadro 10* para el diseño de mezcla de concreto simple.

**Cuadro 10.** Diseño de Mezclas para Concreto Simple.

TIPO DE CONCRETO	Diseño de Mezclas	
	Material	Proporción (Kg)
Concreto Simple	Cemento	2.106
	Agua	1.242
	Arena Gruesa	4.326
	Confitillo	5.826

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.3.2 Diseño de Mezclas de Concreto con Tereftalato de Polietileno Reciclado.

El tereftalato de polietileno reciclado se le agregó a los diseños de mezcla convencional en función al peso total de la mezcla en porcentajes de 3% ,5 % y 7 % . En los *Cuadros 11, 12 y 13* se muestra las proporciones de los materiales empleados para una resistencia de 320 kg /cm<sup>2</sup>.

**Cuadro 11.** Diseño de Mezclas de concreto con 3% de PET.

TIPO DE CONCRETO	Diseño de Mezclas	
	Material	Proporción (Kg)
% de PET reciclado	Pet	0.12978
3%	Cemento	2.106
	Agua	1.242
	Arena Gruesa	4.19622
	Confitillo	5.826

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 12.** Diseño de Mezclas de concreto con 5% de PET.

TIPO DE CONCRETO	Diseño de Mezclas	
	Material	Proporción (Kg)
% de PET reciclado	Pet	0.2163
5%	Cemento	2.106
	Agua	1.242
	Arena Gruesa	4.1097
	Confitillo	5.826

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 13.** Diseño de Mezclas de concreto con 7% de PET.

TIPO DE CONCRETO	Diseño de Mezclas	
	Material	Proporción (Kg)
7%	Pet	0.30282
	Cemento	2.106
	Agua	1.242
	Arena Gruesa	4.02318
	Confitillo	5.826

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.4. Ensayo de resistencia a la compresión y desgaste de los prototipos de adoquines con distintas dosificaciones de tereftalato de polietileno.

#### 3.4.1 Ensayo de Resistencia a la Compresión

En este ensayo se hizo la rotura de 36 probetas rectangulares de 0.20 m x 0.10 x 0.06 m en los distintos días de curado.

En los *Cuadros 14, 15, 16 y 17* se muestran los resultados obtenidos en las probetas con tiempo de curado de 7 días con 0 %, 3%, 5 % y 7% de tereftalato de polietileno reciclado como sustituto del agregado fino tal como se muestra en el *Anexo 3(pp.122-123)*

**Cuadro 14.** Resistencia a la Compresión del Concreto Simple.

TIEMPO DE CURADO: 7 DÍAS					
Mezcla	Muestra	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
Mezcla de Concreto Simple	N° 01	203.00	41585	207.925	<b>206.798</b>
	N° 02	201.00	41280	205.373	
	N° 03	200.97	41210	207.096	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 15.** Resistencia a la Compresión de Concreto con 3% de RPET.

<b>TIEMPO DE CURADO: 7 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Fuerza (kg)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de RPET 3%</b>	N° 04	215.25	43650	215.014	<b>217.457</b>
	N° 05	209.09	43589	219.040	
	N° 06	209.09	43445	218.317	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 16.** Resistencia a la Compresión de Concreto con 5% de RPET.

<b>TIEMPO DE CURADO: 7 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Fuerza (kg)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de RPET 5%</b>	N° 07	210.12	41514	204.492	<b>205.850</b>
	N° 08	210.12	41348	205.711	
	N° 09	214.20	41884	207.347	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 17.** Resistencia a la Compresión de Concreto con 7% de RPET.

<b>TIEMPO DE CURADO: 7 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Fuerza (kg)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de RPET 7%</b>	N° 10	203.00	41215	205.050	<b>204.714</b>
	N° 11	207.05	41117	203.550	
	N° 12	203.01	41312	205.543	

**Fuente:** Elaboración Propia.

En los *Cuadros 18, 19, 20 y 21* se muestran los resultados obtenidos en las probetas con tiempo de curado de 14 días con 0 %, 3%, 5 % y 7% de tereftalato de polietileno reciclado como sustituto del agregado fino .Tal como se muestra en el *Anexo 3 (pp.124-125)*

**Cuadro 18.** Resistencia a la Compresión de Concreto Simple.

<b>TIEMPO DE CURADO: 14 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Promedio</b>
		<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de Concreto Simple</b>	N° 13	203.00	48769	243.845	
	N° 14	201.00	48680	242.189	244.904
	N° 15	200.97	48992	248.678	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 19.** Resistencia a la Compresión de Concreto con 3% de RPET.

<b>TIEMPO DE CURADO: 14 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Promedio</b>
		<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de RPET 3%</b>	N° 16	215.25	49870	245.653	
	N° 17	209.09	49899	250.749	<b>248.792</b>
	N° 18	209.09	49495	249.975	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 20.** Resistencia a la Compresión de Concreto con 5% de RPET.

<b>TIEMPO DE CURADO: 14 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Promedio</b>
		<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de RPET 5%</b>	N° 19	210.12	48781	241.489	
	N° 20	210.12	48991	246.184	243.448
	N° 21	214.20	48777	242.673	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 21.** Resistencia a la Compresión de Concreto con 7% de RPET.

<b>TIEMPO DE CURADO: 14 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Promedio</b>
		<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de RPET 7%</b>	N° 22	203.00	47511	238.763	
	N° 23	207.05	47781	242.532	<b>240.360</b>
	N° 24	203.01	47477	239.782	

**Fuente:** Elaboración Propia.

En los *Cuadros 22, 23, 24 y 25* se muestran los resultados obtenidos en las probetas con tiempo de curado de 28 días con 0 %, 3%, 5 % y 7% de tereftalato de polietileno reciclado como sustituto del agregado fino. Tal como se muestra en el *Anexo 3(pp.126-127)*

**Cuadro 22.** Resistencia a la Compresión de Concreto Simple.

<b>TIEMPO DE CURADO: 28 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Promedio</b>
		<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de Concreto Simple</b>	N° 25	203.00	63895	319.475	
	N° 26	201.00	64502	320.905	321.598
	N° 27	200.97	64234	324.414	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 23.** Resistencia a la Compresión de Concreto con 3% de RPET.

<b>TIEMPO DE CURADO: 28 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Promedio</b>
		<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de RPET 3%</b>	N° 28	215.25	68928	339.530	
	N° 29	209.09	68168	342.553	343.108
	N° 30	209.09	68410	347.241	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 24.** Resistencia a la Compresión de Concreto con 5% de RPET.

<b>TIEMPO DE CURADO: 28 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Promedio</b>
		<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de RPET 5%</b>	N° 31	210.12	61978	305.296	308.878
	N° 32	210.12	62567	314.423	
	N° 33	214.20	62307	306.916	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 25.** Resistencia a la Compresión de Concreto con 7 % de RPET.

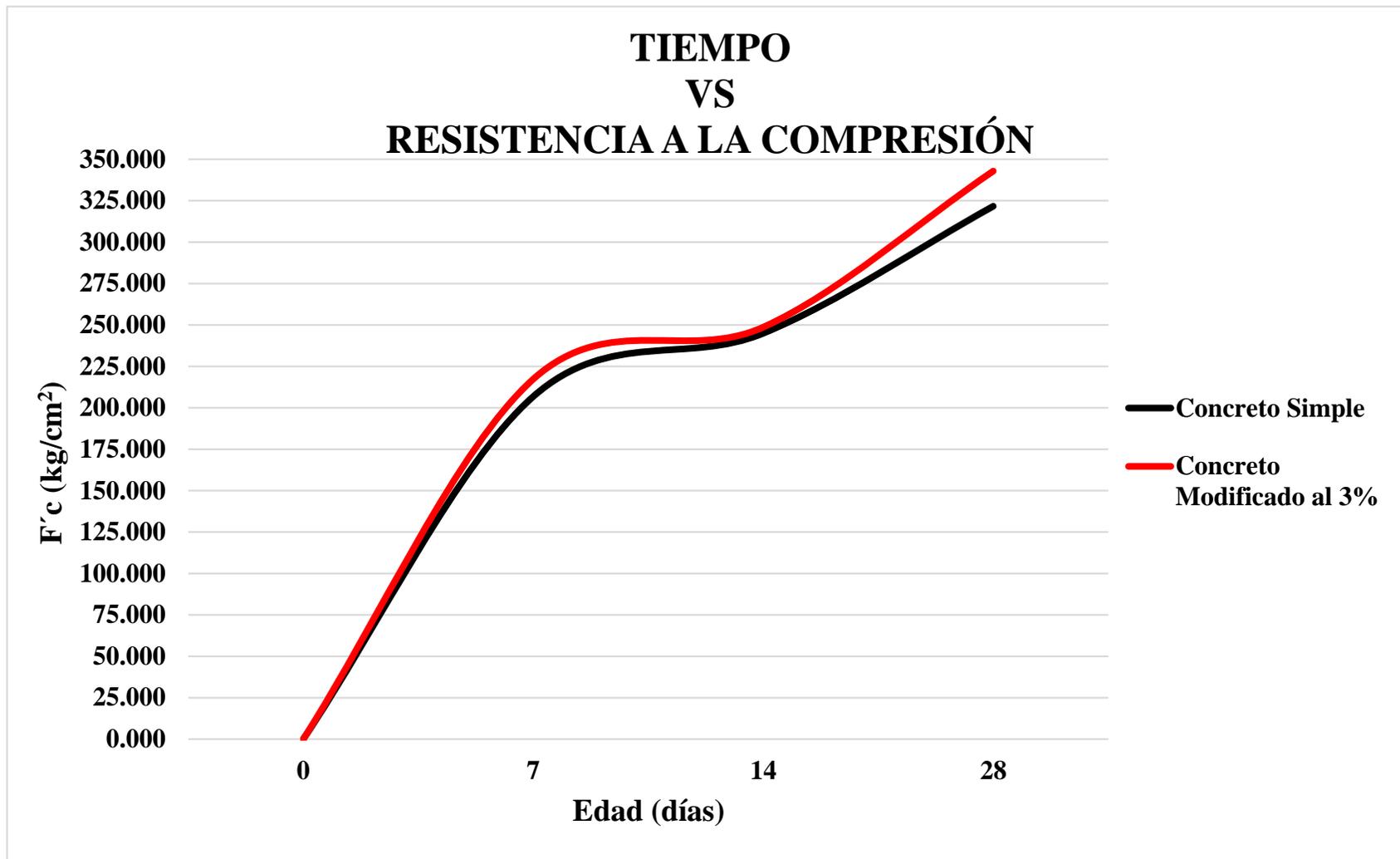
<b>TIEMPO DE CURADO: 28 DÍAS</b>					
<b>Mezcla</b>	<b>Muestra</b>	<b>Área</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Promedio</b>
		<b>(cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Mezcla de RPET 7%</b>	N° 34	203.00	61148	305.738	304.709
	N° 35	207.05	61728	305.586	
	N° 36	203.01	61472	302.803	

**Fuente:** Elaboración Propia.

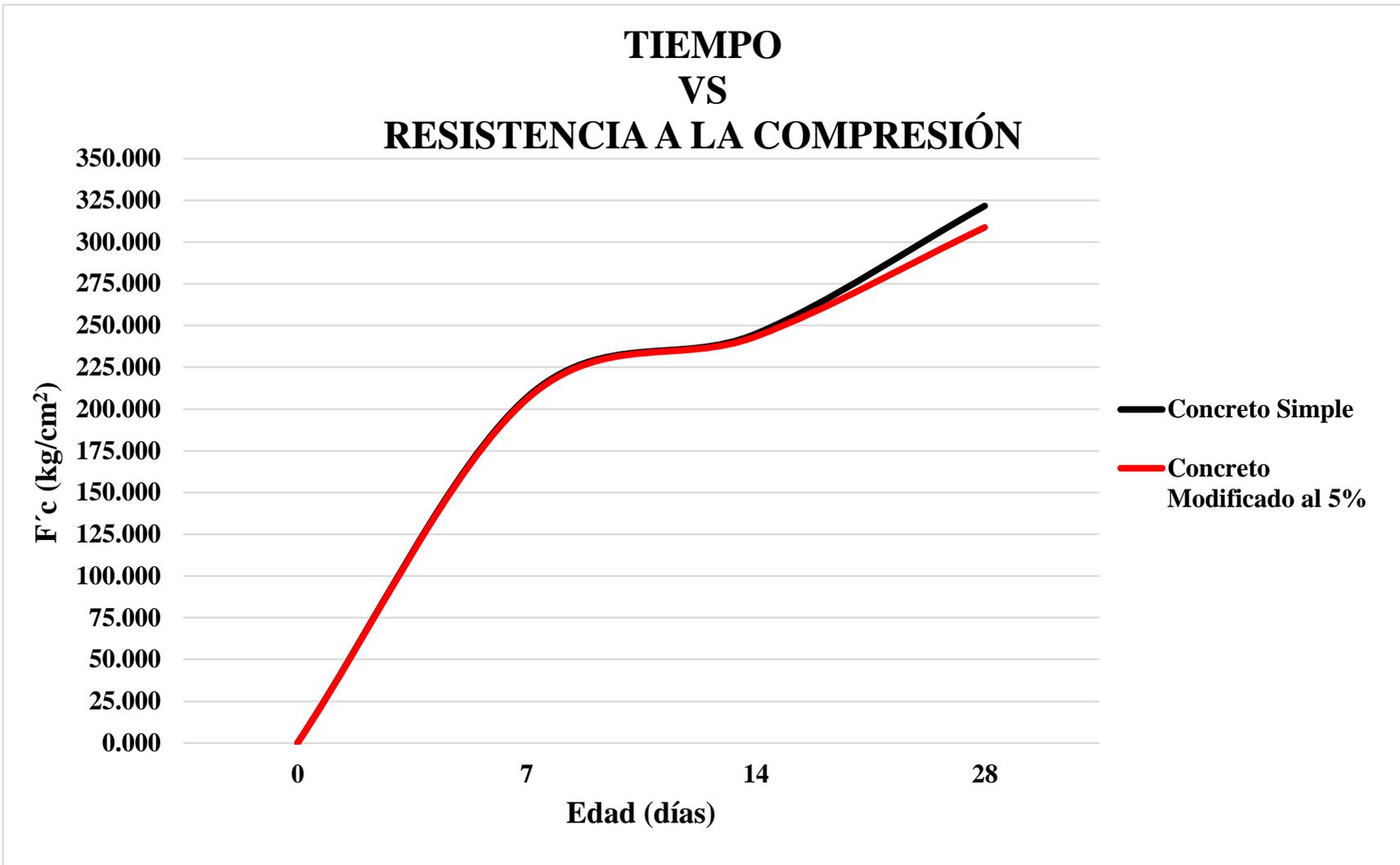
En el *Anexo 3(pp.119-121)* se muestra los Certificados de Tolerancia Dimensional con sus respectivos resultados

Para visualizar un resumen del comportamiento mecánico del Concreto Simple y el Concreto Modificado en los días de curado 7, 14 y 28, se elaboró En la *Figura 3*, se muestra un ligero incremento en la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a las edades de 7,14 y 28 días.

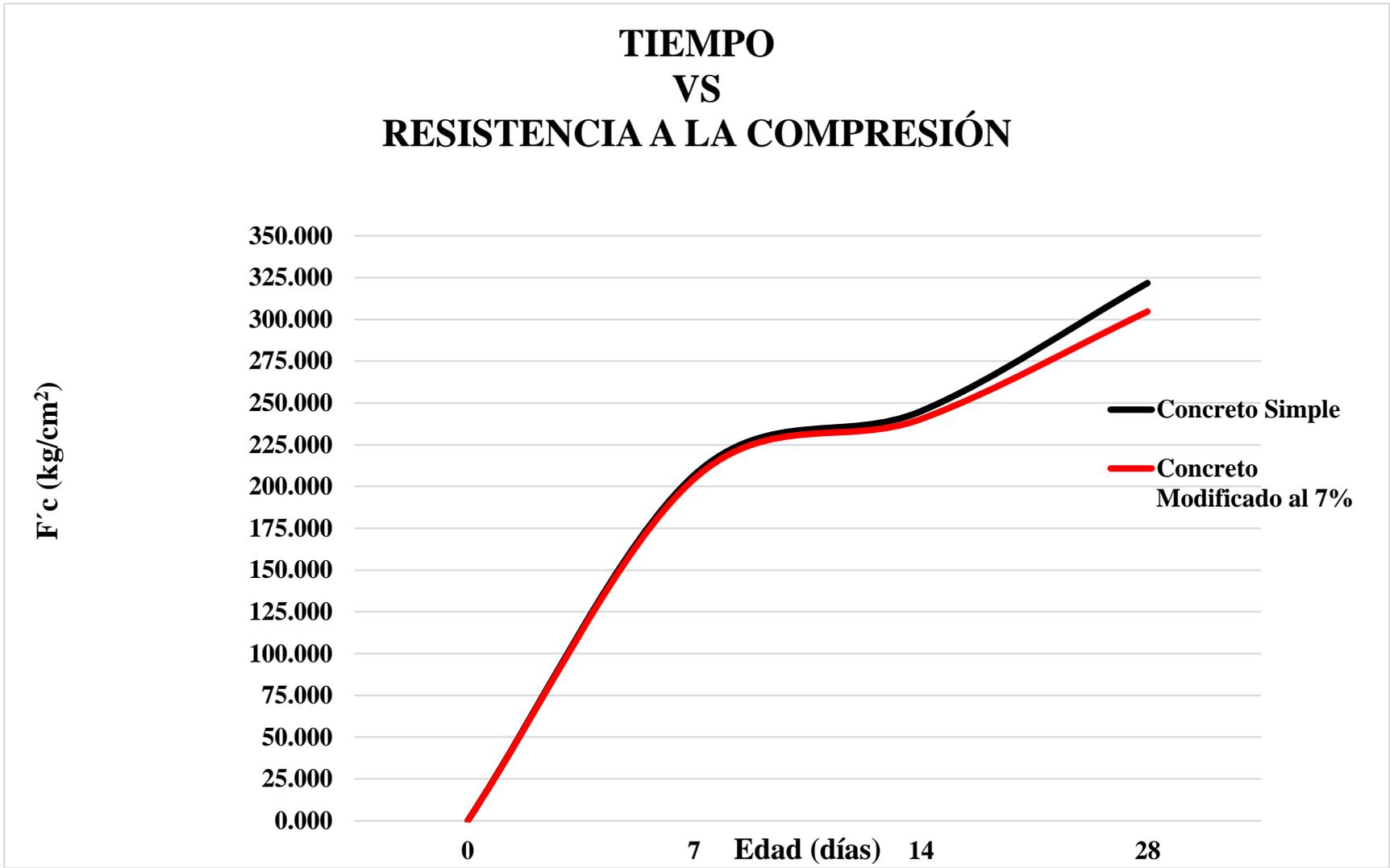
En las *Figuras 4 y 5* se muestran una ligera disminución en la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a las edades de 7,14 y 28 día



**Figura 3.** Tiempo de curado en la Resistencia a la Compresión al incorporar 3% de Tereftalato de Polietileno Reciclado.



**Figura 4.** Tiempo de curado en la Resistencia a la Compresión al incorporar 5% de Tereftalato de Polietileno Reciclado.



**Figura 5.** Tiempo de curado en la Resistencia a la Compresión al incorporar 7% de Tereftalato de Polietileno Reciclado

### 3.4.2 Ensayo de Desgaste por Abrasión

En este ensayo se hizo la rotura de 12 probetas rectangulares de 0.20 m x 0.07 x 0.02 m.

En los *Cuadro 26, 27, 28 y 29* se muestran los resultados obtenidos en las probetas con tiempo de curado de 28 días con 0 %, 3%, 5 % y 7% de tereftalato de polietileno reciclado como sustituto del agregado fino.

**Cuadro 26.** Desgaste a la abrasión de Concreto Simple a los 28 días de curado.

<b>Tiempo de Desgaste: 20 minutos</b>				
<b>%</b>	<b>Peso Inicial (gr.)</b>	<b>Peso Final (gr.)</b>	<b>Diferencia de Pesos (gr.)</b>	<b>Peso Promedio (gr.)</b>
	591.110	568.910	22.200	
<b>0</b>	587.240	565.340	21.900	<b>22.370</b>
	595.070	572.060	23.010	

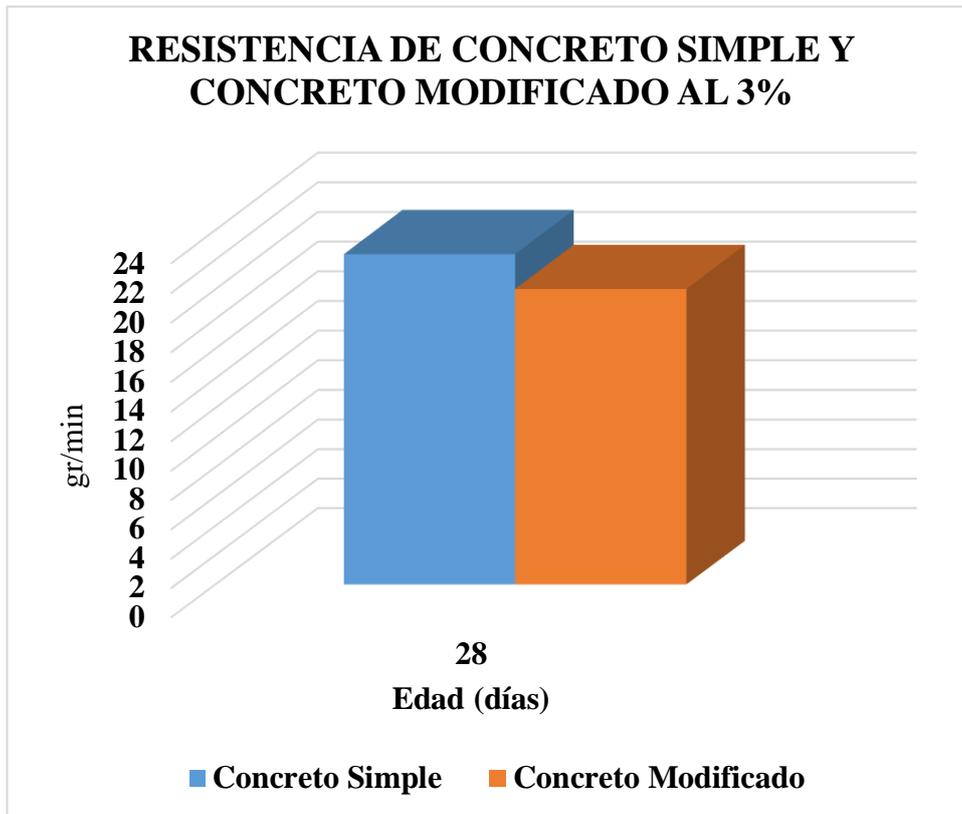
**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 27.** Desgaste a la abrasión de Concreto Modificado a los 28 días de curado.

<b>Tiempo de Desgaste: 20 minutos</b>				
<b>%</b>	<b>Peso Inicial (gr.)</b>	<b>Peso Final (gr.)</b>	<b>Diferencia de Pesos (gr.)</b>	<b>Peso Promedio (gr.)</b>
	670.300	650.430	19.870	
<b>3</b>	665.890	645.860	20.030	<b>20.020</b>
	672.160	652.000	20.160	

**Fuente:** Elaboración Propia.

En la *Figura 6*, se observa que el concreto modificado al 3% de Tereftalato de Polietileno Reciclado, es más resistente al Desgaste Abrasivo que el Concreto Patrón.



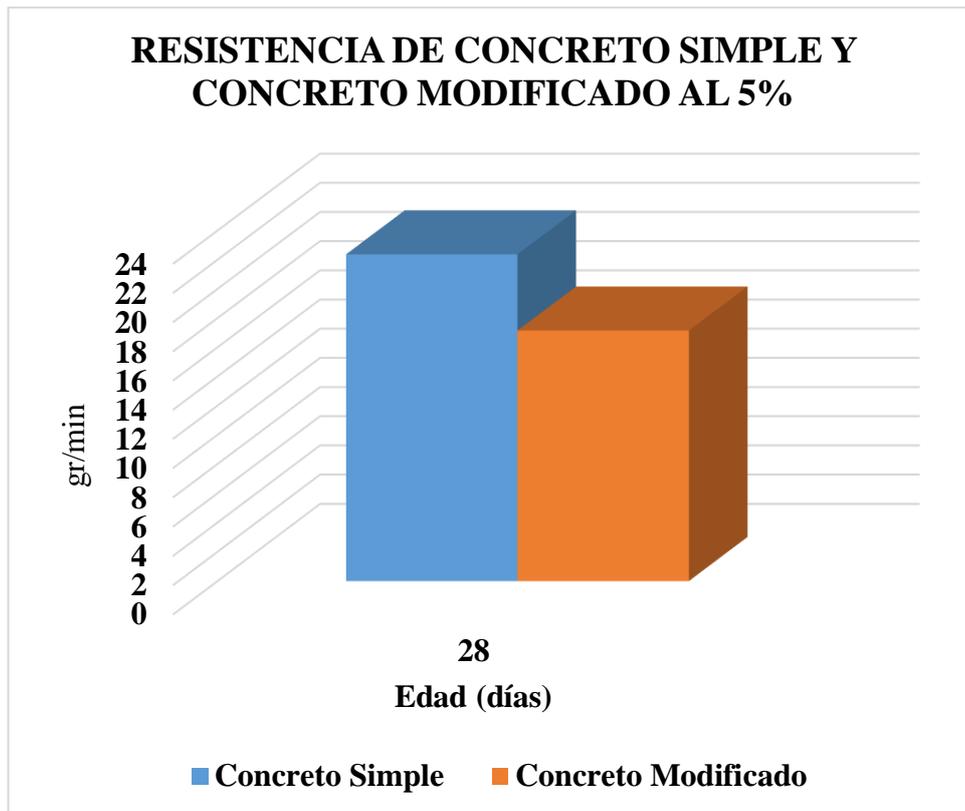
**Figura 6.** Desgaste por Abrasión en gr/min durante 20 minutos a la edad de 28 días de curado.

**Cuadro 28.** Desgaste a la abrasión de Concreto Modificado a los 28 días de curado.

<b>Tiempo de Desgaste: 20 minutos</b>				
%	<b>Peso Inicial</b>	<b>Peso Final</b>	<b>Diferencia de</b>	<b>Peso Promedio</b>
	<b>(gr.)</b>	<b>(gr.)</b>	<b>Pesos (gr.)</b>	<b>(gr.)</b>
	475.520	458.410	17.110	
<b>5</b>	477.350	460.000	17.350	<b>17.147</b>
	473.910	456.930	16.980	

**Fuente:** Elaboración Propia ,2019.

En la **Figura 7**, se observa que el concreto modificado al 5% de Tereftalato de Polietileno Reciclado, es más resistente al Desgaste Abrasivo que el Concreto Patrón.



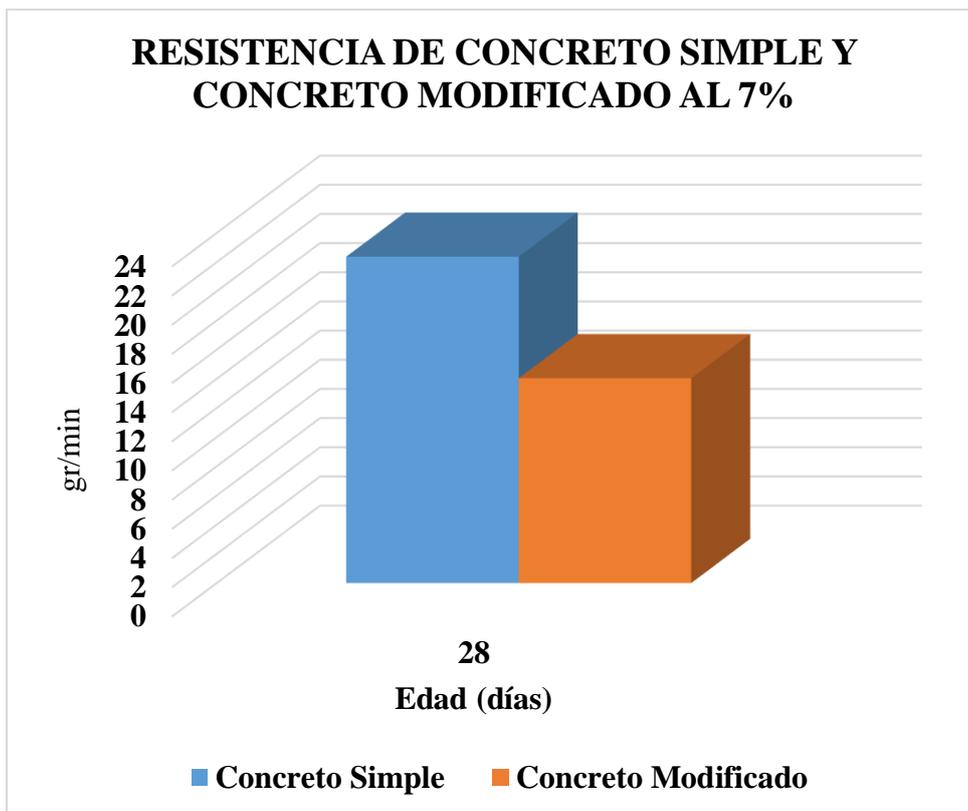
**Figura 7.** Desgaste por Abrasión en gr/min durante 20 minutos a la edad de 28 días de curado.

**Cuadro 29.** Desgaste a la abrasión de Concreto Modificado a los 28 días de curado

Tiempo de Desgaste: 20 minutos				
%	Peso Inicial (gr.)	Peso Final (gr.)	Diferencia de Pesos (gr.)	Peso Promedio (gr.)
	625.850	611.560	14.290	
<b>7</b>	627.190	613.420	13.770	<b>14.037</b>
	623.970	609.920	14.050	

**Fuente:** Elaboración Propia ,2019.

En la **Figura 8**, se observa que el concreto modificado al 7% de Tereftalato de Polietileno Reciclado posee un mejor comportamiento al Desgaste Abrasivo a comparación de un concreto simple.



**Figura 8.** Desgaste por Abrasión en gr/min durante 20 minutos a la edad de 28 días de curado.

**3.5. Porcentaje de tereftalato de polietileno reciclado empleado en el adoquín para obtener la mayor resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.**

Para un mejor entendimiento en la *Figura 3*, se observa el mejoramiento de la resistencia del concreto simple a los 7, 14 y 28 días de curado y del concreto modificado con 3% tereftalato de polietileno reciclado respectivamente.

**3.6. Porcentaje de tereftalato de polietileno reciclado empleado en el adoquín para obtener la mayor resistencia al desgaste a los 28 días de curado.**

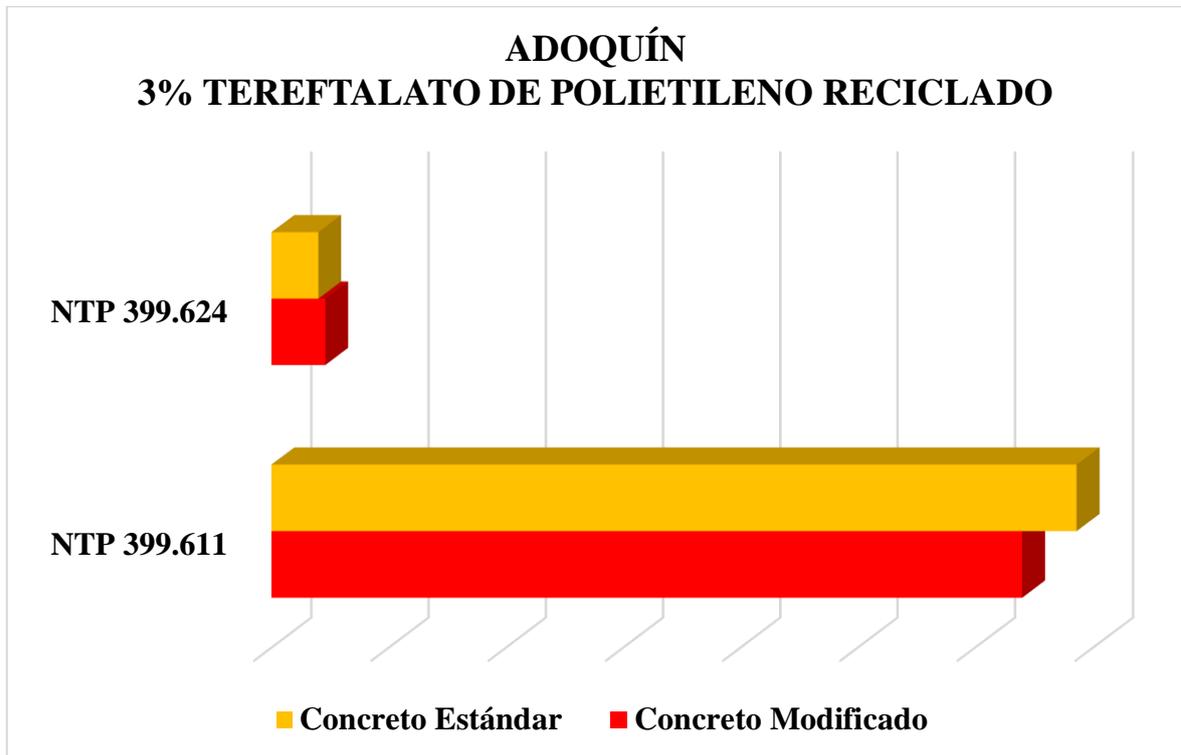
En la *Figura 8*, se observa un mejor comportamiento de resistencia al desgaste al incorporar 7% de Tereftalato de Polietileno Reciclado.

**3.7. Determinar si los prototipos elaborados cumplen con los requerimientos como material de adoquín para pavimento articulado tipo I.**

En la *Figura 9*, se detalla que la incorporación de 3% de Tereftalato de Polietileno Reciclado, mejora la resistencia a la compresión según la NTP 399.611 y con respecto a la

resistencia al desgaste contemplada en la NTP 399.624, está por debajo del valor mencionado en ésta como máximo.

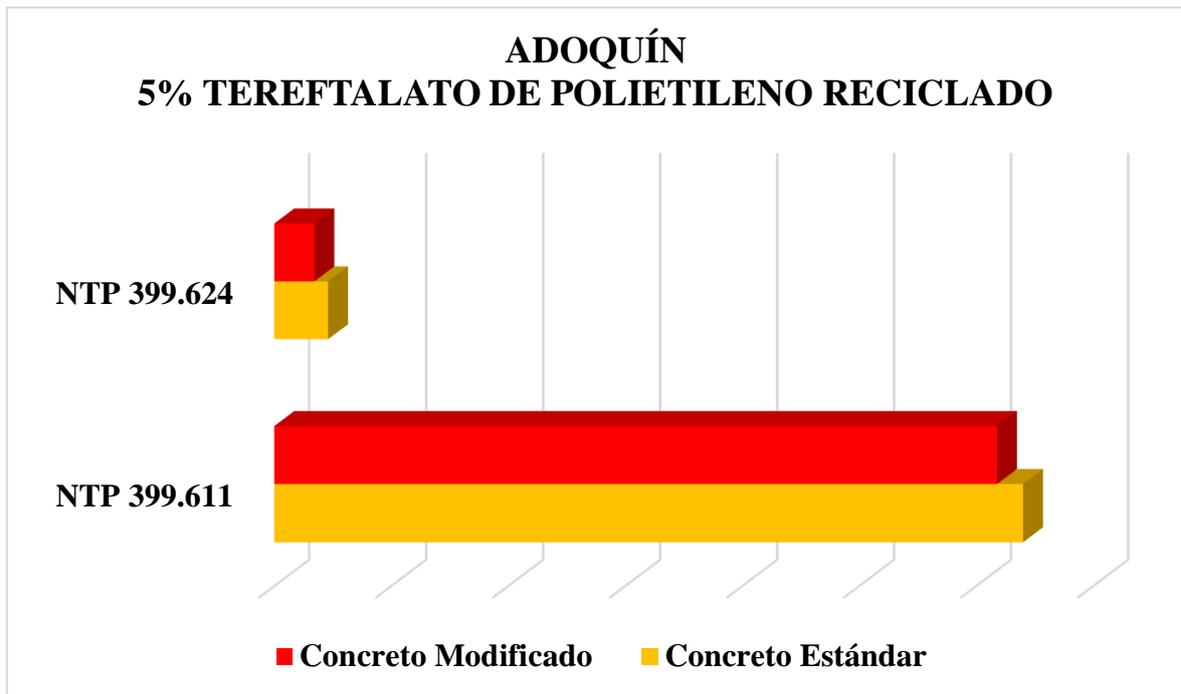
Los valores de Resistencia a la Compresión Estándar y de Resistencia al Desgaste del Concreto Modificado al 3%, se ajusta considerablemente a las especificaciones técnicas.



**Figura 9.** Comparaciones de los resultados obtenidos con las Normas Técnicas Peruanas.

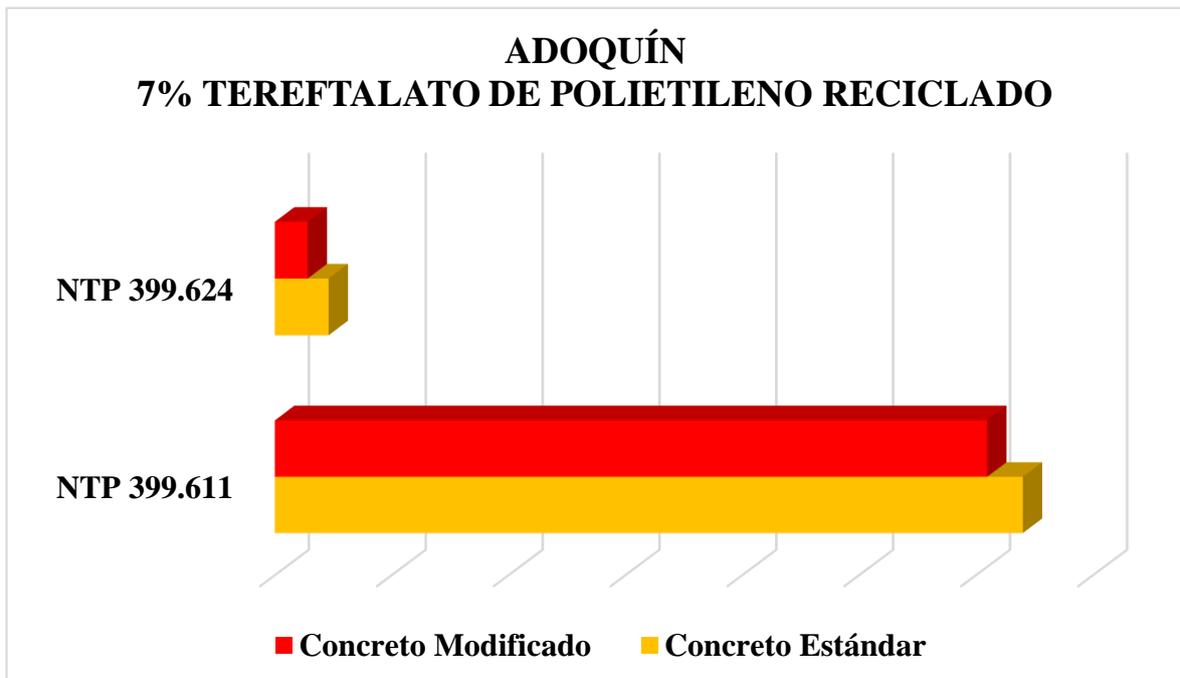
En la *Figura 10*, se detalla que la incorporación de 5% de Tereftalato de Polietileno Reciclado, disminuye la resistencia a la compresión según la NTP 399.611 y con respecto a la resistencia al desgaste contemplada en la NTP 399.624, está por debajo del valor mencionado en ésta como máximo.

Los valores de Resistencia a la Compresión Estándar y de Resistencia al Desgaste del Concreto Modificado al 5%, no se ajustan a las especificaciones técnicas.



**Figura 10.** Comparaciones de los resultados obtenidos con las Normas Técnicas Peruanas.

En la *Figura 11*, se detalla que la incorporación de 7% de Tereftalato de Polietileno Reciclado, disminuye considerablemente la resistencia a la compresión según la NTP 399.611 y con respecto a la resistencia al desgaste contemplada en la NTP 399.624, está por debajo del valor mencionado en ésta.



**Figura 11.** Comparaciones de los resultados obtenidos con las Normas Técnicas Peruanas.

Los valores de Resistencia a la Compresión Estándar y de Resistencia al Desgaste del Concreto Modificado al 7%, no se ajustan a las especificaciones técnicas.

#### IV. DISCUSIÓN

La resistencia a la compresión promedio empleando tereftalato de polietileno respecto al peso total de los agregados a los 7 días de curado al 0% fue de 206.798 kg/cm<sup>2</sup>, al 3% 217.457kg/cm<sup>2</sup>, al 5% 205.850 kg/cm<sup>2</sup> y al 7 %, 204.714kg/cm<sup>2</sup>. A los 14 días de curado 244.904 kg/cm<sup>2</sup> al 0 % ,248.792 kg/cm<sup>2</sup> al 3%, 243.448 kg/cm<sup>2</sup> al 5% y 240.360kg/cm<sup>2</sup> al 7 % y a los 28 días de curado 321.598 kg/cm<sup>2</sup>, 343.108. Kg/cm<sup>2</sup>, 308.878 kg/cm<sup>2</sup> y 304.709 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

A los 28 días de curado en el **Cuadro 23**, se muestra la mayor resistencia a la compresión promedio de la mezcla de concreto con 3% de tereftalato de polietileno reciclado respecto al peso total de los agregados finos y en el **Cuadro 25**, la menor resistencia promedio con el 7% del pet reciclado.

Así mismo Mahyar, Reza y Taheri(2016) emplearon el 0% , 5% y 10 % de tereftalato de polietileno reciclado en su diseño de mezclas en concreto de 310 kg/cm<sup>2</sup>. Realizaron el ensayo de resistencia a la compresión obteniendo como resultados 295.72 kg/cm<sup>2</sup> en 0%, 340.08 % en el 3 % y 319.38 kg/cm<sup>2</sup> al 7 %. Dando a conocerse de esta manera que las sustituciones superiores al 10 % de tereftalato reciclado originan una disminución en la resistencia del concreto y menores al 3 % es favorable para la elaboración de adoquines de concreto.

La resistencia al desgaste promedio empleando tereftalato de polietileno respecto al peso total de los agregados a los 28 días de curado al 0% fue de 22.370 gr/min, al 3% 20.020 gr /min, al 5% 17.147 gr/min y al 7 % 14.037. El tiempo empleado para este ensayo fue de 20 minutos.

A los 28 días de curado en el **Cuadro 29**, se muestra la mejor resistencia al desgaste promedio de la mezcla de concreto con 7% de tereftalato de polietileno reciclado respecto al peso total de los agregados finos y en el **Cuadro 26**, la peor resistencia promedio con 0 % del pet reciclado.

Así mismo Estrada (2017) empleo el 0%, 5%, 7% y 15 % de tereftalato de polietileno reciclado en su diseño de mezclas. Realizó el ensayo de desgaste por abrasión obteniendo los valores de 20803 mm<sup>3</sup> en 0% y 8394 mm<sup>3</sup> al 7 %.

Dando a conocerse de esta manera que las sustituciones superiores al 7 % de tereftalato reciclado originan un mejor comportamiento a la resistencia al desgaste por abrasión y los valores menores de 7 % un mal comportamiento.

De los trabajos previos mencionados anteriormente, se afirma que el tereftalato de polietileno reciclado aumenta la resistencia a la compresión. En el caso del presente trabajo de investigación, se puede observar un aumento de resistencia a la compresión al incorporar 3% de partículas de tereftalato de polietileno reciclado, mientras que, al incorporar un 5% y 7% de este material, se ha presentado una disminución en la resistencia a la compresión. *Anexo 3(pp.126-127)*

Virella (1967), dentro de las propiedades aglomerantes del concreto como el endurecimiento y la resistencia mecánica se observa la estructura denticular de los silicatos hidratados, lo cual va a permitir una mejor adherencia en la unión con otros cristales, esta unión es conocida como epitaxia, en el cual se observaría la continuidad de redes cristalinas de los áridos con las estructuras propias de los cementos hidratados.

La Universidad de Málaga (2016), menciona existen diversos factores por los cuales se observa que hay un aumento o disminución de la resistencia a la compresión, es por ello que se puede explicar el comportamiento de las moléculas a través del uso de microscopía electrónica de barrido. En este campo la microscopia electronica de barrido, permitira caracterizar a los materiales de forma microestructural, la identificacion de las fases cristalinas y las transiciones de muchos materiales.

A si mismo, identificar el tipo de degradación, cristalinidad y presencia de defectos. En primer lugar, se puede empezar por los materiales empleados, en este caso se presenta el cemento. Como se sabe es un material que permite adherencia y cohesión, permitiendo la unión de diversos fragmentos, tal como se muestra en el *Anexo 1 (pp.98)* donde se observa la interaccion microscopica de agua ,cemento ,aridos y pet al incorporar 5% y en el *Anexo 1 (pp.99)* donde se observa la interaccion microscopica de agua ,cemento ,aridos y pet al incorporar 15%.

A traves de la microscopia electronica de rastreo, se puede observar cuales son los componentes mayoritarios y sus porcentajes. Como se sabe, el cemento es extraído de caliza, dentro de él, se encuentra en mayor porcentaje el Óxido de calcio en 35%

- 40%, Óxido de Aluminio en 40 – 50%, Dióxido de Aluminio en 5%, Óxido de Hierro en 5% - 10% y en menor porcentaje de 1% Dióxido de Titanio. *Anexo I (pp.80)*

Se empleó tereftalato de polietileno reciclado, y se puede observar la microscopía electrónica de este agregado artificial, en donde se puede visualizar que los filamentos de este material se encuentran muy adheridos y unidos entre si. *Anexo I (pp.83)*

Como agregados naturales, se obtienen los finos y gruesos, para el trabajo de investigación se empleo arena gruesa y confitillo. Pero se puede simular el comportamiento microscópico. *Anexo I(pp.84)*

En segundo lugar, se considera como factor externo, la temperatura.

Para Lozano et al. (2007), no es una variable muy pronunciada, es importante tomar en consideración las condiciones de diseño, extracción de agregados, temperatura de realización de la mezcla tal como lo menciona en su investigación titulada “Influencia de la temperatura ambiental sobre las propiedades de trabajabilidad y microestructurales de morteros y pastas de cemento”

En el *Anexo I(pp.100)*., se pudo observar la microestructura de un concreto sometido a la estación de primavera. Cuando se tiene una mezcla de concreto a 48 horas , se puede observar que se comienza a endurecer el cemento en su estado natural bajo condiciones ambientales de un laboratorio cerrado.

Cuando una mezcla se hace en la estación de verano, se puede observar que en los agregados, agua y cemento, aumenta rápidamente la evaporación del agua, lo que provoca en su mayoría deshidratación de la mezcla de concreto, provocando resequedad en la mezcla, lo que puede permitir que no haya una mejor adherencia entre todos los materiales involucrados. *Anexo I(pp.101)*

Cabe resaltar que, Virella (1967), menciona que las temperaturas muy altas, se opera el cemento con un silicato de gran basicidad, lo que provoca inestabilidad en el agua. Los fenómenos de fraguado y endurecimiento, con desprendimiento de calor, se observa una destrucción de los anhídridos y silicatos hidratados, lo que provoca desprendimiento de partículas de calcio, bajo la forma de hidratos lo que afecta a la velocidad de reacción con la hidratación del cemento.

Lozano et al.(2007), caso contrario en el *Anexo 1(pp.102)*, se observa que en invierno, se toma en consideración los procesos que cualquier concreto es sometido, deshielo y congelamiento, el fenómeno de deshielo, se produce cuando el hormigón ha desarrollado un grado máximo de saturación, lo que provoca que al descender la temperatura se produce la helada, ocasionando que el agua carezca de espacio para poder expandirse. Cuanto menor es el tamaño de poros, mayor es la presión a la que están sometidos.

Virella (1967), determina que el agua, desempeña otro papel importante, la actividad de la hidráulica en el cemento corresponde a los silicatos bicálcico y tricálcico. El silicato es un tetraedro conformado por un núcleo central que contiene un átomo de silicio y rodeado de cuatro átomos de oxígeno. Sólo se puede combinar dos átomos de oxígeno con un sólo átomo de silicio para poder obtener un conjunto eléctricamente neutro y garantizar una mejor adherencia entre partículas. Lo que ocurre al silicato del cemento en un CSH (Silicato Cálcico Hidratado) permitiendo posteriormente interacción con la microestructura de los agregados pétreos.

El agua juntamente con la temperatura provoca que en la estación de verano, la muestra de siete días y 28 días, se observen con microestructura muy homogénea.

En verano, se observa que la formación de CSH a los siete días, hay formación de cristales en forma de placas intrecruzadas formando ángulos de sesenta grados entre sí y a los veintiocho días, el CSH aumenta extensivamente.

Por otro lado en invierno, la microestructura es caracterizada por tener una baja cohesión entre las partículas hidratadas de cemento debido a que hay una escasa formación de CSH. Se observa la formación de cristales lo que produce la fragilidad del cemento y por ende, se asume fragilidad del concreto en sí y por ende, una disminución en la resistencia mecánica a la que el concreto es sometido.

En las edades de siete el desarrollo de CSH, se ve recubierto por partículas prismáticas distribuidas por zonas fracturadas. y a los veintiocho días de curado, se observa que la formación de CSH posee un aspecto muy denso y compactado.

## V. CONCLUSIONES

- Las propiedades físicas y mecánicas del tereftalato de polietileno reciclado fueron detalladas en el **Cuadro 8**, en el cual se pudo observar que posee una muy buena resistencia al desgaste por roce y en la resistencia a la rotura, se obtiene una buena cantidad de  $900 \text{ kg/cm}^3$ .
- Se realizó el análisis físico de ambos agregados, descrito en la **Figura 1** y **Figura 2**, del cual se realiza el módulo de fineza, en el agregado fino de 2.02 y del confitillo 0.9.
- Se realizó un diseño de mezcla se empleó una relación agua/cemento de 0.57 con los datos obtenidos de los **Cuadros 10, 11, 12 y 13** como base una resistencia de  $320 \text{ kg/cm}^2$  la cual se menciona en la NTP 399.611.
- Se determinaron los resultados del ensayo de resistencia a la Compresión, los cuales fueron descritos en los **Cuadros 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25**, de los cuales, se describen los valores obtenidos en los días de curado de 7, 14 y 28.
- Se observó en la **Figura 3**, que el tereftalato de polietileno reciclado tuvo un impacto positivo de  $343.108 \text{ kg/cm}^2$  a comparación de la muestra patrón de concreto simple de  $321.598 \text{ kg/cm}^2$ , siendo el incremento de 1.1% respecto a la resistencia a la compresión a los 28 días de curado.
- Se observó en la **Figura 8**, que el tereftalato de polietileno reciclado tuvo un impacto positivo sobre la resistencia al desgaste de  $14.037 \text{ gr/min}$  a comparación de la muestra patrón de concreto simple de  $22.37 \text{ gr/min}$ , siendo el incremento de 1.6% a los 28 días de curado.
- En la **Figura 9**, se observó que el concreto modificado al 3% de Tereftalato de Polietileno Reciclado cumple con las exigencias de la NTP 399.611 y NTP 399.624; mientras que en las **Figuras 10 y 11**, se cumple con la resistencia al desgaste descrita en la NTP 399.624 y no con la exigencia de la resistencia a la compresión estipulada en la NTP 399.611.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Los equipos empleados en los ensayos deben estar en buenas condiciones.
- Se debe usar equipos de protección individual para cada ensayo que se realice.
- Los materiales empleados deben ser extraídos de la misma cantera.
- Se debe tener en cuenta la trabajabilidad de la mezcla que todas las muestras que se realicen se encuentren en las mismas condiciones de trabajo.
- Se debe continuar con investigaciones que empleen el PET reciclado en la construcción.
- Se debe realizar muestras con diferentes porcentajes de tereftalato de polietileno reciclado.
- Si se requiere tener mayor resistencia a la compresión y desgaste por abrasión en adoquines de concreto se debe utilizar aditivos.

## REFERENCIAS

**ABTS, Georg. 2016.** *Kunststoff-Wissen für Einsteiger.* Alemania : s.n., 2016. ISBN: 978-3-446-45041-7.

**ACI 211.** *Diseño para seleccionar el proporcionamiento del concreto.*

**ANGARITA ESTUPIÑAN, Diego y LIZARAZO ARIZA, Oscar.** *Análisis del Comportamiento Mecánico de Adoquines de Concreto con adición de Fibra de Acero de LLantas Recicladas..* Bogotá : Publicaciones Universidad de La Salle, 2018.

**ANGUMBA AGUILAR, Pedro Javier.** *Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para Mampostería no portante.* Cuenca : Publicaciones Universidad de Cuenca, 2016.

**ANTON LEVEDEV.** *Composición molecular del tereftalato de polietileno, 2005.*

**AUSTRALIAN PAVING CENTRE.** *Top 5 Benefits For Concrete Paving Projects..* Australia : s.n., 2016.

**ASTM C – 29.** *Método de ensayo estándar para determinar la densidad de masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados.*

**ASTM C-127.** *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregados. Agregado Grueso*

**ASTM C-128.** *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregados. Agregado Fino*

**ASTM C – 136.** *Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos.*

**ASTM D – 2216.** *Método de Prueba Estándar para la determinación de Laboratorio del Contenido de Agua (Humedad) de Suelos y Rocas.*

**BOTERO JARAMILLO, Eduardo, y otros.** *Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas.* 70, Antioquía : Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía, 2014, págs. 201-219. ISSN: 0120-6230.

**CEMENTOS PACASMAYO S. A.** *Adoquines de Concreto.* Pacasmayo : s.n., 2014.

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DEL CEMENTO Y EL CONCRETO.** *Tipos de Pavimento.* Lima : s.n., 2017.

**CONCRETOS SUPERMIX. ADOQUINES.** Buenos Aires : s.n., 2017.

**ESTRADA QUINTANILLA, Francisco Javier.** *Uso de material reciclado de tereftalato de polietileno, PET, como agregado fino para mezclas de concreto, para la elaboración de adoquín,* Guatemala : Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.

**FARIAS SOLANO, Manuel Alejandro.** *Influencia del porcentaje de polietileno tereftalato en las propiedades físicas y mecánicas del bloque de concreto,* Chimbote : Facultad de Ingeniería Universidad Privada César Vallejo, 2018.

**GEYER, Roland, JAMBECK, Jenna y LAVENDER, Kara.** *Production, use, and fate of all plastics ever made.* 2017. 7, California : Science Advances, 19 de Julio de 2017, Vol. III, págs. 1-2.

**GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO. 2018.** *Tereftalato de Polietileno.* México : s.n., 2018.

**HANSEN, Erik, NILSSON, Nils y RAVNHOL, Kristine.** *Problematiska kemiske stoffer i plast.* 2014. Dinamarca : Miljøstyrelsen, 2014. ISBN: 9788793283305.

**HERNANDEZ, FERNANDEZ Y BAPTISTA.** *Metodología de la Investigación .* Mexico : Publicaciones Mc Graw Hill Education , 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

**INSTITUTO ASTECO.** *Qué es el desgaste por abrasión y cómo combatirlo.* Medellín : s.n., 2018.

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA.** *Informe de Residuos Sólidos Diarios.* Trujillo : s.n., 2015.

**INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS.** Proyecto Polímeros. *Programa piloto.* [En línea] Publicaciones Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Febrero de 1981. [Citado el: 09 de Diciembre de 2019.] <http://labohemiahipermediatica.weebly.com/poliacutemeros.html>

**KRISCAUTZKY, Agustín.** *Microscopía Electrónica de Barrido en Áridos,* 2012.

**LASSO, Carlos y PARIGUAMÁN, Alex.** *Correlación entre las propiedades mecánicas de los adoquines ecológicos fabricados con agregados reciclados y adoquines convencionales.* Quito : Publicaciones Quito: UCE, 2017.

**LOZANO, J., AGUADO, A., ZERMEÑO, M. y ALONSO, F.** Environmental temperature influence on the hydraulic concrete properties. *Cement and Concrete Research.* México: Universidad Autónoma de Yucatán. [En línea] Publicaciones REDALYC, 14 de Marzo de 2007. [Citado el: 03 de Julio de 2019.] <https://www.redalyc.org/pdf/467/46711202.pdf>. ISSN: 1665-529X.

**LUMITOS A.G. 2016.** *Polyethylenterephthalat: Eintrag zu Polyethylenterephthalat in der GESTIS-Stoffdatenbank des BGIA.* Alemania : Publicaciones CHEMIE.DE, 2016.

**MAHYAR AZHDARPOUR, Amir, REZA NIKOUDEL, Mohammad y TAHERI, Milad.** *The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; a laboratory evaluation.* Iran : Construcion and Building Materials, 2016, Vol. 109. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.01.056.

**MATHOT, Vicent Benoist. 1994.** *Calorimetry and Thermal Analysis of Polymers.* s.l. : Hanser Publishers, 1994. 1569901260, 9781569901267.

**MENDEVIL ESCALANTE, José, y otros.** Metamorphosis in the Porosity of Recycled Concretes Through the Use of a Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Additive. Correlations between the Porous Network and Concrete Properties. *Materiales Porosos.* [En línea] ELSEVIER, 7 de Febrero de 2017. [Citado el: 5 de Junio de 2019.] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5459097/>. DOI: 10.3390/ma10020176.

**MÉNDEZ PRIETO, Adrián.** Detrás de la producción del PET. [En línea] Departamento de Procesos de Transformación. Centro de Investigación en Química Aplicada, 3 de Diciembre de 2016. [Citado el: 3 de Junio de 2019.] <https://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/detras-de-la-produccion-del-pet>.

**MICROFIBRA DE PLÁSTICOS.** *Plásticos, 2013.*

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables. *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano.* 2019.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** Reglamento que regula uso de plástico se emitirá en junio. *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano*. 2018.

**NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE 12009-10.** *Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos.*

**NORMA TÉCNICA PERUANA 399.033.** *Concreto. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.*

**NORMA TÉCNICA PERUANA 399.604.** *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Méodo de Muestreo y Unidades de Albañilería de Concreto.*

**NORMA TÉCNICA PERUANA 399.611.** *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos.*

**NORMA TÉCNICA PERUANA 399.624.** *UNIDADES DE ALBAÑALERÍA. Método de Ensayo para determinar la Resistencia al Desgaste por Abrasión de Adoquines de Concreto utilizando la Máquina de Desgaste.*

**NORMA TÉCNICA PERUANA 400.010.** *AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras.*

**NORMA TÉCNICA PERUANA 400.012.** *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.*

**NORMA TÉCNICA PERUANA 400.037.** *Agregados. Especificaciones Normalizadas para agregados en concreto.*

**OLARTE BURITICÁ, Saulo y BAQUERO RAMÍREZ, Andrés.** *Concreto hidráulico adicionado con botellas plásticas de PET recicladas. Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia, 2013.*

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS.** *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Noticias ONU.* [En línea] 5 de Junio de 2018. <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>.

**PASTOR, Ayrtor, y otros.** *Diseño de planta productora de adoquines a base de cemento y plástico reciclado.* Piura : Repositorio Institucional PIRHUA, 2015.

**PAYA , Miguel.** *Hormigón Vibrado y hormigones especiales.* España : Publicaciones CEAC, 1979.

**PLEIGER TERMOPLAST.** *Polyethylenterephthalat.* Alemania : Publicaciones GmbH & Co K G, 2007

**POVEDA, R, y otros.** *Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A. 3,* Quito : Revista Politécnica del Ecuador, 2015, Vol. XXXV

**SÁNCHEZ, Cristian, PEÑA, Jarithza y RICO, Leonardo.** *Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) reciclado .* **2018.** Colombia : Universidad Cooperativa de Colombia, 2018.

**SÁNCHEZ, Diego.** *Tecnología del Concreto y del Mortero.* Bogotá : Publicaciones Quebecor World Bogotá S.A., 2001. ISBN: 958-9247-04-0.

**SÁNCHEZ, Johan José.** *Comportamiento Térmico y Mecánico del Poli (Etilén Tereftalato) (PET) Modificado con Resinas Poliméricas Basados en Bisfenol-A.* Cataluña : Departament de Ciència de los Materials en Ingeniería Metalúrgica, 2003.

**SANTIAGO, Miguel, y otros.** *Diseño y elaboración de adoquines de PET reciclado .* 44, Chimalhuacán : Ideas en Ciencia, 2015. 2007-5197.

**SCHAEFER, Carolyn.** *Irradiated recycled plastic as a concrete additive for improved chemo-mechanical properties and lower carbon footprint.* s.l. : Publicaciones Waste Management, 2017.

**SUASNAVAS, Darwin Francisco.** *Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión.* Quito : Publicaciones de Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2017.

**THE CONSTRUCTOR.** *Compressive Strength of Concrete - Cube Test, Procedure, Results.* India : s.n., 2015.

**THE CONSTRUCTOR.** *Factors Affecting Strength of Concrete.* New York : s.n., 2015.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA.** *Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto.* Chihuahua : s.n., 2003.

**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA.** *Microscopía Electrónica de Barrido,* 2016.

**VIRELLA, Alberto.** Química del Concreto. *Los cementos portland con adiciones y los cementos compuestos.* [En línea] 19 de Agosto de 1967.  
<https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>.

# **ANEXO N°1**

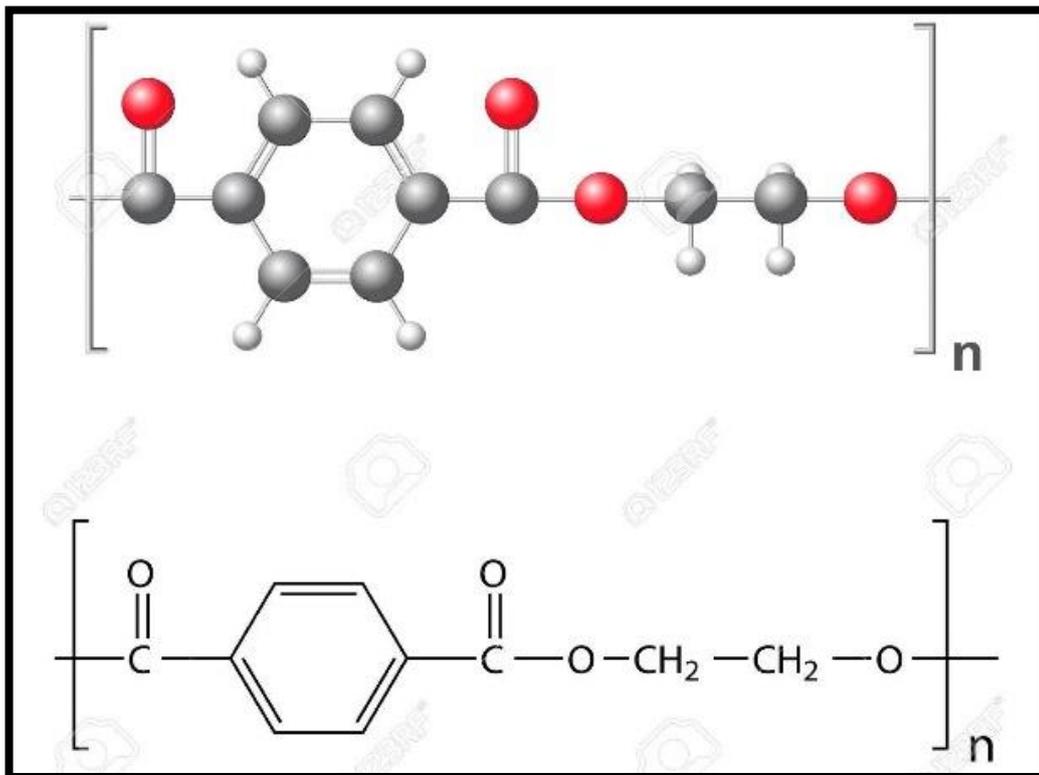
**(ILUSTRACIONES  
REFERENTES A LA  
INVESTIGACIÓN)**

Botadero Controlado el Milagro.



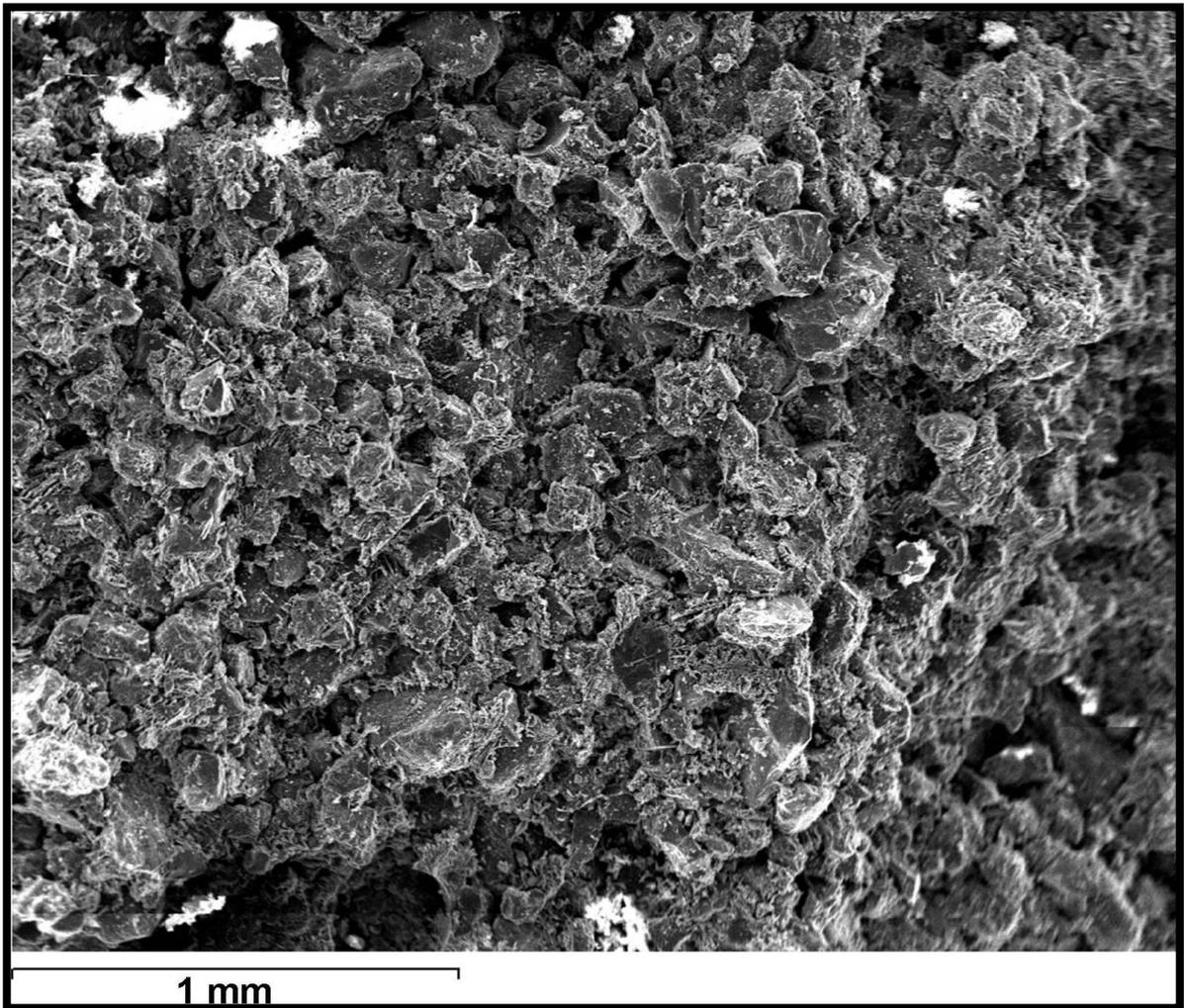
**Fuente:** Elaboración propia.

Estructura molecular del Polímero Tereftalato de Polietileno, 2D y 3D.



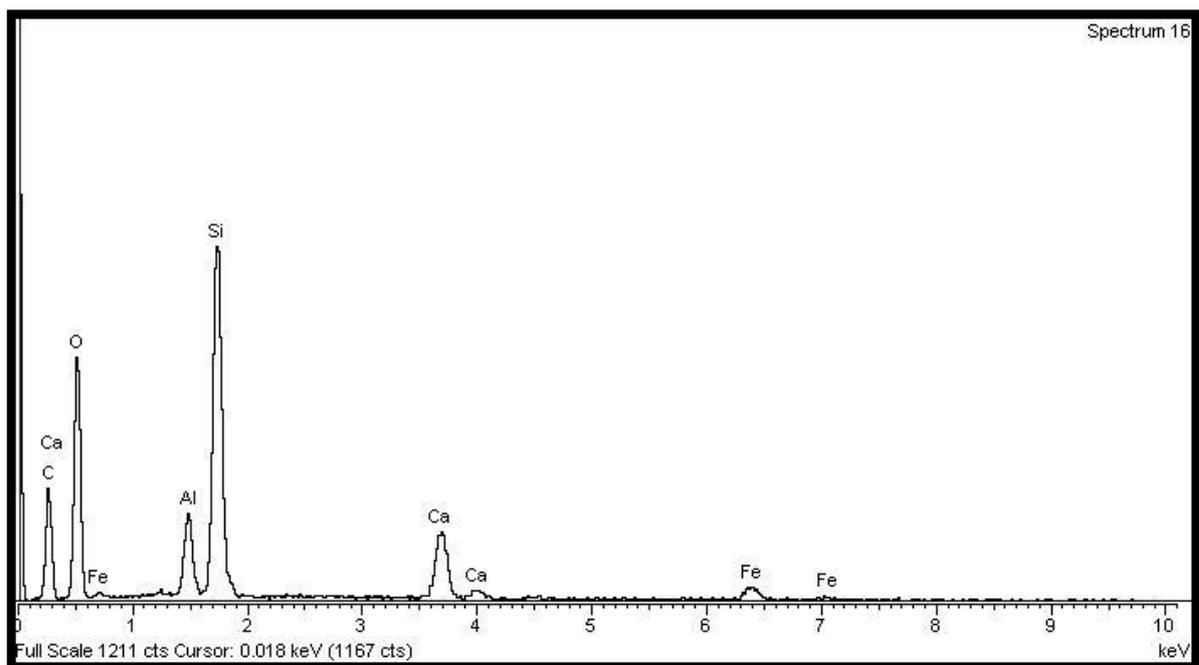
**Fuente:** Anton Lebedev, 2005.

Microscopía Electrónica de Barrido de Partículas de Cemento.



**Fuente:** Universidad de Málaga, 2016.

Microscopía Electrónica de Rastreo: 35-40% CaO, 40-50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5% SiO<sub>2</sub>, 5-10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  
1% TiO<sub>2</sub>.



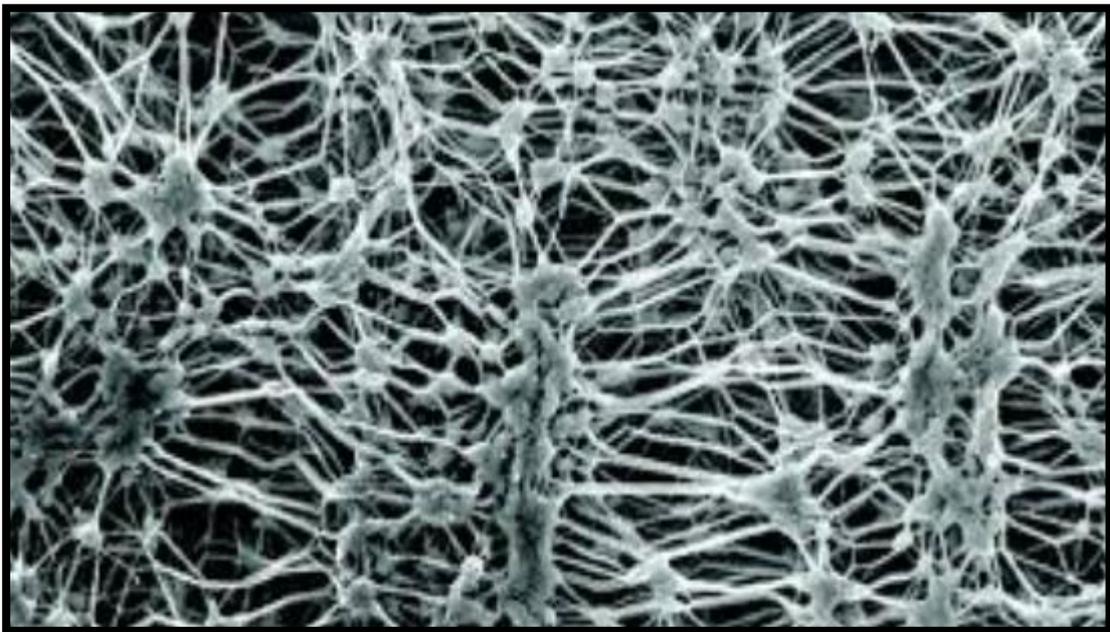
**Fuente:** Universidad de Málaga, 2016.

Partículas de Tereftalato de Polietileno Reciclado.



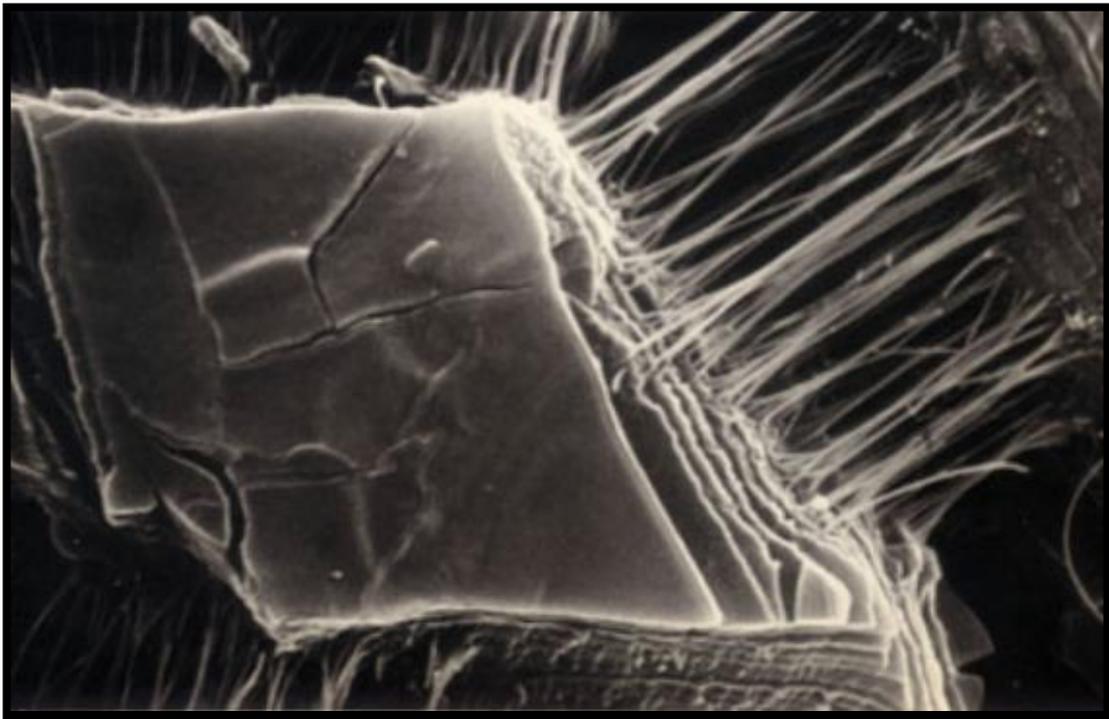
**Fuente:** Microfibra de Plástico, 2013.

Comportamiento Molecular de Barreras de Tereftalato de Polietileno.



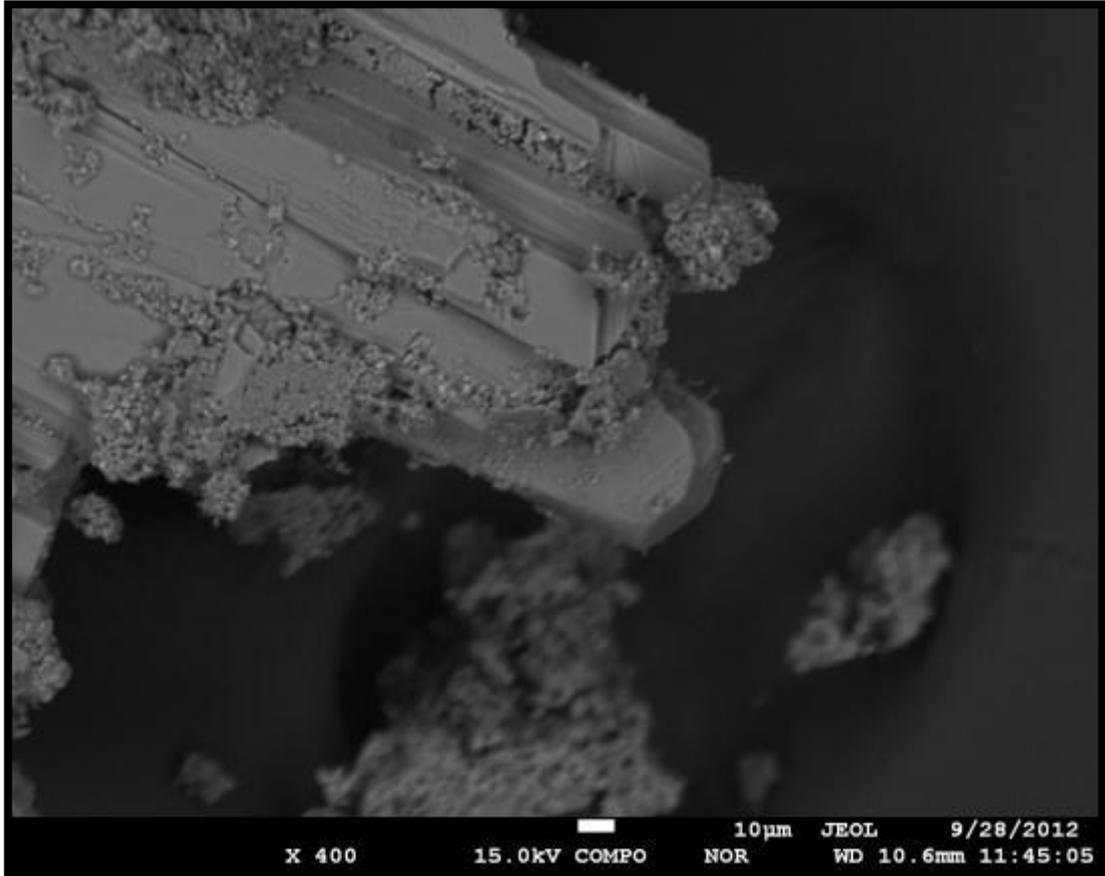
**Fuente:** Microfibra de Plástico, 2013.

Microscopía Electrónica de Barrido de Tereftalato de Polietileno Reciclado  
Morfología y formación



**Fuente:** Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, 1981.

Comportamiento Molecular de Barreras de Áridos.



**Fuente:** Agustín Kriscautzky, 2012.

Prensa Hidráulica Manual *Shop Press*.



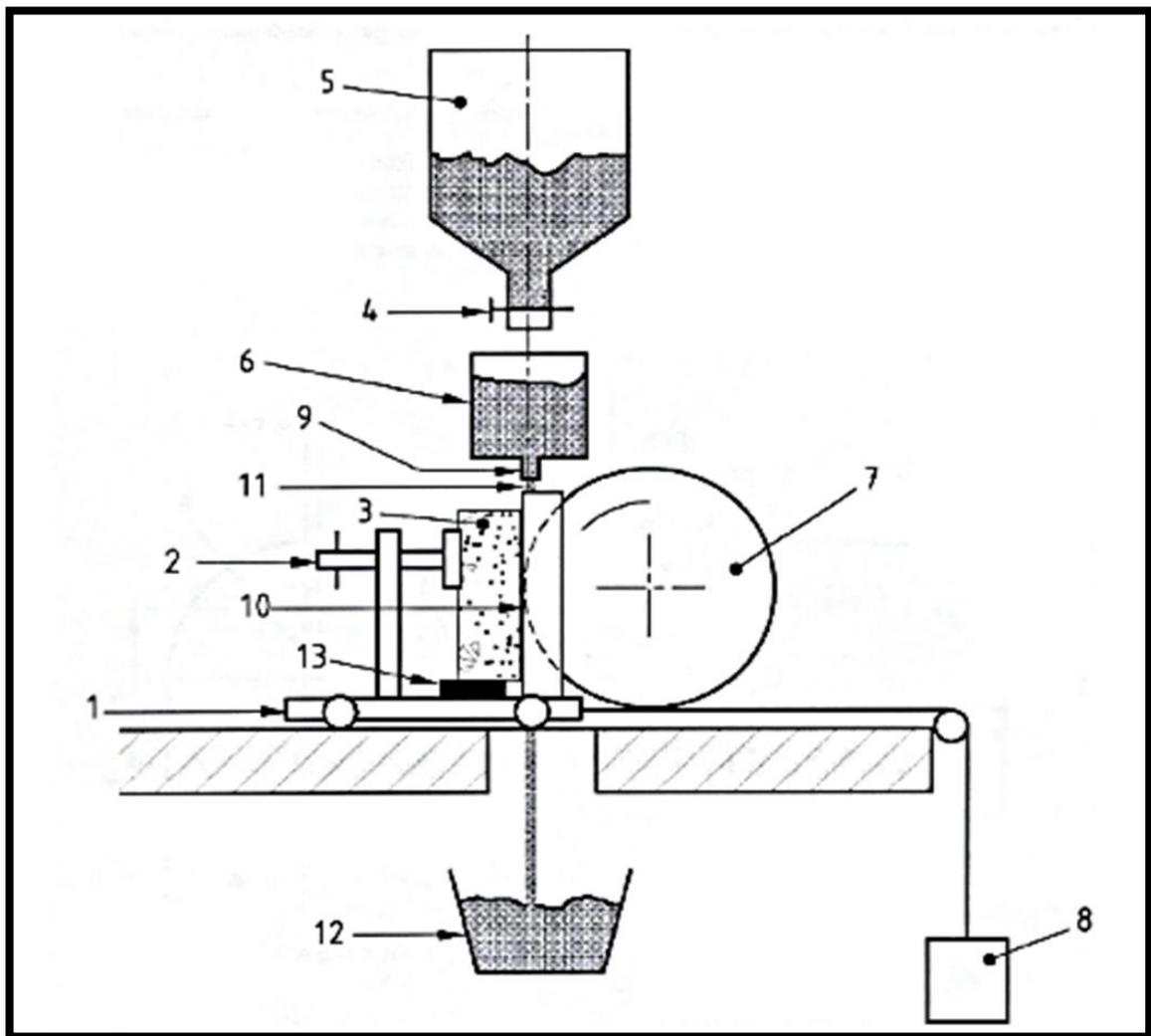
**Fuente:** Elaboración propia.

Máquina de ensayo a la compresión axial.



**Fuente:** Elaboración propia, 2019.

## Máquina para ensayo de desgaste por abrasión



Fuente: NTP 399.624.

Dónde:

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1. Carro porta probetas    | 10. Huella                              |
| 2. Tornillo de fijación    | 11. Flujo de material abrasivo          |
| 3. Probeta                 | 12. Recipiente de recogida del abrasivo |
| 4. Válvula de control      | 13. Calzo                               |
| 5. Tolva de almacenamiento |   |
| 6. Guía de flujo           |   |
| 7. Disco ancho de abrasión |   |
| 8. Contrapeso              |   |
| 9. Ranura                  |   |

## Ubicación Geográfica de la Cantera el Milagro.



**Fuente:** Google Earth, 2019

## Cantera el Milagro.



**Fuente:** Elaboración propia.

Materias Primas Utilizadas.



**Fuente:** Elaboración propia.

Materias Primas Utilizadas.



**Fuente:** Elaboración propia.

Tereftalato de Polietileno Reciclado



**Fuente:** Elaboración propia.

### Prototipos compactados



**Fuente:** Elaboración propia.

Curado de Adoquines.



**Fuente:** Elaboración propia.

Ensayo de Resistencia a la Compresión.



**Fuente:** Elaboración propia.

## Ensayo de Tolerancia Dimensional



**Fuente:** Elaboración propia, 2019.

Ensayo de Desgaste por Abrasión: Muestra de diferentes % de Tereftalato de Polietileno Reciclado



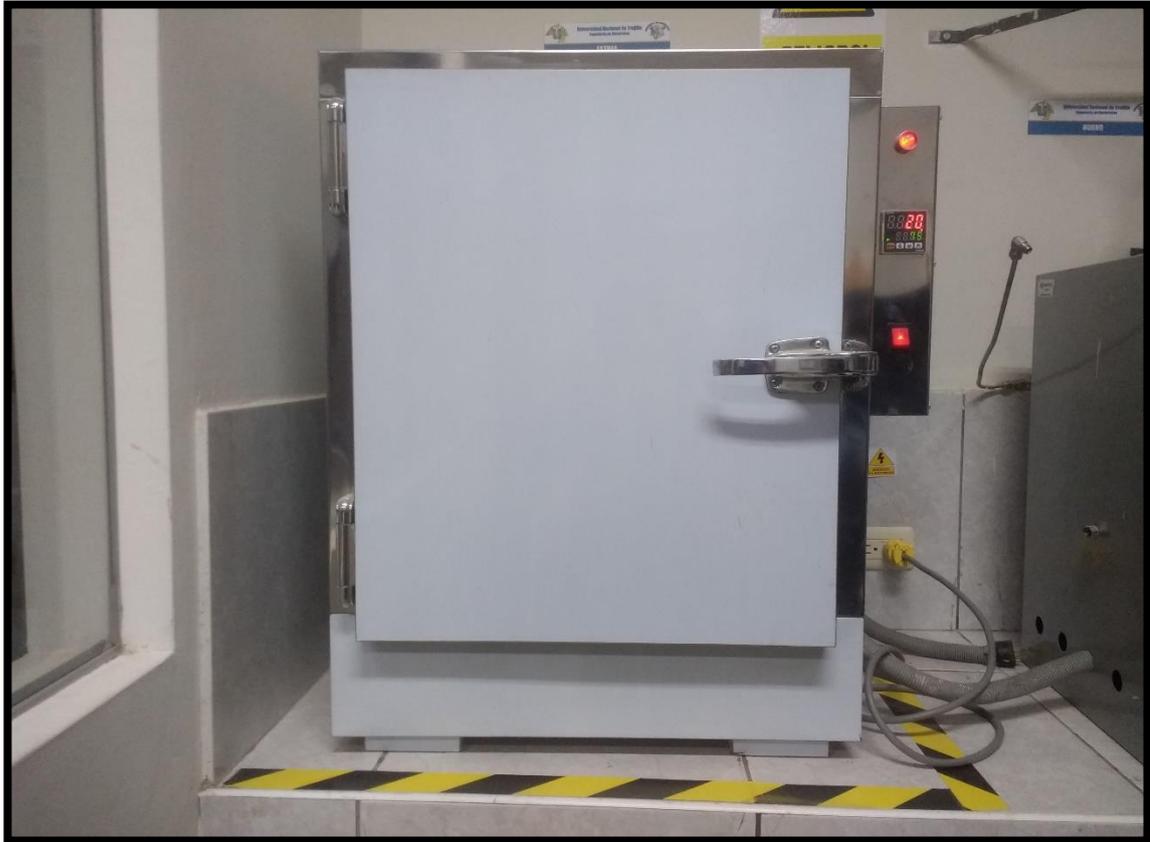
**Fuente:** Elaboración propia.

Ensayo de Desgaste por Abrasión: Máquina de Desgaste.



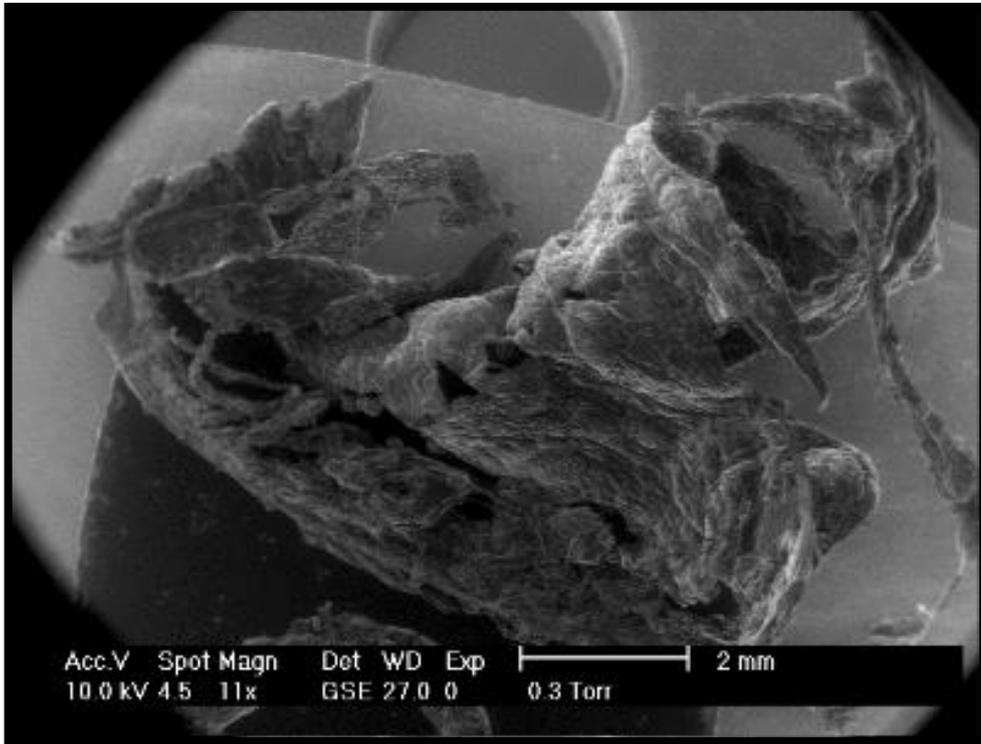
**Fuente:** Elaboración propia.

## Ensayo de Absorción de Adoquines



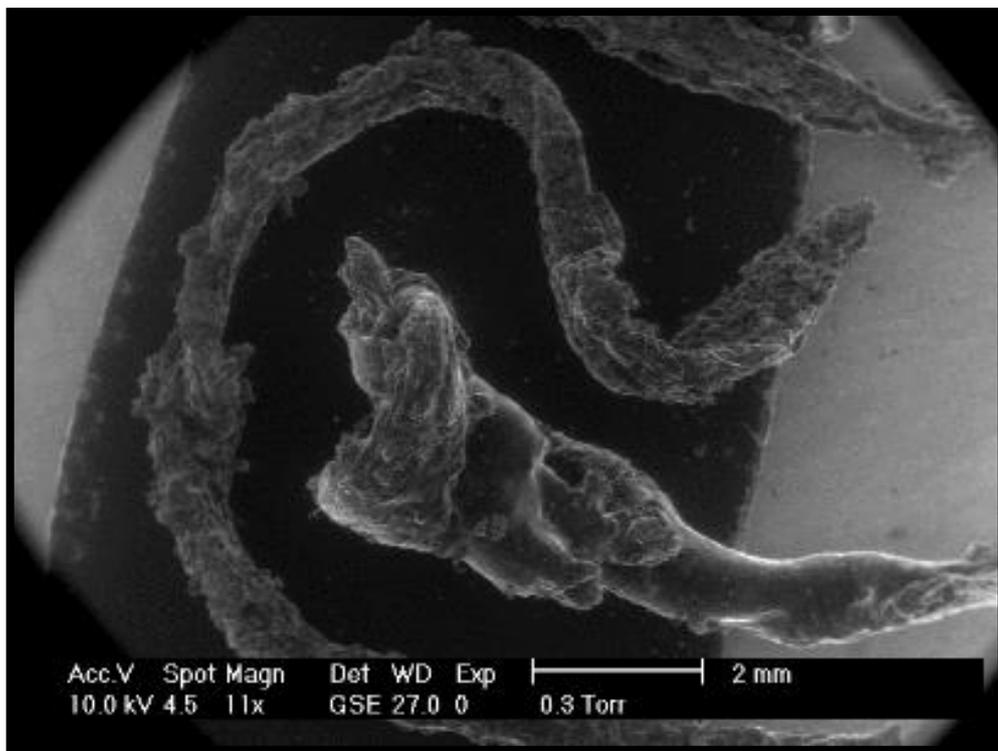
**Fuente:** Elaboración propia.

Interacción microscópica de agua, áridos, cemento y tereftalato de polietileno reciclado, mediante Microscopía Electrónica de Barrido al 5%.



**Fuente:** Olarte Buriticá y Baquero Ramírez, 2013.

Interacción microscópica de agua, áridos, cemento y tereftalato de polietileno reciclado, mediante Microscopía Electrónica de Barrido al 10%.



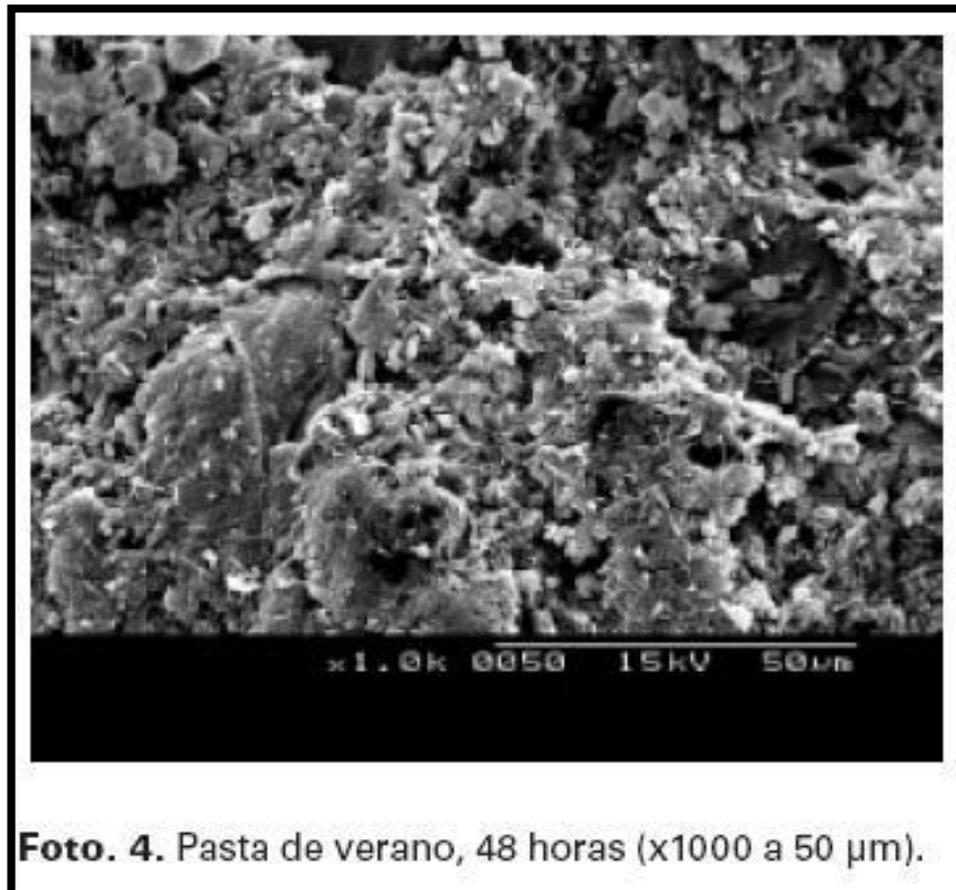
**Fuente:** Olarte Buriticá y Baquero Ramírez, 2013.

Muestra la pasta de referencia a la edad de 48 horas, caracterizada por el desarrollo de CSH recubriendo las originales partículas de cemento.



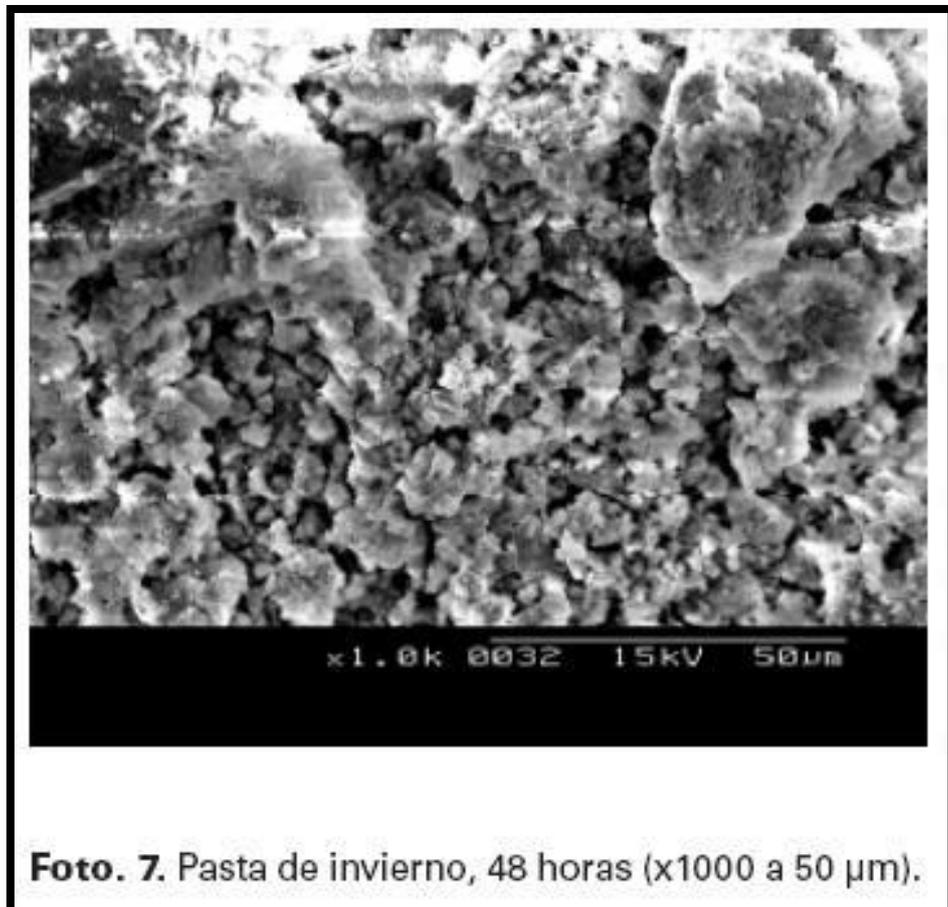
**Fuente:** Lozano et al, 2007.

Muestra la pasta de referencia a la edad de 48 horas, caracterizada por el excesivo crecimiento de CSH recubriendo los granos originales de cemento.



**Fuente:** Lozano et al, 2007.

Muestra la pasta de referencia a la edad de 48 horas, caracterizada por la disminución de CSH recubriendo los granos originales de cemento.



**Fuente:** Lozano et al, 2007.

# **ANEXO N°2**

**(CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS)**



**Facultad De Ingeniería**  
 Departamento Académico De Ingeniería De Materiales  
 Laboratorio de Materiales Compuestos

**Solicitantes:** Rodríguez Sánchez, Olenka Kelda  
 Villarreal Centurión, Lady Elizabeth

**1. MATERIAL DE TRABAJO**

Cantidad	Muestras	Material	Componentes	Molde
11	0% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Simple	Cemento, agua, arena y confitillo	Metálico de 20 cm x 10 cm x 06 cm
11	3% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Modificado	Cemento, agua, arena, confitillo y tereftalato de polietileno reciclado.	Metálico de 20 cm x 10 cm x 06 cm
11	5% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Modificado	Cemento, agua, arena, confitillo y tereftalato de polietileno reciclado.	Metálico de 20 cm x 10 cm x 06 cm
11	7% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Modificado	Cemento, agua, arena, confitillo y tereftalato de polietileno reciclado.	Metálico de 20 cm x 10 cm x 06 cm

**2. ACTIVIDAD PARA REALIZAR**

Moldeo por Compresión

**Fuente:** Laboratorio de Materiales Compuestos UNT, 2019.



### 3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- Prensa *Shopp Press* de 20 Toneladas de capacidad.
- Mecanismo hidráulico y modalidad manual.
- 6 toneladas de operación en moldeo.
- Temperatura de trabajo = 25° C

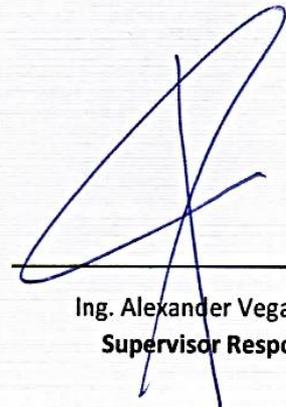
### 4. CONDICIONES

- El equipo descrito anteriormente se encuentra en buen estado y los resultados obtenidos son confiables.



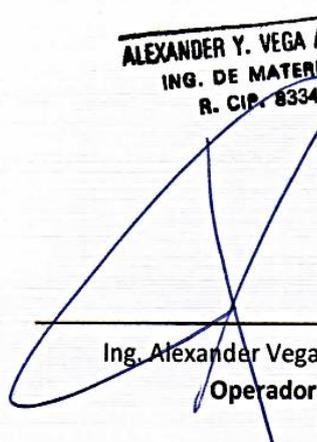
---

Ing. Alexander Vega Anticona  
**Jefe de Laboratorio**



---

Ing. Alexander Vega Anticona  
**Supervisor Responsable**



---

Ing. Alexander Vega Anticona  
**Operador**

**ALEXANDER Y. VEGA ANTICONA**  
**ING. DE MATERIALES**  
**R. CIP. 83348**



Certificado de la Prensa de Compresión

**PERUTEST S.A.C.**

CALIBRACIÓN, MANTENIMIENTO Y VENTAS DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FÍSICA - QUÍMICA

RUC N° 20602182721

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**PT - LF - 095 - 2019**

*Área de Metrología*  
*Laboratorio de Fuerza*

Página 1 de 3

1. Expediente	1224-2019	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	CORPORACION OTINGSA S.A.C.	
3. Dirección	CAL.SAN ANDRES NRO. 327 URB. SAN ANDRES I ETAPA LA LIBERTAD - TRUJILLO - TRUJILLO	
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	
Capacidad	120000 kgf	
Marca	PERUTEST	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Modelo	PC-120	
Número de Serie	1059	
Procedencia	PERU	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	HIWEIGHT	
Modelo	315-X5P	
Número de Serie	NO INDICA	
Resolución	10 kgf	
Ubicación	NO INDICA	PERUTEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
5. Fecha de Calibración	2019-10-21	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

Fecha de Emisión

2019-10-21

Jefe del Laboratorio de Metrología

  
MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES



Fuente: PERUTEST S.A.C, 2019.

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LF - 095 - 2019

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

### 7. Lugar de calibración

En el Laboratorio de Fuerza de PERUTEST S.A.C.  
Jr. La Madrid Mz. E Lote 14 Urb. Los Olivos - San Martín de Porres - Lima

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	22.0 °C	22.0 °C
Humedad Relativa	65 % HR	65 % HR

### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en PUCP - Laboratorio de estructuras antisísmicas	Celda de Carga Código: PF-001 Capacidad: 150,000 kg.f	INF-LE-272-18

### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de  $\pm 2,0$  °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1.0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.



Fuente: PERUTEST S.A.C, 2019.

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LF - 095 - 2019

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

Página 3 de 3

### 11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
LECTURA	$F_i$ (kgf)	$F_1$ (kgf)	$F_2$ (kgf)	$F_3$ (kgf)	$F_{Promedio}$ (kgf)
1	10000	10020	10020	10032	10024
2	20000	20011	20017	20011	20014
3	30000	30002	30029	30022	30020
4	40000	40015	40015	40023	40017
5	50000	50000	50007	50015	50007
6	60000	60010	60002	60027	60010
7	70000	70025	70025	70034	70027
8	80000	80032	80023	80041	80030
9	100000	100041	99982	100002	100002
10	120000	120035	120057	120067	120054
Retorno a Cero		0.0	0.0	0.0	

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud a (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa a (%)	
10000	-0.24	0.11	-0.06	0.10	0.58
20000	-0.07	0.03	0.00	0.05	0.58
30000	-0.07	0.09	0.00	0.03	0.58
40000	-0.04	0.02	0.00	0.03	0.57
50000	-0.01	0.03	0.00	0.02	0.57
60000	-0.02	0.04	0.00	0.02	0.58
70000	-0.04	0.01	0.00	0.01	0.57
80000	-0.04	0.02	0.00	0.01	0.57
100000	0.00	0.06	0.00	0.01	0.58
120000	-0.04	0.03	0.00	0.01	0.57

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO ( $f_0$ )	0.00 %
---	--------

### 12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual corresponde a una probabilidad de cobertura aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fuente: PERUTEST S.A.C, 2019.





Punto de Precisión SAC

### Certificado de la Balanza

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033**



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM - 601 - 2019

Página: 1 de 3

Expediente : 169-2019  
 Fecha de Emisión : 2019-10-01

**1. Solicitante** : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, CONSULTORIA Y OBRAS  
 Dirección : AV. BUENOS AIRES NRO. 105 DPTO. 1PIS URB. SANTA ISABEL - TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

**2. Instrumento de Medición** : BALANZA

Marca : OHAUS  
 Modelo : CS 200  
 Número de Serie : NO INDICA  
 Alcance de Indicación : 200 g  
 División de Escala de Verificación ( e ) : 0,1 g  
 División de Escala Real ( d ) : 0,1 g  
 Procedencia : CHINA  
 Identificación : NO INDICA  
 Tipo : ELECTRÓNICA  
 Ubicación : LOCAL  
 Fecha de Calibración : 2019-10-01

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarán las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**3. Método de Calibración**

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-001 1ra Edición, 2019; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII del INACAL-DM.

**4. Lugar de Calibración**

JR. ENRIQUE PALACIOS N° 402 - CHORRILLOS - LIMA



Alan Y. Valderrama Velarde  
ING. CIVIL  
R. CIP. 94733

Danny M. Chávez Nov.  
ING. MATERIALES  
R. CIP. 84953

Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033**



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM - 601 - 2019  
Página: 2 de 3

**5. Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	18,3 °C	18,5 °C
Humedad Relativa	77 %	76 %

**6. Trazabilidad**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL - DM	Pesas (exactitud F1)	M-0660-2018

**7. Observaciones**

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**8. Resultados de Medición**

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Carga L1= 100,0 g		Carga L2= 200,0 g	
	I(g)	ΔI(g)	I(g)	ΔI(g)
1	100,0	0,06	200,0	0,07
2	100,0	0,07	200,0	0,09
3	100,0	0,06	200,0	0,07
4	100,0	0,08	200,0	0,06
5	100,0	0,06	199,9	0,08
6	100,0	0,08	200,0	0,09
7	100,0	0,09	200,0	0,08
8	99,9	0,07	200,0	0,06
9	100,0	0,06	200,0	0,08
10	100,0	0,08	200,0	0,07
Diferencia Máxima		0,11	0,12	
Error máximo permitido ±		0,2 g	± 0,2 g	

**Alan Y. Valderrama Velarde**  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. 94733



**Denny M. Chávez Novoa**  
 ING. MATERIALES  
 R. CIP. 84953

**Jefe de Laboratorio**  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

PT-08.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRO.

Fuente: INACAL, 2019.

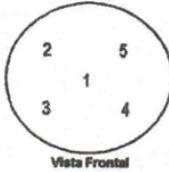
E PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM - 601 - 2019

Página: 3 de 3



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Temp. (°C)									
	Inicial		Final							
	18,4      18,5									
	Determinación de E <sub>g</sub>				Determinación del Error corregido					
	Carga mínima (g)	R(g)	ΔL(g)	E(g)	E <sub>c</sub> (g)	Carga (g)	R(g)	ΔL(g)	E(g)	E <sub>c</sub> (g)
1	1,0	1,0	0,09	-0,04		60,0	60,0	0,07	-0,02	0,02
2		1,0	0,07	-0,02			60,0	0,06	-0,01	0,01
3		1,0	0,06	-0,01			60,0	0,09	-0,04	-0,03
4		1,0	0,08	-0,03			60,0	0,08	-0,03	0,00
5		1,0	0,08	-0,03			60,0	0,07	-0,02	0,01

(\*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido: ± 0,2 g

ENSAYO DE PESAJE

Carga L(g)	Temp. (°C)										
	Inicial					Final					
	18,5					18,5					
	CRECIENTES					DECRECIENTES					emp (**)
	R(g)	ΔL(g)	E(g)	E <sub>c</sub> (g)		R(g)	ΔL(g)	E(g)	E <sub>c</sub> (g)		±(g)
1,0	1,0	0,06	-0,01								0,1
2,0	2,0	0,08	-0,03	-0,02	2,0	0,07	-0,02	-0,01	0,00	0,1	0,1
5,0	5,0	0,09	-0,04	-0,03	5,0	0,06	-0,01	-0,01	0,00	0,1	0,1
10,0	10,0	0,07	-0,02	-0,01	10,0	0,08	-0,03	-0,02	-0,02	0,1	0,1
20,0	20,0	0,06	-0,01	0,00	20,0	0,09	-0,04	-0,03	-0,03	0,1	0,1
50,0	50,0	0,08	-0,03	-0,02	50,0	0,08	-0,03	-0,02	-0,02	0,1	0,1
100,0	100,0	0,06	-0,01	0,00	100,0	0,08	-0,01	-0,01	0,00	0,2	0,2
120,0	120,0	0,07	-0,02	-0,01	120,0	0,09	-0,04	-0,03	-0,03	0,2	0,2
150,0	150,0	0,09	-0,04	-0,03	150,0	0,07	-0,02	-0,01	-0,01	0,2	0,2
170,0	170,0	0,08	-0,03	-0,02	170,0	0,06	-0,01	0,00	0,00	0,2	0,2
200,0	200,0	0,07	-0,02	-0,01	200,0	0,07	-0,02	-0,01	-0,01	0,2	0,2

(\*\*) error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R + 0,000109 \times R$$

$$U_R = 2 \sqrt{0,00297 \text{ g}^2 + 0,000000807 \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza      ΔL: Carga incrementada      E: Error encontrado      E<sub>c</sub>: Error en cero      E<sub>c</sub>: Error corregido

R: en g

FIN DEL DOCUMENTO



Danny M. Chávez Novoa  
ING. MATERIALES  
R. CIP. 84953

Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Alan Y. Valdivia Velarde  
ING. CIVIL  
R. CIP. 94733

PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com  
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Fuente: INACAL, 2019.



Certificado de la Estufa.  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
**Facultad De Ingeniería**  
Departamento Académico De ingeniería De Materiales  
Laboratorio de Polímeros

**Solicitantes:** Rodríguez Sánchez, Olenka Kelda  
Villarreal Centurión, Lady Elizabeth

**1. MATERIAL DE TRABAJO**

Cantidad	Muestras	Material	Componentes
03	0% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Simple	Cemento, agua, arena y confitillo
03	3% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Modificado	Cemento, agua, arena, confitillo y tereftalato de polietileno reciclado.
03	5% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Modificado	Cemento, agua, arena, confitillo y tereftalato de polietileno reciclado.
03	7% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Modificado	Cemento, agua, arena, confitillo y tereftalato de polietileno reciclado.

**2. ACTIVIDAD PARA REALIZAR**

Ensayo de Absorción

  
LABORATORIO DE POLÍMEROS  
JEFATURA  
O. IMA  
UNT  
Danny M. Chávez Novoa  
ING. MATERIALES  
R. CIP. 84953

  
Alan Y. Valderrama Vefarde  
ING. CIVIL  
R. CIP. 94733

Fuente: Laboratorio de Polímeros UNT, 2019.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

## Facultad De Ingeniería

Departamento Académico De Ingeniería De Materiales  
Laboratorio de Polímeros

### 3. EQUIPO EMPLEADO

ESTUFA AUTONICS TCN4S es un equipo para secar muestras, fácil de manejar y hecho según especificaciones estándar. Se muestra de manera sencilla cuando se desea secar los materiales como plásticos, metal, fibras, etc.

Es un equipo que se utiliza para secar las muestras de diferentes materiales las cuales provienen de un lavado de laboratorio, es decir el equipo genera calor lo que funciona con electricidad ya que presentan menos riesgos y permiten ajustar de forma más precisa el calor.

Consta de 5 niveles que están separados en la misma distancia, tiene 3 platillos las cuales sirven para colocar las muestras, esta cámara tendrá una mayor temperatura de marca AUTONICS TCN4S que se encuentra a un extremo en cual se ingresa la temperatura a la que se trabajará.

### 4. DATOS TÉCNICOS

- Dimensiones del Equipo: 80 x 65 x 54 cm.
- T° máx del controlador de T°: 400°C
- Dimensiones del platillo: 38.5 x 35.5 cm.

### 5. CONDICIONES

El equipo descrito anteriormente se encuentra en buen estado y los resultados obtenidos son confiables. Temperatura de trabajo 23.5 °C.

Ing. Danny Mesías Chávez Novoa  
Jefe de Laboratorio

.....  
Danny M. Chávez Novoa  
ING. MATERIALES  
R. CIP. 84953



Ing. Danny Mesías Chávez Novoa  
Supervisor Responsable

Ing. Danny Mesías Chávez Novoa  
Operador

Alan Y. Valdivieso Velarde  
ING. CIVIL  
R. CIP. 94733

Fuente: Laboratorio de Polímeros UNT, 2019.

# **ANEXO N°3**

**(RESULTADOS DE  
ENSAYOS)**

## Certificado de Análisis Físicos de los Agregados



**JUSTICIA SOCIAL  
CON INVERSIÓN**

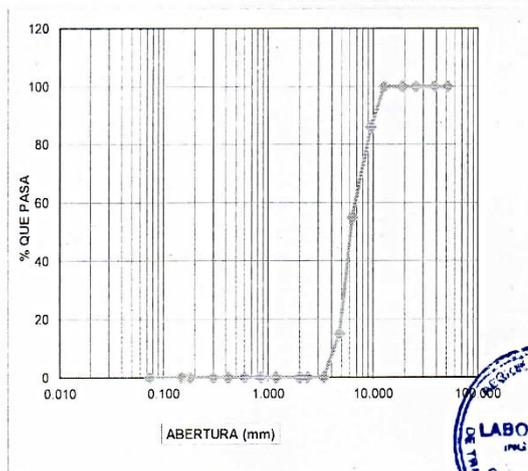
### ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM C - 136

OBRA	<b>EFECTO DE LAS PARTICULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO</b>			
SOLICITANTE	VILLARREAL CENTURION LADY ELIZABETH, RODRIGUEZ SANCHEZ OLENKA KELDA			
UBICACIÓN	UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO			
CANTERA	EL MILAGRO	MUESTRA N° 1	CONFITILLO	sep-2019

PESO SECO INICIAL	2000.00
PESO SECO LAVADO	2000.00
PESO PERDIDO POR LAVADO	0.00

No	TAMIZ	PESO RET. (gr)	% RETENIDO PARCIAL.	% RET. ACUMUL.	% QUE PASA	NTP 400 037 MTC HUSO 8
	ABERT. (mm.)					
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/8"	9.525	280.00	14.00	14.00	86.00	85 - 100
1/4"	6.350	620.00	31.00	45.00	55.00	
N 4	4.750	800.00	40.00	85.00	15.00	10 - 30
N 6	3.360	300.00	15.00	100.00	0.00	
N 8	2.360	0.00	0.00	100.00	0.00	0 - 10
N 10	2.000	0.00	0.00	100.00	0.00	
N 16	1.180	0.00	0.00	100.00	0.00	
N 20	0.850	0.00	0.00	100.00	0.00	
N 30	0.600	0.00	0.00	100.00	0.00	
N 40	0.420	0.00	0.00	100.00	0.00	
N 50	0.300	0.00	0.00	100.00	0.00	
N 80	0.180	0.00	0.00	100.00	0.00	
N 100	0.150	0.00	0.00	100.00	0.00	
N 200	0.074	0.00	0.00	100.00	0.00	
PLATO		0.00	0.00	100.00	0.00	
TOTAL		2000.00				

**CURVA GRANULOMETRICA**



DESCRIPCION	%
GRAVA	85.0
ARENA	15.0
FINOS	0.0



GOBIERNO REGIONAL LA LIBERTAD  
 GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 APOYO TECNOLÓGICO - LABORATORIO  
*Ing. Camino Garces*  
 JEFF

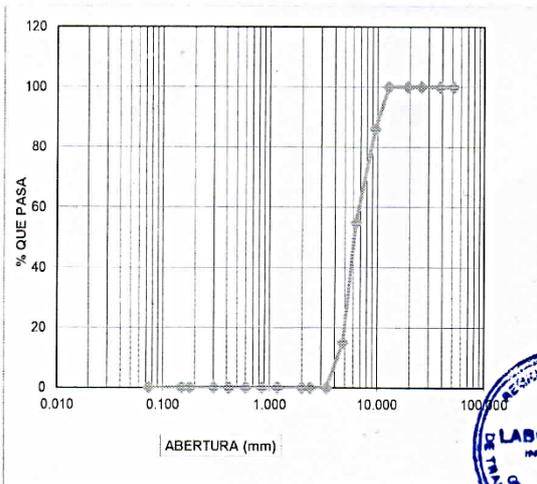
**Fuente:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2019.

OBRA	<b>EFFECTO DE LAS PARTICULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO</b>			
SOLICITANTE	VILLARREAL CENTURION LADY ELIZABETH, RODRIGUEZ SANCHEZ OLENKA KELDA			
UBICACIÓN	UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO			
MUESTRA	EL MILAGRO	MUESTRA N° 2	ARENA	sep-2019

PESO SECO INICIAL	1000.00
PESO SECO LAVADO	901.00
PESO PERDIDO POR LAVADO	99.00

No	TAMIZ	PESO RET. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RET. ACUMUL.	% QUE PASA	MTC-GRADAC. C
	ABIERT. (mm.)					
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"	6.350	5.00	0.50	0.50	99.50	
N 4	4.750	40.00	4.00	4.50	95.50	95 - 100
N 6	3.360	65.00	6.50	11.00	89.00	
N 8	2.360	46.00	4.60	15.60	84.40	80 - 100
N 10	2.000	23.00	2.30	17.90	82.10	
N 16	1.180	110.00	11.00	28.90	71.10	50 - 85
N 20	0.850	62.00	6.20	35.10	64.90	
N 30	0.600	53.00	5.30	40.40	59.60	25 - 60
N 40	0.420	36.00	3.60	44.00	56.00	
N 50	0.300	267.00	26.70	70.70	29.30	10 - 30
N 80	0.180	58.00	5.80	76.50	23.50	
N 100	0.150	126.00	12.60	89.10	10.90	2 - 10
N 200	0.074	10.00	1.00	90.10	9.90	
PLATO		99.00	9.90	100.00	0.00	
TOTAL		1000.00				

CURVA GRANULOMETRICA



DESCRIPCION	%
GRAVA	4.50
ARENA	85.60
FINOS	9.9



GOBIERNO REGIONAL LA LIBERTAD  
GERENCIA REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
APOYO TECNOLÓGICO - LABORATORIO

Ing. Carlos Camino Garces  
JEFE

<b>OBRA</b>	<b>EFFECTO DE LAS PARTICULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO</b>		
<b>SOLICITANTE</b>	<b>VILLARREAL CENTURION LADY ELIZABETH Y RODRIGUEZ SANCHEZ OLENKA KELDA</b>		
<b>UBICACIÓN</b>	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO</b>		
<b>CANTERA</b>	<b>EL MILAGRO</b>	<b>FECHA</b>	<b>sep-2019</b>

**PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO  
ASTM C 29**

CANTERA: EL MILAGRO	CONFITILLO	ARENA
	SUELTO	SUELTO
1° PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	10086	10338
2° PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	10082	10334
3° PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	10084	10336
PESO PROMEDIO	10084	10336
PESO DEL MOLDE (gr.)	6882	6882
PESO DE MUESTRA (gr.)	3202	3454
VOLUMEN DEL MOLDE (cc)	2305	2305
<b>PESO UNITARIO (gr/cc)</b>	<b>1.39</b>	<b>1.50</b>

**PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO  
ASTM C 29**

CANTERA: EL MILAGRO	CONFITILLO	ARENA
	VARILLADO	VARILLADO
1° PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	10382	10954
2° PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	10390	10950
3° PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr.)	10384	10948
PESO PROMEDIO	10385	10951
PESO DEL MOLDE (gr.)	6882	6882
PESO DE MUESTRA (gr.)	3503	4069
VOLUMEN DEL MOLDE (cc)	2305	2305
<b>PESO UNITARIO (gr/cc)</b>	<b>1.52</b>	<b>1.77</b>

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL  
ASTM D 2216**

TARRO N°.	AG. GRUESO	AG. FINO
	1	2
TARRO+SUELO HUMEDO (gr.)	365.00	360.00
TARRO+SUELO SECO (gr.)	363.00	357.00
AGUA	2.00	3.00
PESO DEL TARRO (gr.)	32.30	34.00
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	330.70	323.00
<b>PORCENTAJE DE HUMEDAD %</b>	<b>0.60</b>	<b>0.93</b>



OBRA	<b>EFFECTO DE LAS PARTICULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO</b>
UBICACIÓN	UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO
SOLICITANTE	VILLARREAL CENTURION LADY ELIZABETH Y RODRIGUEZ SANCHEZ OLENKA KELDA
CANTERA	EL MILAGRO
FECHA	sep-2019

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (CONFITILLO)**  
MTC E 206 / ASTM C 127 / AASHTO T 85

Datos			
A	Peso en el aire muestra seca	gr.	396
B	Peso picnometro aforado lleno de agua	gr.	661.00
C	Peso total picnometro aforado+muestra+agua	gr.	913.00
S	Peso muestra saturada sup. seca	gr.	400.00
Calculos:			
	*Peso Especifico Bulk. ( base seca )	gr/cm3	2.68
	**Peso Especifico Bulk s.s.s ( base sat.)	gr/cm3	2.70
	Peso Especifico Aparente	gr/cm3	2.75
	Porcentaje de Absorcion	%	1.01

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO**  
MTC E 205 / ASTM C 128 / AASHTO T 84

Datos			
A	Peso en el aire muestra seca	gr.	395
B	Peso picnometro aforado lleno de agua	gr.	661.00
C	Peso total picnometro aforado+muestra+agua	gr.	910.00
S	Peso muestra saturada sup. seca	gr.	400.00
Calculos:			
	*Peso Especifico Bulk. ( base seca )	gr/cm3	2.62
	**Peso Especifico Bulk s.s.s ( base sat.)	gr/cm3	2.65
	Peso Especifico Aparente	gr/cm3	2.71
	Porcentaje de Absorcion	%	1.27

\* DISEÑO M.A  
\*\* DISEÑO M.C  
CCG./14



Gobierno Regional de La Libertad  
Gerencia Regional de Transportes y Comunicaciones  
Apoyo Tecnológico Laboratorio  
*Ing. Carlos Camino Garces*



Certificado de Tolerancia Dimensional  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
**Facultad De Ingeniería**  
Departamento Académico De Ingeniería De Materiales  
Laboratorio de Polímeros

**Solicitantes:** Rodríguez Sánchez, Olenka Kelda  
Villarreal Centurión, Lady Elizabeth

**1. MATERIAL DE TRABAJO**

Cantidad	Muestras	Material	Componentes
09	0% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Simple	Cemento, agua, arena y confitillo
09	3% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Modificado	Cemento, agua, arena, confitillo y tereftalato de polietileno reciclado.
09	5% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Modificado	Cemento, agua, arena, confitillo y tereftalato de polietileno reciclado.
09	7% Partículas de Tereftalato de Polietileno	Concreto Modificado	Cemento, agua, arena, confitillo y tereftalato de polietileno reciclado.

**2. ACTIVIDAD PARA REALIZAR**

Ensayo de Tolerancia Dimensional

**Fuente:** Laboratorio de Polímeros UNT, 2019.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
**Facultad De Ingeniería**  
Departamento Académico De Ingeniería De Materiales  
Laboratorio de Polímeros

**3. RESULTADOS DE LABORATORIO**

<b>Análisis Dimensional</b>			
<b>N° de Muestra</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Espesor (cm)</b>
01	20.00	10.00	5.8
02	20.10	10.00	5.7
03	20.10	9.90	5.9
04	20.10	10.10	5.8
05	19.90	10.00	5.9
06	19.90	10.00	6.1
07	20.10	10.10	5.9
08	20.10	10.00	5.8
09	20.00	10.10	6.2
10	20.10	10.00	5.8
11	20.00	10.10	6.1
12	19.90	10.10	6.0
13	20.00	10.00	5.8
14	20.10	10.00	5.7
15	19.90	9.90	5.9
16	20.10	10.10	5.8
17	19.90	10.00	5.9
18	20.00	9.90	6.0
19	20.00	10.10	5.9
20	19.90	10.00	6.1
21	20.10	9.90	5.7
22	20.10	9.90	6.2
23	19.90	9.90	5.8
24	20.00	9.90	6.0
25	20.00	10.00	5.8
26	20.10	10.00	5.7
27	20.00	9.90	5.9
28	20.10	10.10	5.8
29	19.90	10.00	5.9
30	19.90	9.90	6.0
31	20.10	10.10	5.9
32	20.10	10.00	5.8
33	20.10	10.10	5.7
34	20.00	10.00	5.8
35	20.00	10.10	5.8
36	20.10	10.10	6.0
<b>TOTAL</b>	<b>20.019</b>	<b>10.008</b>	<b>5.886</b>

Fuente: Laboratorio de Polímeros UNT





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

## Facultad De Ingeniería

Departamento Académico De Ingeniería De Materiales

Laboratorio de Polímeros

### 4. NORMATIVIDAD

NTP 399.611 “UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos”

Tolerancia Dimensional (mm)		
Longitud	Ancho	Espesor
± 1,6	± 1,6	± 3,2
Adoquines de Concreto 200 mm x 100 mm x 60 mm		
Rangos Máximos y Mínimos (mm)		
201.6	101.6	6.32
198.4	98.4	5.68

### 5. CONDICIONES

Temperatura de trabajo 25.0 °C.

Ing. Danny Mesías Chávez Novoa  
Jefe de Laboratorio

Danny M. Chávez Novoa  
ING. MATERIALES  
R. CIP. 84953

Ing. Danny Mesías Chávez Novoa  
Supervisor Responsable



Ing. Danny Mesías Chávez Novoa  
Operador

Fuente: Laboratorio de Polímeros UNT, 2019.

Resultados de Resistencia a la Compresión a 7 días de curado.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

**LEMCO**

<b>PROYECTO</b>	EFFECTO DE LAS PARTÍCULAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO REICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO	<b>FECHA</b> 16oct.2019
<b>UBICACIÓN</b>	TRUJILLO	
<b>SOLICITADO</b>	RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, OLENKA KELDA VILLARREAL CENTURIÓN, LADY ELIZABETH	

**ENSAYO A COMPRESIÓN**

**Datos de Ensayo:**

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO  
Rotura : 7 DÍAS DE CURADO

MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
01	203.000	41585.000	207.925
02	201.000	41280.000	205.373
03	200.970	41210.000	207.096

**Datos de Ensayo:**

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO AL 3% DE INCORPORACIÓN  
Rotura : 7 DÍAS DE CURADO

MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
04	215.250	43650.000	215.014
05	209.090	43589.000	219.040
06	209.090	43445.000	218.317

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

*[Signature]*  
Ing. David J. Tello Villarruel  
Jefe de Laboratorio

*[Signature]*  
Alan Y. Valderrama Valverde  
ING. CIVIL  
R. CIP: 94733

Av. Buenos Aires Nro. 105  
Urb. Santa Isabel, Trujillo - Perú  
www.lemcoyac.com

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Consultoría, 2019.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

**LEMCO**

<b>PROYECTO</b>	EFFECTO DE LAS PARTÍCULAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO
<b>UBICACIÓN</b>	TRUJILLO
<b>SOLICITADO</b>	RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, OLENKA KELDA VILLARREAL CENTURIÓN, LADY ELIZABETH
	<b>FECHA</b> 16oct.2019

### ENSAYO A COMPRESIÓN

**Datos de Ensayo:**

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO AL 5% DE INCORPORACIÓN  
Rotura : 7 DÍAS DE CURADO

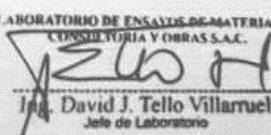
MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
07	210.120	41514.000	204.492
08	210.120	41348.000	205.711
09	214.200	41884.000	207.347

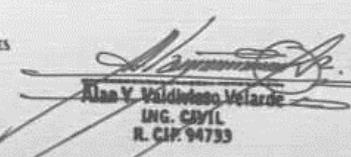
**Datos de Ensayo:**

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO AL 7% DE INCORPORACIÓN  
Rotura : 7 DÍAS DE CURADO

MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
10	203.000	41215.000	205.050
11	207.050	41117.000	203.550
12	203.010	41312.000	205.543

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

  
Ing. David J. Tello Villarruel  
Jefe de Laboratorio

  
Alan Y. Valdivia Velarde  
ING. CIVIL  
R. C.I.F. 94753

Av. Buenos Aires Nro. 105  
Urb. Santa Isabel, Trujillo - Perú  
[www.lemcosac.com](http://www.lemcosac.com)

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Consultoría, 2019.

Resultados de Resistencia a la Compresión a 14 días de curado.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

**LEMCO**

<b>PROYECTO</b>	EFFECTO DE LAS PARTÍCULAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO	<b>FECHA</b> 24oct.2019
<b>UBICACIÓN</b>	TRUJILLO	
<b>SOLICITADO</b>	RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, OLENKA KELDA	
	VILLARREAL CENTURIÓN, LADY ELIZABETH	

**ENSAYO A COMPRESIÓN**

**Datos de Ensayo:**

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO  
Rotura : 14 DÍAS DE CURADO

MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
13	203.000	48769.000	243.845
14	201.000	48680.000	242.189
15	200.970	48992.000	248.678

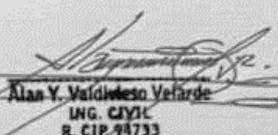
**Datos de Ensayo:**

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO AL 3% DE INCORPORACIÓN  
Rotura : 14 DÍAS DE CURADO

MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
16	215.250	49870.000	245.653
17	209.090	49899.000	250.749
18	209.090	49495.000	249.975

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

  
Ing. David J. Tello Villarruel  
Jefe de Laboratorio

  
Alan Y. Valdivieso Vefarde  
ING. CIVIL  
R. CIP. 94733

Av. Buenos Aires Nro. 105  
Urb. Santa Isabel, Trujillo - Perú

www.lemco.com

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Consultoría, 2019.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

**LEMCO**

<b>PROYECTO</b>	EFECTO DE LAS PARTÍCULAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO
<b>UBICACIÓN</b>	TRUJILLO
<b>SOLICITADO</b>	RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, OLENKA KELDA VILLARREAL CENTURIÓN, LADY ELIZABETH
	<b>FECHA</b> 24oct.2019

### ENSAYO A COMPRESIÓN

#### Datos de Ensayo:

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO AL 5% DE INCORPORACIÓN  
Rotura : 14 DÍAS DE CURADO

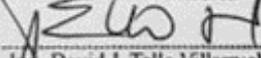
MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
19	210.120	48781.000	241.489
20	210.120	48991.000	246.184
21	214.200	48777.000	242.673

#### Datos de Ensayo:

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO AL 7% DE INCORPORACIÓN  
Rotura : 14 DÍAS DE CURADO

MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
22	203.000	47511.000	238.763
23	207.050	47781.000	242.532
24	203.010	47477.000	239.782

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

  
Ing. David J. Tello Villarmuel  
Jefe de Laboratorio

  
Alan Y. Valdivia Velarde  
ING. CIVIL  
R. CIP. 94733

Av. Buenos Aires Nro. 105  
Urb. Santa Isabel, Trujillo - Perú

[www.lemco.com](http://www.lemco.com)

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Consultoría, 2019.

Resultados de Resistencia a la Compresión a 28 días de curado.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

**LEMCO**

<b>PROYECTO</b>	EFFECTO DE LAS PARTÍCULAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO	<b>FECHA</b> 06nov.2019
<b>UBICACIÓN</b>	TRUJILLO	
<b>SOLICITADO</b>	RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, OLENKA KELDA VILLARREAL CENTURIÓN, LADY ELIZABETH	

**ENSAYO A COMPRESIÓN**

**Datos de Ensayo:**

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO  
Rotura : 28 DÍAS DE CURADO

MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
25	203.000	63895.000	319.475
26	201.000	64502.000	320.905
27	200.970	64234.000	324.414

**Datos de Ensayo:**

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO AL 3% DE INCORPORACIÓN  
Rotura : 28 DÍAS DE CURADO

MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
28	215.250	68928.000	339.530
29	209.090	68168.000	342.553
30	209.090	68410.000	347.241

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

*David J. Tello Villarruel*  
Ing. David J. Tello Villarruel  
Jefe de Laboratorio

*Alan Y. Valdivieso Velarde*  
Alan Y. Valdivieso Velarde  
ING. CIVIL  
R. CIP. 94733

Av. Buenos Aires Nro. 105  
Urb. Santa Isabel, Trujillo - Perú

www.lemcosac.com

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Consultoría, 2019.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

**LEMCO**

<b>PROYECTO</b>	EFEECTO DE LAS PARTÍCULAS DE TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DESGASTE DE ADOQUINES DE CONCRETO
<b>UBICACIÓN</b>	TRUJILLO
<b>SOLICITADO</b>	RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, OLENKA KELDA VILLARREAL CENTURIÓN, LADY ELIZABETH
	<b>FECHA</b> 06nov.2019

### ENSAYO A COMPRESIÓN

#### Datos de Ensayo:

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO AL 5% DE INCORPORACIÓN  
Rotura : 28 DÍAS DE CURADO

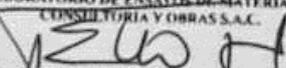
MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
31	210.120	61978.000	305.296
32	210.120	62567.000	314.423
33	210.120	62307.000	306.916

#### Datos de Ensayo:

Ubicación : TRUJILLO  
Material : ADOQUINES DE CONCRETO AL 7% DE INCORPORACIÓN  
Rotura : 28 DÍAS DE CURADO

MUESTRAS	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
34	203.000	61148.000	305.738
35	207.050	61728.000	305.586
36	203.010	61472.000	302.803

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
CONSULTORIA Y OBRAS S.A.C.

  
Ing. David J. Tello Villarruel  
Jefe de Laboratorio

  
Alan Y. Valdivieso Velarde  
ING. CIVIL  
R. CIP. 94733

Av. Buenos Aires Nro. 105  
Urb. Santa Isabel, Trujillo - Perú

[www.lemcosac.com](http://www.lemcosac.com)

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Suelos y Consultoría, 2019.