

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL E INGENIERA CIVIL

TEMA:

**INFLUENCIA DE LAS PARTÍCULAS DE CAUCHO EN EL DESGASTE
DE ADOQUINES DE HORMIGÓN**

AUTORES:

MILTON JAVIER CAIZA ESCOBAR

ROSA ANGELICA CHIPUGSI CARUA

TUTOR:

BYRON IVÁN ALTAMIRANO LEÓN

Quito, agosto de 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Milton Javier Caiza Escobar, con documento de identificación N° 1720177243 y Rosa Angelica Chipugsi Carua, con documento de identificación N° 1721970539, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: INFLUENCIA DE LAS PARTÍCULAS DE CAUCHO EN EL DESGASTE DE ADOQUINES DE HORMIGÓN, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil e Ingeniera Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación en lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos en este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Milton Javier Caiza Escobar

Cédula: 1720177243



Nombre: Rosa Angelica Chipugsi Carua

Cédula: 1721970539

Fecha: Quito, Agosto del 2018

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, BYRON IVÁN ALTAMIRANO LEÓN, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo académico: INFLUENCIA DE LAS PARTÍCULAS DE CAUCHO EN EL DESGASTE DE ADOQUINES DE HORMIGÓN, realizado por Milton Javier Caiza Escobar y Rosa Angelica Chipugsi Carua, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, agosto de 2018

Atentamente

Byron Iván Altamirano León
CI:1709301590

INFLUENCIA DE LAS PARTÍCULAS DE CAUCHO EN EL DESGASTE DE ADOQUINES DE HORMIGÓN INFLUENCE OF RUBBER PARTICLES ON THE WEAR OF CONCRETE PAVERS

Caiza Javier¹, Chipugsi Angélica²

Resumen

Esta investigación se llevó a cabo para tratar de reducir y dar buen uso a la escoria producida por el procesamiento de reencauche de llantas, dicha escoria se utilizó en la producción de adoquines vehiculares. El objetivo principal es realizar un análisis de las propiedades mecánicas como resistencia a la compresión y resistencia al desgaste por abrasión, para determinar si se puede utilizar en la construcción y así asegurar su comercialización y distribución.

Se planteó la dosificación de un adoquín convencional de 35 MPa, a dicha dosificación se le retiró un porcentaje de agregado fino para ser reemplazado por partículas de caucho.

Se realizó varias probetas con diferentes porcentajes de escoria, los porcentajes probados son 20%, 12%, 10%, 5% y 3%. Obteniéndose como valor óptimo el 12% de partículas de caucho, con una resistencia a la compresión de 36 MPa y en el ensayo de resistencia al desgaste por abrasión, un valor de longitud de cuerda de 25mm cumpliendo la norma INEN establecida.

Palabras Clave: Reencauche de llantas, resistencia a la compresión y al desgaste por abrasión.

Abstract

This investigation was carried out to try to reduce and give good use to the slag produced by the retread processing of tires, said slag was used in the production of vehicular cobblestones. The main objective is to perform an analysis of the mechanical properties such as compressive strength and resistance to abrasion wear, to determine if it can be used in construction and thus ensure its commercialization and distribution.

The dosage of a conventional paver of 35MPa was proposed, at said dosage a percentage of fine aggregate was removed to be replaced by rubber particles.

Several samples were made with different percentages of slag, the percentages tested are 20%, 12%, 10%, 5% and 3%. Obtaining as an optimal value 12% of rubber particles, with a compressive strength of 36MPa and in the abrasion wear resistance test, a value of 25mm complying with the established INEN norm.

Keywords: Tire retreading, resistance to compression and wear due to abrasion.

¹ Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador

² Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador
Autor para correspondencia: mcaizaca,rchipugsi@est.ups.edu.ec

1. Introducción

La pavimentación y buena infraestructura vial representa una parte importante de los activos viales del Ecuador. Estas deben ser capaces de soportar solicitaciones de tránsito, ambientales y proveer una estructura durable que permita la circulación de los vehículos con comodidad y seguridad. Una parte de la Red vial nacional se destaca con el uso de la tecnología de la pavimentación con adoquines de hormigón, debido a sus características, así como sus ventajas técnicas y económicas. El adoquín es de fácil colocación en obra y restitución en caso de daño, por lo cual es el más utilizado en la red vial cantonal urbana [6].

Los adoquines de hormigón se producen a partir de un diseño de mezcla que consiste en la selección de los constituyentes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y su dosificación en cantidades relativas para producir tan económicamente como sea posible [5].

Una forma de tratar de disminuir la contaminación por parte de las llantas, es el proceso de reencauche, el cual en los últimos años los transportistas pesados han optado por esta opción, ya que el valor de este servicio es más económico que adquirir un neumático nuevo y su garantía es igual a la de una llanta nueva, y con un buen mantenimiento del casco de la llanta se la podrá reencauchar hasta 4 veces o más, si la integridad del casco no este afectada [1], pero en el proceso de reencauche también se tiene una parte de desecho.

En la presente investigación se tomó como precedente sustituir los componentes naturales del hormigón con alternativas menos agresivas con el medio ambiente [7], siendo el caucho de neumáticos reciclados una alternativa para sustituir al hormigón. Donde entidades registradas como gestores ambientales se encargan de recoger la escoria producida por el reencauche de

llantas para luego transformarlo en materia prima de diferentes productos, para esta investigación dicha escoria se recolecta para la producción de adoquines, donde las partículas caucho remplazarán al agredo fino en determinado porcentaje, así ayudando a disminuir la contaminación.

En el acuerdo ministerial 098 del Ministerio del Ambiente [2], ratifica que los importadores y/o fabricantes deberán recuperar como mínimo el 30% de los neumáticos que fueron vendidos en el año anterior y dicho porcentaje será recalculado cada año.

Es así como el presente artículo investigativo se enfocará en presentar un análisis estadístico de las propiedades físicas y mecánicas del adoquín de hormigón debido a la influencia de las partículas de caucho, por lo que se someterá a ensayos de resistencia a la compresión y resistencia al desgaste por abrasión que serán regulados por las normas NTE INEN 1485 y NTE INEN 3040 respectivamente.

2. Materiales y Métodos

Para la presente investigación se realizó cinco tipos de mezclas con diferentes porcentajes de caucho de neumáticos reciclados (Ver tabla 1), remplazando al agregado fino (Arena) del total de la mezcla en cada porcentaje.

Tabla 1. Porcentajes de caucho reciclado

Ensayo (N°)	% Caucho reciclado
1	3
2	5
3	10
4	12
5	20

2.1 Caracterización del material

De acuerdo con las Normas Ecuatorianas para la Construcción, se intervendrá a los agregados pétreos a los

diferentes ensayos normalizados para asegurar la calidad del material, además de las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de los agregados. Que son el factor principal para el diseño efectivo de la mezcla, para una resistencia de 35 Mpa. La cantera de abastecimiento de los agregados pétreos para la producción de adoquines es Cañizares y Roca Peluco ubicada en el kilómetro 14 vía al volcán Cotopaxi.



Figura 1. Almacenamiento de agregados pétreos (Fábrica Hormibloque)

2.1.1 Cemento.

La selección del tipo de cemento y marca es de vital importancia para el desempeño del hormigón, para prefabricados como el adoquín de alta resistencia inicial se eligió el “Cemento Portland Puzolanico Tipo IP” que cumple la norma NTE INEN 490 (ASTM C 595), con peso específico de 2.92 g/cm³.

2.1.2 Agua.

Es recomendable que sea potable o apta para el consumo humano, debe estar libre de impurezas, debido a que podría afectar a la resistencia del hormigón.

2.1.3 Granulometría.

Este método determina la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados pétreos finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado. Cumpliendo con la norma NTE INEN 696.

2.1.4 Abrasión.

El ensayo de abrasión en el agregado grueso, se lo realiza con la máquina de los ángeles cumpliendo la normativa NTE INEN 860. El que consiste en introducir la masa inicial de agregado grueso, además de 12 esferas de acero que al entrar en contacto producen fuerzas abrasivas que desgasta al agregado para ser cuantificado.

2.1.5 Peso Específico.

El peso específico en los agregados grueso y fino es una propiedad física importante ya que nos ayuda a determinar otras características como la relación de vacíos, la permeabilidad de los agregados y de acuerdo a esto, conocer el grado de saturación del material. Cumpliendo con las normas para agregados finos NTE INEN 856 (ASTM C-127), y para agregados gruesos NTE INEN 857 (ASTM C-128). Para el ensayo agregado debe encontrarse en estado de saturación con superficie seca (SSS), siendo este valor fundamental para el diseño de mezclas.

2.1.6 Capacidad de Absorción.

Es la relación entre el agua absorbida en un tiempo determinado y la masa seca del agregado grueso, con el ensayo se determina la permeabilidad de las partículas si cuentan con poros saturables o no saturables, se determina con el agregado grueso luego de 24 horas sumergidos en agua, se procede a secar superficialmente el material, y su resultado se expresa en porcentaje de absorción mediante una diferencia de masas con relación a la masa seca del material [3].

Para conocer la cantidad de agua absorbida por el agregado es fundamental para el diseño realizar las correcciones por humedad mediante el cual podemos determinar la cantidad de agua a utilizar para un volumen unitario del hormigón, en concordancia a las normas: para el agregado fino NTE

INEN 856 (ASTM C127) y para el agregado grueso NTE INEN 857 (ASTM C128).

2.1.7 Colorimetría.

El ensayo de colorimetría permite determinar el grado de impurezas y materia orgánica en el agregado fino. El procedimiento consiste en pesar la cantidad del agregado fino, dentro de un recipiente transparente disolver la solución del 3% de hidróxido de sodio (NaOH), se agita hasta tener una mezcla uniforme para dejar en reposo por 24 horas y ser comparado el color con la escala de Gardner. De acuerdo a la norma NTE INEN 855 (ASTM C40).

2.1.8 Caucho.

Las partículas de caucho como materia prima, fueron proporcionadas por la fábrica “Dura Llanta” localizada en la Ciudad de Quito Av. Maldonado, sector la ecuatoriana. El proceso de obtención del desperdicio de caucho se obtiene mediante la verificación, de que la llanta no haya sufrido desprendimiento de la lona, por medio del raspado se elimina todo sobrante de la banda de rodamiento original de la llanta la cual está llena de piedras, clavos, etc. Para obtener una superficie limpia, la banda es sometida a una cortadora en tiras y por último a estas tiras las colocan en una máquina trituradora de donde se obtiene el desecho del neumático.

Las partículas de caucho de tamaño original provenientes de la trituradora, fueron sometidas al proceso de tamizado para la obtención de la granulometría y la elección de los porcentajes de cada tamiz que acumulará el total del material para la elaboración de la mezcla. Las partículas de caucho reemplazaran al agregado fino en cierto porcentaje, hasta llegar a la resistencia esperada.

2.2. Diseño de la mezcla

El diseño de la mezcla es un procedimiento que determina los

elementos adecuados que conformaran el hormigón, debido a esto es fundamental la caracterización de cada uno de los materiales, además de la resistencia a la compresión requerida, condiciones ambientales y tipo de cemento, ya estos influyen el resultado final. De acuerdo al A.C.I.211, en el cual describe el método para determinar la dosificación del concreto para un saco de cemento.

2.3. Elaboración de la mezcla de hormigón con partículas de caucho

Para el desarrollo del artículo académico se realiza cinco tipos de mezclas con diferentes porcentajes de partículas de caucho reciclados en base a la dosificación de diseño para el adoquín convencional que cumplirá con una resistencia de $f'c = 35$ MPa.

Para la elaboración de la mezcla y producción del adoquín se utilizó las instalaciones de la Fábrica de Prefabricados “HORMIBLOQUE ECUADOR”, donde se cuenta con diferentes moldes para los adoquines, seleccionando el molde para el adoquín tipo A, según la norma NTE INEN 1483. Para la mezcla se determinó el tamaño máximo nominal de los agregados, estimación del agua y contenido de aire, selección de la relación agua/cemento, cálculo del contenido de cemento, estimación del contenido del agregado y grueso, ajuste de humedad de los agregados.

El caucho de neumáticos reciclados fue separado por el proceso de tamizado eligiéndose los siguientes tamices # 8, #16, #30, #50, #100 y # 200 descartándose los tamices superiores, debido a que el caucho reemplazara al agregado fino.

Tabla 2. Tamices utilizados en el cribado del caucho

Tamiz ASTM (#)	Tamaño de partículas (mm)
4	4.760
8	2.380
16	1.190
30	0.596
50	0,297

Con el objetivo de optimizar la cantidad de caucho se realizaron cinco mezclas con diferentes porcentajes de caucho (ver tabla1), definiéndose al 12% de caucho como valor óptimo que fue añadido a la mezcla.

2.4. Producción de Especímenes

Se produce adoquines de hormigón tipo A con un espesor de 8cm en una máquina estacionaria automática. Para hacer estos adoquines se inicia la producción con la mezcla de arena, grava, partículas de caucho y cemento, dentro una mezcladora circular con tres palas de acero, las cuales se encargan de mezclar los materiales durante 6 min con la cantidad de agua establecida en el diseño, la mezcla por medio de una cinta transportadora llegue a la tolva, para que otra parte de la máquina extiende la mezcla sobre el molde de acero y así, la cabeza de la prensa aplique una carga de 32 MPa de presión vibradora que elimina bolsas de aire que podrían debilitar a los adoquines, por un tiempo aproximado de 15 segundos, realizando el mismo proceso para la doble capa.

Después los cilindros hidráulicos se encargan de levantar el molde dejando a los adoquines sobre la tabla de prensado, la cual es removida automáticamente hasta la estantería donde se puede apilar un máximo de siete tableros, y el montacargas es el encargado de transportarlos hacia la zona de secado y su posterior curado por 28 días.



Figura 2. Producción y almacenamiento de las probetas

2.5. Ensayo de compresión y desgaste en el adoquín con partículas de caucho

El ensayo a la compresión en los adoquines se realizó a los 28 días luego de su fabricación, se ensayaron primero las diferentes dosificaciones hasta llegar a la dosificación óptima la cual fue ensayada 3 veces por semana la cantidad de 12 adoquines, en total se realizaron 14 ensayos, registrando una carga máxima en cada adoquín para luego tomar un promedio. El resultado de la resistencia fue el esperado.

Para el ensayo de desgaste se tomó como referencia que las probetas cumplan la resistencia a compresión del adoquín. El ensayo se lo realizó en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Se realizó el ensayo a 12 muestras divididas en 3 grupos, 6 adoquines con el porcentaje de partículas de caucho del 12%, 3 adoquines con el porcentaje 20% y 3 adoquines prototipos de la fábrica, los cuales no contienen partículas de caucho

3. Resultados y Discusión

Los resultados los dividiremos en dos partes, la etapa preliminar, que son los resultados de todos los ensayos

realizados antes de realizar la mezcla, y la etapa final, que contiene los resultados obtenidos, en lo que se refiere a ensayos de compresión y desgaste de los adoquines.

3.1 Etapa preliminar

Las referencias que se tiene de los materiales utilizados en esta investigación, dicen ser materiales de buena calidad y para su comprobación, se realizó los ensayos que describiremos y detallaremos sus resultados.

Tabla 4. Resumen de caracterización de los Agregados del hormigón

Ensayo	Fino	Grueso
Peso específico(g/cm ³)	2.65	2.65
Desgaste de abrasión (%)	No realizado	32.6
Peso unitario compactado(g/cm ³)	1.61	1.37
Humedad (%)	7.05	7.02
Absorción (%)	4.16	2.67
Módulo de finura	2.68	No realizado
Tamaño Máximo(mm)	4.76	19.05

En las partículas de caucho el módulo de finura es 2.67 y el tamaño máximo de las partículas es de 4.76 mm. El ensayo de colorimetría o análisis de impurezas orgánicas en el agregado fino, nos indica que se encuentra en la escala 2 (ver Figura 2) que es una arena con poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas y se la considera de buena calidad.



Figura 3. Colorimetría del material y colorímetro ASTM C40

Lo que se refiere a granulometría, el agregado fino, no entra en la faja granulométrica estipulada en la norma INEN 872 por lo cual se recomienda que esta sea ajustada por el método Fuller y Thompson, para nuestro caso, una vez realizado el ajuste de granulometría del agregado fino, el módulo de finura de nuestra arena es 2.86 lo cual nos indica que es una arena media, y esto es muy conveniente ya que si la arena tuviera cambios significativos en su granulometría esto repercutiría en el contenido de agua y cemento para conservar la resistencia del hormigón, mientras que en el agregado grueso se obtuvo como resultado un 32.6% de desgaste en el ensayo de abrasión lo cual confirma la buena calidad de este agregado, y los cual nos servirá para el tema de desgaste en nuestros adoquines.

Mientras tanto la granulometría del caucho por ser un proceso investigativo se separó el material que proviene de la fábrica Durallanta por medio del proceso de tamizado, los tamices fueron (ver Tabla 1), que se ajusta a la faja granulométrica tal como se indica en la Figura 2, para que así estas partículas se agreguen como agregado fino (arena) a nuestra mezcla, es necesario el proceso de tamizado ya que desde la fábrica de reencauche se obtienen trozos de caucho que bien podrían actuar como agregado grueso, se confirmó que por medio de este proceso se obtiene un 55% de material apto para nuestra investigación y el 45% restante son partículas de tamaño mayor a 3/8" o 9.52 mm.

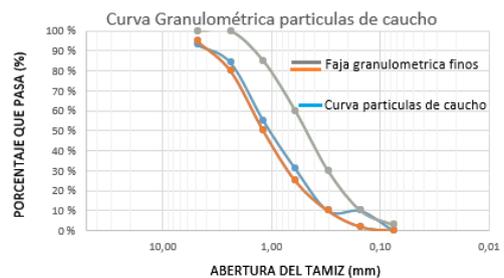


Figura 3. Granulometría de partículas de caucho cumpliendo Norma INEN 872.

Con dichos resultados el siguiente paso fué el diseño del hormigón convencional, nuestro diseño se realizó para una resistencia de 35 MPa a los 28 días y la dosificación está expuesta en la Tabla 2.

Tabla 3. Dosificación en peso utilizada para la mezcla de adoquines Convencionales

Material	Kg para 1m ³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de cemento de 50kg
Agua	130.527	0.28	14.11
Cemento	462.50	1	50
Agregados:			
Grueso	698.568	1.51	75.52
Fino	900.771	1.95	97.38

Tabla 4. Dosificación en peso utilizada para la mezcla de adoquines con partículas de Caucho

Material	Kg para 1m ³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en Kg por saco de cemento de 50kg
Agua	130.527	0.28	14.11
Cemento	462.50	1	50
Agregados			
: Grueso	698.568	1.51	75.52
Fino	792.679	1.8	85.70
Caucho	108.09	0.2	11.69

En la presente investigación se probó varios porcentajes de partículas de caucho añadidos a la mezcla hasta llegar a un valor cercano a los 35Mpa, no se observó ningún tipo de contratiempo durante el proceso de mezclado tampoco se afectó la trabajabilidad, una vez introducido los agregados en la mezcladora automática se mantiene su rotación por seis minutos, hasta observar la uniformidad de color en la mezcla. (Ver Figura 4 y Figura 5)



Figura 4. Colocación del caucho en la mezcla de hormigón



Figura 5. Mezcla completa del caucho en el hormigón

3.2 Etapa Final

3.2.1 Ensayo a la Compresión.

Una vez obtenida la dosificación de un adoquín convencional, se realizó el ensayo a la compresión dando como resultado un valor de 39.5 Mpa. Por lo cual se realizó probetas con diferentes porcentajes de partículas de caucho, hasta llegar a un porcentaje óptimo del 12% dando como resultado de 36.1 Mpa, el cual es un valor aceptable ya que dichos adoquines son acogidos comercialmente, siendo este el principal objetivo de la investigación. Se tomó como consideración llegar a la resistencia de 35 Mpa de acuerdo al diseño propuesto, no aceptando un valor más bajo ya que esto significaría que los

adoquines no cumplen con lo estipulado en esta investigación.

A las probetas se las identificó con una numeración, a continuación, se tomó los valores del área, masa y espesor de acuerdo a la Norma INEN 1486. Luego fueron sometidas a pruebas de condiciones húmedas por lo menos 24±4 horas en agua a una temperatura de 20°C±5°C antes del ensayo de resistencia a la compresión como lo indica la Norma INEN 1485.

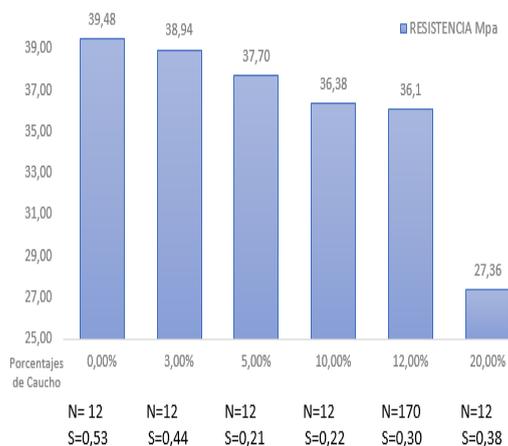


Figura 7. Resistencia a la compresión Característica con diferentes porcentajes de partículas de caucho. (N= Número de Probetas; S= Desviación estándar)

La figura 7 nos indica de forma muy explícita los valores del ensayo a compresión de los adoquines, y claramente se identifica la disminución de la resistencia con el aumento progresivo de caucho a la mezcla, llegando así a nuestro porcentaje óptimo de partículas de caucho para el ensayo a compresión.

Para el análisis estadístico se utiliza un programa especializado en estadística con el cual se asegura que los resultados tendrán una confiabilidad del 95% y el nivel de significancia (Sig.) sería el 5% restante [8] (Si, Sig \geq 0.05 los datos proceden a una distribución normal). Se utilizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov debido a que la cantidad de muestras es 170 probetas con la dosificación del 12%.

Con el total de los datos se obtuvo un valor del nivel de significancia Sig. = 0.019, siendo este valor inferior al 0.05, lo cual indica que estos valores no siguen una distribución normal aceptable, por lo tanto, se eliminó 22 datos que es un equivalente al 18% del total de la muestra, siendo estos valores los que se alejan de la línea de distribución normal. Con la eliminación de estos datos se obtuvo un nuevo valor del nivel de significancia Sig. = 0.056, así aseguramos que sigan una distribución normal. Se tomará los datos estadísticos proporcionados por el programa con un total de la muestra de 138 probetas.

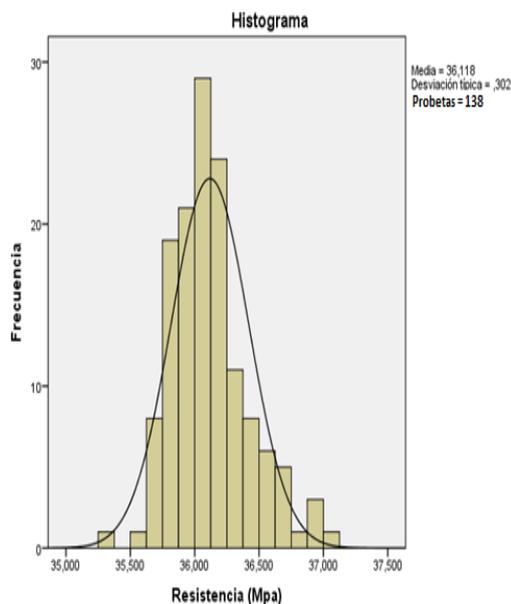


Figura 8. Histograma de Resistencia a la compresión con el porcentaje óptimo de partículas de caucho

Tabla 5. Parámetros estadísticos

Parámetro estadístico	Resultado
Sig. asíntota	0.056
Media	36.11
Mediana	36.08
Moda	36.07
Desviación típica	0.301

Siendo la media, mediana y moda (ver Tabla 5), las medidas de tendencia central, dichos valores son semejantes,

lo cual indica que nuestra distribución es simétrica, es decir existe aproximadamente la misma cantidad de datos a la izquierda como a la derecha de la media.

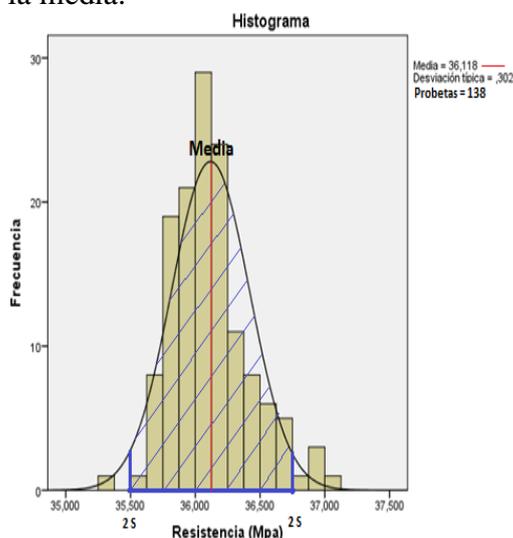


Figura 9. Área de las dos desviaciones estándar

La representación gráfica de la Figura 9, es la probabilidad de que la resistencia de un adoquín elegido al azar quede dentro del rango $m \pm 2S$ es el 95% o 0.95.

3.2.2 Ensayo de Resistencia al desgaste por Abrasión.

El desgaste es un factor importante en el adoquín que, si cumple con la longitud de la cuerda estipulada en la norma NTE INEN 3040 (máximo de 25 mm), se establecerá como un producto de buena resistencia y calidad, apto para su uso en la pavimentación.

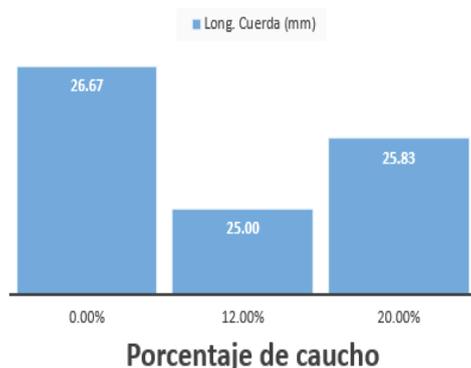


Figura 10. Resistencia al desgaste por abrasión con diferentes porcentajes de partículas de caucho

Una vez llegada a la resistencia a la compresión deseada se procedió a realizar los ensayos a desgaste de dichas probetas, y el resultado de la longitud de la cuerda es 25 mm, de desgaste, el cual es un valor aceptable según la norma NTE INEN 3040. Se ensayó probetas con otras dosificaciones probados durante el proceso investigativo, las cuales dieron un resultado mayor a 25 mm de desgaste, siendo estos valores inaceptables descartándose para su uso y posterior comercialización.

4. Conclusiones

En los resultados de las propiedades mecánicas de los adoquines elaborados con partículas de caucho, se evidencio claramente la disminución de la resistencia a la compresión de las probetas con el aumento en los porcentajes de caucho en la mezcla. Esto se evidencio claramente con las probetas del 3% y 20 % de partículas de caucho, con valores de resistencia a la compresión de 38.9 Mpa y 27.3 MPa respectivamente.

En el ensayo a desgaste por abrasión, la mezcla propuesta, cumplió con la norma NTE INEN 3040 con una longitud de cuerda promedio de 25 mm, a comparación con las probetas de la fábrica Hormibloque Ecuador, esto se debe a que la fabricación de los adoquines, se la realiza con los materiales tal cual llegan de la cantera, sin antes optimizar su granulometría, lo cual indica que se colocará mayor cantidad de material cementante, así este ayudará a mejorar la resistencia a la compresión, pero, afecta notablemente en el ensayo a desgaste por abrasión. Al hacer una comparación de resultados en el ensayo de desgaste, entre el adoquín de la fábrica y adoquines con el 12% y 20%, se nota claramente que los adoquines de la fábrica tienen mayor longitud de cuerda promedio, lo cual

ratifica que para tener una mejor resistencia al desgaste depende de la dosificación de la mezcla en sus componentes.

La dosificación propuesta en la investigación, cumple con los parámetros de resistencia a la compresión, al igual que al desgaste por abrasión. Con estos resultados se asegura un producto de calidad y apto para su comercialización.

En el análisis estadístico de los datos para q cumpla una distribución normal se eliminó un 18% del total de la muestra, con esta eliminación se llegó a un valor de significancia $Sig = 0.056$, que asegura que al escoger un adoquín al azar el valor de su resistencia a la compresión estará dentro del rango de la $(36.12\text{MPa} \pm 2 * 0.301)$. Es decir que el 95% de muestras ensayadas estarán entre los valores de 35.51 MPa y 36.72MPa.

En el análisis de precios unitarios se pudo identificar ventajas de fabricación de un adoquín con caucho, obteniéndose un valor neto real de 36 centavos de dólares americanos a comparación de un adoquín convencional de 35 Mpa con un valor de 39 centavos, en los dos casos con un de costos indirectos del 20% en cada uno de los adoquines.

5. Recomendaciones

Es importante seguir con la investigación debido a que el número de los ensayos a desgaste por abrasión, no constituye una muestra significativa que demuestre su confiabilidad estadística.

Se deberá seguir investigando para así colocar en la mezcla, toda la escoria producida por el proceso de reencauche en su tamaño original, para evitar el proceso de tamizado.

Se recomienda someter a los adoquines a altas temperaturas, para luego comprobar la resistencia a la compresión y desgaste por abrasión y

determinar el comportamiento del caucho introducido a la mezcla del adoquín.

Referencias

- [1] RENOvallANTA, «Trabajo con nosotros: Preguntas frecuentes,» Copyright 2017 Renovallanta, 2017. [En línea]. Available: <http://www.renovallanta.com/index.php/preguntas-frecuentes>. [Último acceso: 15 Mayo 2018].
- [2] A. M. Villamizar, «Evaluación del conocimiento cumplimiento de la resolución 1457/2010 referente al Sistema de Recolección Selectiva y Gestion Ambiental,» Pontificia Universidad Javeriana , Bogota, 2014.
- [3] A. E. Yugsi Toapanta , «Análisis de las propiedades mecánicas de adoquines elaborados con hormigón y polvillo de caucho de neumáticos reciclados y su correlación con adoquines convencionales,» Universidad Central del Ecuador, Quito, 2018.
- [4] M. B. Merizalde, «Hasta 100 llantas usadas entre residuos comunes al Relleno Sanitario de Quito,» p. 1, 28 Agosto 2017.
- [5] Asociación Colombiana de Productores de Concreto, Tecnología del Concreto, Bogotá: Nomos Impresores, 2012.
- [6] Registro Oficial Suplemento 998 de 5-may-2017, «Ley Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre,» República del Ecuador Asamblea Nacional, Quito, 2017.
- [7] D. B. Mora, «Hormigones con Agregados Cerámicos,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2014.

- [8] M. F. Triola, Estadística, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- [9] NTE INEN 696, «Aridos, análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso,» Quito, 2011.
- [10] NTE INEN 0860, «Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5mm mediante el uso de la máquina de los ángeles,» Quito, 2011.
- [11] NTE INEN 0856, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino,» Quito, 2010.
- [12] NTE INEN 0857, «Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del arido grueso.,» Quito, 2010.
- [13] NTE INEN 0858, «Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.,» Quito, 2010.
- [14] NTE INEN 0855, «Áridos. Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.,» Quito, 2010.
- [15] NTE INEN 1485, «Adoquines. Determinación de la resistencia a la compresión.,» Quito, 1987.
- [16] ACI 2.11.1-91, «Proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo normal.,» 2002.
- [17] NTE INEN 3040, «Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo.,» Quito, 2016.
- [18] NTE INEN 4090, «Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos,» Quito, 2011.
- [19] Norma INEN 1483, «Adoquines. Terminología y Clasificación,» Quito, 1987.

ANEXOS

Anexo 1

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS



PROYECTO: Influencia de las Partículas de Caucho en el Desgaste de Adoquines de Hormigón

UBICACION: UPS Campus Sur

FECHA: 09/07/2018

NÚMERO:

CODIGO:

RUBRO: Adoquín con partículas de caucho no incluye transporte

UNIDAD: U

ESPECIFICACION

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Herramienta Menor					0.00
Maquina Honfa qt4 15c	1.00	2.32	2.32	0.0140	0.03
Montacargas	1.00	0.84	0.84	0.0140	0.01
Tamizadora	1.00	0.15	0.15	0.0140	0.00
SUBTOTAL					0.05

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL /HR B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	1.00	3.51	3.51	0.0140	0.05
Obreo especializado en la elaboración de Prefabricados	1.00	3.55	3.55	0.0140	0.05
SUBTOTAL					0.10

MATERIALES

	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Agua	lt	0.2070	0.02	0.00
Cemento	Kg	0.7350	0.15	0.11
arena	Kg	1.2600	0.02	0.03
ripio	Kg	1.1100	0.01	0.01
caucho	Kg	0.1710	0.00	0.000
SUBTOTAL				0.15

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
SUBTOTAL				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		0.30
INDIRECTOS Y UTILIDADES:	20.00%	0.06
OTROS INDIRECTOS:		
COSTO TOTAL DEL RUBRO:		0.36
VALOR OFERTADO:		0.36

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

Anexo1.2. Análisis de precios unitarios del adoquín sin partículas de caucho $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS



PROYECTO: Influencia de las Partículas de Caucho en el Desgaste de Adoquines de Hormigón
UBICACION: UPS Campus Sur
FECHA: 09/07/2018

NÚMERO:

CODIGO:

RUBRO: Adoquín sin partículas de caucho no incluye transporte

UNIDAD: U

ESPECIFICACION

EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Herramienta Menor					0.01
Maquina Honfa qt4 15c	1.00	2.32	2.32	0.0140	0.03
Montacargas	1.00	0.84	0.84	0.0140	0.01
SUBTOTAL					0.05

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL /HR B	COSTO HORA C = A x B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C x R
Peón	1.00	3.51	3.51	0.0140	0.05
Obreo especializado en la	1.00	3.93	3.93	0.0140	0.06
SUBTOTAL					0.10

MATERIALES

	UNIDAD	CANTIDAD A	P. UNITARIO B	COSTO C = A x B
Agua	lt	0.0235	0.02	0.000
Cemento	Kg	0.8330	0.15	0.12
arena	Kg	1.6230	0.02	0.03
ripio	Kg	1.2580	0.01	0.01
SUBTOTAL				0.17

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C = A x B
SUBTOTAL				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		0.32
INDIRECTOS Y UTILIDADES:	20.00%	0.06
OTROS INDIRECTOS:		
COSTO TOTAL DEL RUBRO:		0.39
VALOR OFERTADO:		0.39

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

Anexo 2

**2.1 Ensayo de desgaste por abrasión
12% de partículas de caucho.**



PUCE
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,
MÉCANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN.
MÉTODO DE LA RUEDA ANCHA
TESIS

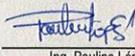
PROYECTO: Tesis U.P.S.
LOCALIZACIÓN: Quito
MUESTRA: Tomada por el Cliente
NORMA ENSAYO: NTE INEN 3040
FABRICA :
LOTE:
FECHA DE FABRICACIÓN:
DESCRIPCIÓN ADOQUÍN: Hexagonal

SOLICITADO POR : Rosa Angélica Chipugsi
FISCALIZACIÓN :
CONTRATISTA :
FECHA DE INGRESO : 2018-06-15
FECHA DE EMISIÓN : 2018-06-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 31892
HOJA : 1 de 4

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación		
Fecha de fabricación		
Fecha de ensayo	2018-06-18		
Edad (días)	+28 días		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Longitud de la cuerda de la pesa (cm)	66,5	66,5	66,5
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	26,5	23,0	24,0
Longitud de la cuerda corregida (mm)	27,0	23,5	24,5

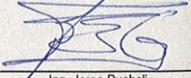
OBSERVACIONES:

- * Datos proporcionados por el Cliente.
- Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.
- Especificación según norma de referencia: Los adoquines deben cumplir con una longitud de cuerda máxima de 25 mm.
- Este informe será validado solamente para fines académicos.



Ing. Paulina López
Responsable de Área.





Ing. Jorge Buchelli
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



JESUITAS ECUADOR



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,
MÉCANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN.
MÉTODO DE LA RUEDA ANCHA
TESIS

PROYECTO: Tesis U.P.S.
LOCALIZACIÓN: Quito
MUESTRA: Tomada por el Cliente
NORMA ENSAYO: NTE INEN 3040
FABRICA :
LOTE :
FECHA DE FABRICACIÓN:
DESCRIPCIÓN ADOQUÍN: Hexagonal

SOLICITADO POR : Rosa Angélica Chipugsi
FISCALIZACIÓN :
CONTRATISTA :
FECHA DE INGRESO : 2018-06-15
FECHA DE EMISIÓN : 2018-06-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 31892
HOJA : 2 de 4

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación		
Fecha de fabricación		
Fecha de ensayo	2018-06-18		
Edad (días)	+28 días		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Longitud de la cuerda de la pesa (cm)	66,5	66,5	66,5
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	24,5	24,0	26,5
Longitud de la cuerda corregida (mm)	25,0	24,5	27,0

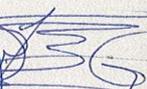
OBSERVACIONES:

- * Datos proporcionados por el Cliente.
- Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.
- Especificación según norma de referencia: Los adoquines deben cumplir con una longitud de cuerda máxima de 25 mm.
- Este informe será validado solamente para fines académicos.



Ing. Paulina López
Responsable de Área.




Ing. Jorge Bucheli
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



20% de partículas de caucho.



PUCE
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,
MÉCANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PUCE

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN.
MÉTODO DE LA RUEDA ANCHA
TESIS

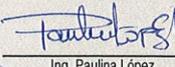
PROYECTO: Tesis U.P.S.
LOCALIZACIÓN: Quito
MUESTRA: Tomada por el Cliente
NORMA ENSAYO: NTE INEN 3040
FABRICA:
LOTE:
FECHA DE FABRICACIÓN:
DESCRIPCIÓN ADOQUÍN: Hexagonal

SOLICITADO POR: Rosa Angélica Chipugsi
FISCALIZACIÓN:
CONTRATISTA:
FECHA DE INGRESO: 2018-06-15
FECHA DE EMISIÓN: 2018-06-19
ORDEN DE TRABAJO N°: 31892
HOJA: 3 de 4

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación		
Fecha de fabricación		
Fecha de ensayo	2018-06-18		
Edad (días)	+28 días		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Longitud de la cuerda de la pesa (cm)	66,5	66,5	66,5
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	25,5	26,0	24,5
Longitud de la cuerda corregida (mm)	26,0	26,5	25,0

OBSERVACIONES:

- Datos proporcionados por el Cliente.
- Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.
- Especificación según norma de referencia: Los adoquines deben cumplir con una longitud de cuerda máxima de 25 mm.
- Este informe será validado solamente para fines académicos.


Ing. Paulina López
Responsable de Área.


Ing. Jorge Bucheli
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...


JESUITAS ECUADOR



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO**

**MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN.
MÉTODO DE LA RUEDA ANCHA
TESIS**

PROYECTO: Tesis U.P.S.
LOCALIZACIÓN: Quito
MUESTRA: Tomada por el Cliente
NORMA ENSAYO: NTE INEN 3040
FABRICA :
LOTE:
FECHA DE FABRICACIÓN:
DESCRIPCIÓN ADOQUÍN: Hexagonal

SOLICITADO POR : Rosa Angélica Chipugsi
FISCALIZACIÓN :
CONTRATISTA :
FECHA DE INGRESO : 2018-06-15
FECHA DE EMISIÓN : 2018-06-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 31892
HOJA : 4 de 4

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación		
Fecha de fabricación		
Fecha de ensayo	2018-06-18		
Edad (días)	+28 días		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Longitud de la cuerda de la pesa (cm)	66,5	66,5	66,5
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	26,5	26,0	26,0
Longitud de la cuerda corregida (mm)	27,0	26,5	26,5

OBSERVACIONES:

- Datos proporcionados por el Cliente.
- Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.
- Especificación según norma de referencia: Los adoquines deben cumplir con una longitud de cuerda máxima de 25 mm.
- Este informe será validado solamente para fines académicos.

Paulina López

Ing. Paulina López
Responsable de Área.



Jorge Buchell

Ing. Jorge Buchell
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



JESUITAS ECUADOR