



Análisis del hormigón hidráulico aplicando polvo de neumáticos reciclado para el uso en pavimentos rígidos

Analysis of hydraulic concrete applying recycled tire dust for the use of rigid pavements

Análise de concreto hidráulico aplicando pó de pneu reciclado para uso em pavimentos rígidos

Eddie José Vélez-Moreira ^I
evelez7986@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5234-3310>

Anadelys Alonso-Aenlle ^{II}
anadelys@civil.cujae.edu.cu
<https://orcid.org/0000-0003-2625-2129>

Correspondencia: evelez7986@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de julio de 2022 * **Aceptado:** 18 de agosto de 2022 * **Publicado:** 28 de septiembre de 2022

- I. Ingeniero Civil, Cursante de la Maestría con Trayectoria de Investigación, Mención Vialidad, Gobierno Provincial de Manabí, Analista 1 Investigador Independiente, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Ingeniero Civil, Profesor Titular, Doctor en Ciencias Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" CUJAE, Profesora del Departamento de Construcciones Viales de la Facultad de Ingeniería Civil, Cuba.

Resumen

Los pavimentos de hormigón hidráulico comúnmente se usan para la construcción de zonas de carga, estacionamientos, terminales de camiones, entre otros; debido a su perdurabilidad y a que requieren menos reparaciones. Actualmente el polvo de neumático es adicionado a esta mezcla para mejorar sus propiedades. En este sentido, la investigación tiene como objetivo analizar las características físico-mecánicas del hormigón hidráulico para el uso de pavimentos aplicando polvo de neumáticos reciclados y agregados de la cantera MEGAROCK de Portoviejo. El enfoque del estudio es cuantitativo, con diseño experimental y tipo de investigación de campo y descriptivo. Se diseñaron tres mezclas con 4%, 7% y 10% de polvo de neumáticos fuera de uso (NFU) y la mezcla de hormigón tradicional, a las cuales se le aplicaron los ensayos al agregado grueso de contenido de humedad, granulometría, peso unitario, gravedad específica y absorción, y al agregado fino, contenido de humedad, granulometría, peso unitario, gravedad específica y absorción. Los resultados mostraron que todas las muestras estudiadas cumplen las especificaciones requeridas en las normas NTE INEN 1 573. Con la adición de NFU, los valores de la resistencia a compresión y flexión disminuyen en relación al diseño de mezcla convencional del hormigón hidráulico; sin embargo, a pesar de la disminución de resistencias hasta el 10% de adición, ésta cumple con las normas técnicas, siendo la mejor opción para un nuevo diseño de pavimento. Como conclusión, se obtuvo una mezcla de hormigón hidráulico con adición de NFU, el cual es un nuevo material con resistencia aceptable según las normas y requerimientos que se establecen para la construcción y aplicación de pavimentos rígidos.

Palabras claves: Hormigón; Hidráulico; Neumático; Mezcla; Reciclado.

Abstract

Hydraulic concrete pavements are commonly used for the construction of loading areas, parking lots, truck terminals, among others; due to their durability and the fact that they require fewer repairs. Currently tire dust is added to this mixture to improve its properties. In this sense, the research aims to analyze the physical-mechanical characteristics of hydraulic concrete for the use of pavements by applying recycled tire powder and aggregates from the MEGAROCK quarry in Portoviejo. The focus of the study is quantitative, with an experimental design and type of field

and descriptive research. Three mixes were designed with 4%, 7% and 10% of tire dust out of use (NFU) and the traditional concrete mix, to which tests were applied to the coarse aggregate of moisture content, granulometry, unit weight, specific gravity and absorption, and to fine aggregate, moisture content, granulometry, unit weight, specific gravity and absorption. The results showed that all the samples studied meet the specifications required in the NTE INEN 1 573 standards. With the addition of NFU, the compressive and flexural strength values decrease in relation to the conventional mix design of hydraulic concrete; however, despite the decrease in resistance up to 10% addition, it complies with technical standards, being the best option for a new pavement design. In conclusion, a mixture of hydraulic concrete with the addition of NFU was obtained, which is a new material with acceptable resistance according to the standards and requirements established for the construction and application of rigid pavements.

Keywords: Concrete; Hydraulic; Tire; Mixture; Recycling.

Resumo

Os pavimentos hidráulicos de concreto são comumente utilizados para a construção de áreas de carga, estacionamentos, terminais de caminhões, entre outros; devido à sua durabilidade e ao fato de exigirem menos reparos. Atualmente, o pó de pneus é adicionado a esta mistura para melhorar suas propriedades. Nesse sentido, a pesquisa visa analisar as características físico-mecânicas do concreto hidráulico para uso de pavimentos através da aplicação de pó de pneu reciclado e agregados da pedra MEGAROCK em Portoviejo. O foco do estudo é quantitativo, com desenho experimental e tipo de pesquisa de campo e descritiva. Foram projetadas três misturas com 4%, 7% e 10% de pó de pneu fora de uso (NFU) e a mistura tradicional de concreto, às quais foram aplicados os testes de agregado graúdo de teor de umidade, granulometria, peso unitário, gravidade específica e absorção, e para agregado miúdo, teor de umidade, granulometria, peso unitário, gravidade específica e absorção. Os resultados mostraram que todas as amostras estudadas atendem as especificações exigidas nas normas NTE INEN 1 573. Com a adição do NFU, os valores de resistência à compressão e flexão diminuem em relação ao dimensionamento convencional da mistura de concreto hidráulico; no entanto, apesar da diminuição da resistência em até 10% de adição, atende às normas técnicas, sendo a melhor opção para um novo dimensionamento de pavimento. Em conclusão, obteve-se uma mistura de concreto hidráulico

com adição de NFU, que é um novo material com resistência aceitável de acordo com as normas e requisitos estabelecidos para a construção e aplicação de pavimentos rígidos.

Palavras-chave: Concreto; Hidráulico; Pneu; Mistura; Reciclando.

Introducción

La industria de la construcción ha sido uno de los focos más contaminantes del planeta, acarreando impactos negativos en el ambiente, esto se debe al empleo significativo de recursos naturales, generando un volumen elevado de desperdicios contaminantes (Domínguez et al., 2019). Por ello, es que actualmente investigadores, profesionales, estudiantes, organizaciones públicas y privadas, entre otras, procuran obtener el desarrollo sustentable y sostenible a través de investigaciones, con la finalidad de mitigar dichos impactos de la construcción.

En la actualidad, muchos de los estudios están fundamentados en la implementación de materias primas y reciclaje para el correcto y adecuado uso en la construcción, las cuales tienen como objetivo: brindar calidad del producto y que garanticen comportamientos adecuados en el medio ambiente en que se utilicen.

Uno de los materiales de construcción producto de la combinación de materias primas, es el hormigón, siendo uno de los elementos constructivos más versátiles que existe. En la vialidad, uno de los más utilizados es el hormigón hidráulico, por su durabilidad. En este sentido nace la necesidad de diseñar novedosas alternativas, como es el adicionar nuevos materiales, con el propósito de optimizar sus propiedades físicas y mecánicas tales como durabilidad, ductilidad, dureza, entre otras.

Nazco (2016) explica que, el hormigón hidráulico se caracteriza primordialmente por su resistencia mecánica a compresión. Tiene una propiedad duradera, por lo tanto, es resistente y además podría ser más impermeable. Esto significa que, el diseño de mezcla del hormigón hidráulico debe poseer determinadas propiedades tanto en estado fresco como endurecido, y que represente el menor costo de producción posible.

La empresa de la construcción en la búsqueda de nuevos materiales y aditivos, busca alternativas para disminuir esta contaminación y solventar las necesidades generales, sobre todo las sociales y ambientales, transformando estructuras civiles para el bienestar colectivo y medioambiental. Por ello, actualmente, se están haciendo múltiples investigaciones utilizando materiales de desechos,

para la elaboración de mezclas de concreto hidráulico y ayudando a disminuir la cantidad de residuos sólidos en el planeta, reduciendo la cantidad de elementos naturales a extraer, garantizando así los recursos no renovables (Paricaguán y Muñoz, 2019). Es esencial el empleo de estos residuos, ya que es necesario e imprescindible el proceso de concientización ambiental, para reducir, transformar y reciclar este tipo de material, donde el proceso de descomposición dura mucho tiempo. Lector (2017), también plantea sobre la utilización de estos materiales en el concreto hidráulico, tanto para reducir los costos económicos y transformar las propiedades del concreto con múltiples beneficios en la construcción, y contribuir a la eliminación de residuos y reducir la contaminación ambiental. Pérez y Arrieta (2017), explican que al incorporar el caucho reciclado aparece la porosidad en la muestra y la adherencia disminuye por la baja absorción de agua, es decir, no se entrelaza lo necesario a la mezcla en estado fresco, esto se debe porque el caucho tiene la característica de experimentar deformaciones elásticas antes de la falla.

Un material muy contaminante y desechado por los seres humanos son los neumáticos. La National Geographic (2019), en estudios recientes revela que “los fragmentos de plástico degradado procedentes del desgaste de los neumáticos invaden el medio ambiente, mares incluidos”. El uso de neumáticos crece diariamente debido al aumento del parque automotor en el mundo, produciendo grandes problemas ambientales al momento de desecharlos, debido a que los mismos terminan en ríos, quebradas, mares y sólo pequeños porcentajes son reciclados.

En el Ecuador, se desechan cerca de 2,4 millones de neumáticos de diversos tipos (El Universo, 2018). Del mismo modo, Saltos et al. (2015) manifiestan que, un porcentaje menor de los neumáticos son reutilizados para el reencauchado, mayormente en transporte de carga pesada; un mayor porcentaje de estos, son incinerados y la otra parte consignada en rellenos sanitarios a cielo abierto, amenazando de manera inminente al medio ambiente y ocasionando riesgos a la salud.

Por lo que hay que buscar formas de reciclaje de estos materiales, aparte de la utilización de ellos en parques infantiles, zonas deportivas, como materiales de construcción y como componente en mezclas para obtener mejor resistencia en ciertos productos y esta implementación ha aumentado a través de los años.

En este contexto, Saltos et al. (2017), indican en su estudio que la creación del diseño de hormigón con partículas provenientes de neumáticos, implicó que un material, aunque puede ser

hasta 20 por ciento más costoso, resulta altamente rentable, dado a que su duración puede ser cinco veces mayor.

En relación a lo planteado, es necesario que se realice un estudio para el diseño de hormigón hidráulico, utilizando partículas de neumáticos reciclado, para disminuir la contaminación producida por estos en el ambiente. Por tanto, esta investigación tiene como objetivo analizar las características físico-mecánicas del hormigón hidráulico aplicando polvo de neumáticos reciclados y agregados de la cantera MEGAROCK de Portoviejo para reducir la contaminación ambiental por la acumulación de neumáticos fuera de uso.

Materiales y métodos

El enfoque de la presente investigación será cuantitativo, debido a que, se realizaron ensayos técnicos en el hormigón. Por otro lado, el método empleado fue el inductivo, ya que permite utilizar el razonamiento para obtener conclusiones precisas, en función de los resultados. Tal como refieren Hernández y Mendoza (2018), donde se establecen como características de este enfoque los datos numéricos, el análisis estadístico y la representatividad de resultados. Lógicamente, se realizó una investigación documental para establecer los estudios y ensayos adecuados.

El diseño de la investigación es experimental, de acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), se manipulan y prueban tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones, que son las variables independientes, para observar sus efectos sobre otras variables, las dependientes en una situación que requiere control.

En cuanto al tipo de investigación es descriptivo. Es de campo dado que son estudios efectuados "en una situación real o natural en la que el investigador manipula una o más variables independiente" (Hernández y Mendoza, 2018). La investigación descriptiva, consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere (Nicomedes, 2018). En este sentido, se recopiló la información bibliográfica sobre el hormigón, polvo neumático reciclado demás agregados y normas para el correcto diseño de las mismas. Se describieron los procesos que se realizaron para el diseño del hormigón convencional, con resistencia a la compresión de $f'c$ 400

kg/cm², para luego establecer comparaciones con el hormigón al que se le adicione el polvo neumático reciclado.

Así también, las técnicas que se presentaron en la investigación son: los ensayos técnicos, la observación, el procesamiento y análisis de datos. Los instrumentos a utilizar y para poder obtener resultados teóricos y técnicos confiables se utilizarán los diferentes equipos de laboratorio necesarios para obtener los resultados, así como dos softwares, los cuales son: Microsoft Word para la información teórica y la presentación de los resultados técnicos; y, Microsoft Excel para poder tabular los resultados de los ensayos los cuales permitirán presentar resultados óptimos y sintetizados.

Análisis y discusión de Resultados

Al realizar el análisis de las características físico-mecánicas del hormigón hidráulico aplicando polvo de neumáticos reciclados y agregados de la cantera MEGAROCK de Portoviejo se obtuvieron los siguientes resultados:

Agregado grueso

Para la caracterización del agregado grueso que se utilizará en el diseño de mezcla se adquirió el material de la cantera MEGAROCK ubicada en la ciudad de Portoviejo, la misma que cumple con las normativas ASTM C 33 e INEN 872. A la muestra del agregado grueso seleccionado se le efectuó el ensayo de contenido de humedad evaporable de los agregados, de acuerdo a la Norma ASTM C566-19, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 1: Contenido de humedad del agregado grueso

Item	Descripción	Und.	Datos	Datos
1	Masa del recipiente	g	53.9	51.7
2	Masa del recipiente + muestra húmeda	g	730.3	688.5
3	Masa del recipiente + muestra seca	g	700.9	663.0
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4.5	4.2
		% Prom.	4.4	

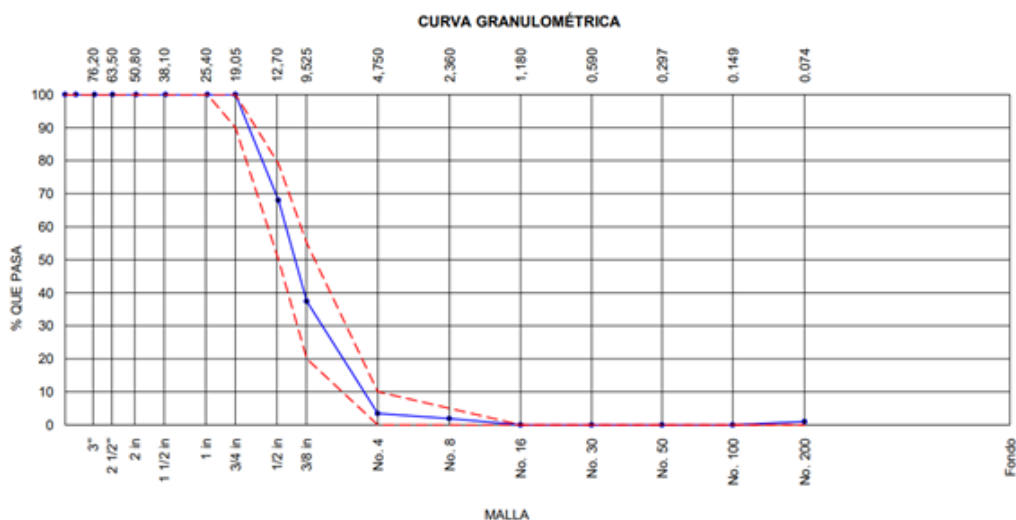
Fuente: Elaboración propia, 2022.

En relación al análisis granulométrico de este agregado según la norma ASTM C136, el módulo de finura- MF es de 6.57, cumpliendo con las especificaciones, como se muestra en la tabla 2.

Figura 2: Granulometría agregado grueso

AGREGADO GRUESO ASTM C33/C33M - 18 - HUSO # 67

ABERTURA DE TAMICES Marco de 8" de diámetro		Peso Retenido g	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
Nombre	mm					Mínimo	Máximo
4 in'	100.00 mm				100.0	100.00	100.00
3 1/2 in	90.00 mm				100.0	100.00	100.00
3 in	75.00 mm				100.0	100.00	100.00
2 1/2 in	63.00 mm				100.0	100.00	100.00
2 in	50.00 mm				100.0	100.00	100.00
1 1/2 in	37.50 mm				100.0	100.00	100.00
1 in	25.00 mm				100.0	100.00	100.00
3/4 in	19.00 mm				100.0	90.00	100.00
1/2 in	12.50 mm	622.3	32.04	32.04	68.0	50.00	79.00
3/8 in	9.50 mm	592.6	30.51	62.55	37.4	20.00	55.00
No. 4	4.75 mm	660.0	33.98	96.53	3.5	0.00	10.00
No. 8	2.36 mm	30.1	1.55	98.08	1.9	0.00	5.00
No. 16	1.18 mm					0.00	0.00
No. 30	600 µm					0.00	0.00
No. 50	300 µm					0.00	0.00
No. 100	150 µm					0.00	0.00
No. 200	75 µm	17.9	0.92	99.00	1.0	0.00	0.00
< No. 200	< No. 200	19.4	1.00	100.00	0.0	-	-
						MF	6.57
						TMN	1/2 in
						TM	3/4 in



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para la determinación del peso unitario suelto y compactado de los agregados, se emplearon las especificaciones ASTM C29 C29M – 17a, se obtuvo que la densidad aparente suelta promedio es de 1321 kg/m³; la densidad aparente varillada promedio es de 1491 kg/m³ y la densidad relativa es de 2.52 kg/m³ (Tabla 3).

Figura 3: Peso Unitario Agregado Grueso

DENSIDAD APARENTE SUELTA			
IDENTIFICACIÓN	1	2	PROMEDIO
Masa del molde (kg)	4.445	4.445	
Volumen de molde (m3)	0.002868	0.002868	
Masa de molde + muestra suelta (kg)	8.210	8.257	
Masa de muestra suelta (kg)	3.765	3.812	
Densidad aparente Suelta (kg/m3)	1313	1329	1321

DENSIDAD APARENTE VARILLADA			
IDENTIFICACIÓN	1	2	PROMEDIO
Masa del molde (kg)	4.445	4.445	
Volumen de molde (m3)	0.002868	0.002868	
Masa de molde + muestra consolidada (kg)	8.728	8.715	
Masa de muestra consolidada (kg)	4.283	4.270	
Densidad aparente Consolidada (kg/m3)	1493	1489	1491
Método utilizado en la consolidación de la muestra	Rodding (Varillado)		

Densidad Relativa (Gravedad específica) OD	2.52
% de Vacíos - muestra Suelta	47.4
% de Vacíos - muestra Consolidada	40.7

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso se utilizó la metodología ASTM C127-15, resultando que la gravedad específica fue 2.75 kg/m³, y el porcentaje de absorción de 3.4%. Los resultados se encuentran en la tabla 4.

Figura 4: Gravedad específica y absorción del agregado grueso

DATOS / N° DE PRUEBA		1	2
A	Masa de la muestra seca en el horno	4830.0	4829.0
B	Masa de la muestra al aire SSD	4995.0	4992.0
C	Masa de la muestra sumergida	3077.0	3074.0

RESULTADOS	1	2	PROMEDIO
Densidad Relativa (Gravedad específica OD)	2.518	2.518	2.518
Densidad Relativa (Gravedad específica SSD)	2.604	2.603	2.60
Densidad Relativa Aparente (Gravedad específica)	2.755	2.752	2.75
Absorción (%)	3.4	3.4	3.4

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Agregado fino

De igual manera, el agregado fino para diseñar el hormigón hidráulico procede de la cantera MEGAROCK, por lo que también se le aplicaron métodos de laboratorio para determinar sus características físicas. Se le determinó el contenido de humedad, mediante el método ASTM C566-19, resultando con 8% de humedad (ver tabla 5).

Figura 5: Contenido de humedad del agregado fino

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

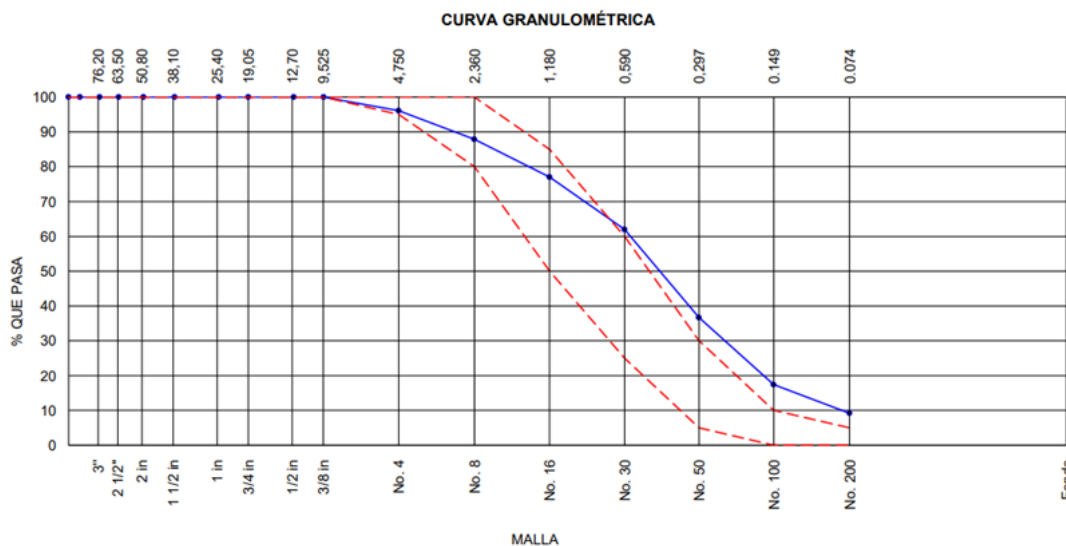
ITEM	DESCRIPCION	UND.	DATOS	DATOS
1	Masa del Recipiente	g	17.5	17.6
2	Masa del Recipiente + muestra húmeda	g	106.0	104.1
3	Masa del Recipiente + muestra seca	g	99.5	97.7
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	8.0	8.0
		% PROM.	8.0	

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Con respecto a la granulometría, se empleó la norma ASTM C136, el MF es de 2.23, es decir, una arena gruesa, como se muestra en la tabla 6.

Figura 6: Granulometría Agregado Fino

ABERTURA DE TAMICES Marco de 8" de diámetro		Peso Retenido g	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
Nombre	mm					Mínimo	Máximo
4 in'	100.00 mm				100.0	100.00	100.00
3 1/2 in	90.00 mm				100.0	100.00	100.00
3 in	75.00 mm				100.0	100.00	100.00
2 1/2 in	63.00 mm				100.0	100.00	100.00
2 in	50.00 mm				100.0	100.00	100.00
1 1/2 in	37.50 mm				100.0	100.00	100.00
1 in	25.00 mm				100.0	100.00	100.00
3/4 in	19.00 mm				100.0	100.00	100.00
1/2 in	12.50 mm				100.0	100.00	100.00
3/8 in	9.50 mm				100.0	100.00	100.00
No. 4	4.75 mm	44.9	3.91	3.91	96.1	95.00	100.00
No. 8	2.36 mm	93.7	8.17	12.08	87.9	80.00	100.00
No. 16	1.18 mm	125.2	10.91	22.99	77.0	50.00	85.00
No. 30	600 µm	172.9	15.07	38.06	61.9	25.00	60.00
No. 50	300 µm	289.5	25.23	63.29	36.7	5.00	30.00
No. 100	150 µm	221.1	19.27	82.56	17.4	0.00	10.00
No. 200	75 µm	94.7	8.25	90.81	9.2	0.00	5.00
< No. 200	< No. 200	105.5	9.19	100.00	0.0	-	-
						MF	2.23
						TMN	---
						TM	---



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para la determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado fino, se hizo mediante el ASTM C29 / C29M – 17a, resultando que la densidad aparente suelta promedio es de 1334 kg/m³; la densidad aparente varillada promedio es de 1464 kg/m³ y la densidad relativa es de 2.58 kg/m³, como se observa en la Tabla 7.

Figura 7: Densidad relativa del agregado fino

DENSIDAD APARENTE SUELTA

IDENTIFICACIÓN	1	2	PROMEDIO
Masa del molde (kg)	4.445	4.445	
Volumen de molde (m3)	0.002868	0.002868	
Masa de molde + muestra suelta (kg)	8.261	8.282	
Masa de muestra suelta (kg)	3.816	3.837	
Densidad aparente Suelta (kg/m3)	1331	1338	

DENSIDAD APARENTE VARILLADA

IDENTIFICACIÓN	1	2	PROMEDIO
Masa del molde (kg)	4.445	4.445	
Volumen de molde (m3)	0.002868	0.002868	
Masa de molde + muestra consolidada (kg)	8.629	8.657	
Masa de muestra consolidada (kg)	4.184	4.212	
Densidad aparente Consolidada (kg/m3)	1459	1469	
Método utilizado en la consolidación de la muestra	Rodding (Varillado)		

Densidad Relativa (Gravedad específica) OD	2.58
% de Vacíos - muestra Suelta	48.1
% de Vacíos - muestra Consolidada	43.0

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se calculó la gravedad específica y la absorción del agregado fino, mediante la prueba estándar ASTM C128-15, resultando igual a 2.69 kg/m^3 y el porcentaje de absorción de 1.70%. En la tabla 8 se aprecian el desglose de los resultados:

Figura 8: Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino

Ítem	Datos de ensayo/N° de prueba	1	2	
A	Masa secada al horno (OD) (g)	491.9	491.9	
B	Masa picnómetro con agua hasta la marca (g)	650.5	650.5	
C	Masa picnómetro con agua + muestra sss (g)	959.4	959.4	
S	Masa saturada con superficie seca (SSS) (g)	500.00	500.00	Promedio
Densidad relativa (Gravedad específica) (OD)		2.57	2.57	2.575
Densidad relativa (Gravedad específica) (SSD)		2.62	2.62	2.62
Densidad relativa aparente (Gravedad específica)		2.69	2.69	2.69
% Absorción		1.7	1.7	1.7

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Luego de obtener los resultados de los agregados a la mezcla del concreto hidráulico (diseño comprobado referencia ACI 211.1), se procedió a realizar el diseño de mezcla con resistencia de 400 kg/cm^2 , resultado una muestra buena, cohesiva, con un slump obtenido de 6.5" y 0.99 de rendimiento (ver tabla 9).

Figura 9: Diseño de mezclas de concreto

COMPONENTE	PESO HÚMEDO
Holcim TIPO GU.	21.714 kg
Agua	5.133L
Aire atrapado ≈ 2.5%	0 kg
Adición mineral	0 kg
Aditivo	0 g
Agregado grueso	22.422 kg
Agregado fino	19.407 kg
0 kg/m ³	0 kg
0 kg/m ³	0 kg
Slump obtenido	6.5"
Apariencia	Buena, cohesiva
Rendimiento	0.99

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En relación al cálculo del porcentaje de sustitución de NFU con el agregado fino, se presenta en la siguiente tabla:

Figura 10: Porcentaje de sustitución de NFU con agregado fino

% NFU	ARENA kg	NFU kg
0%	19405	0
4%	18631	776
7%	18049	1358
10%	17466	1941

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Luego de obtener el diseño de mezcla de concreto hidráulico se procedió a realizar las briquetas, y completada la edad de cada uno de ellos, se procedió a medir la masa, altura, diámetro promedio; a calcular el área, volumen, densidad y asentamiento, como se aprecia en la tabla 11.

Figura 11: Propiedades físicas de probetas cilíndricas de hormigón hidráulico

Muestra No	% NFU	Fecha Fundición	Fecha Ensayo	Edad	Masa	Altura	Diámetro Promedio	Area	Volumen	Densidad	Asentam.	Tipo de Consistencia
				Días	Gr	mm	mm	mm	cm ³	gr/cm ³	cm	
1	SN	28-mar-22	4-abr-22	7	3,443	200	100	07854.0	1570.8	2.19	18	Líquida
2	4%	28-mar-22	4-abr-22	7	3,424	200	100	07854.0	1570.8	2.18	18	
3	7%	28-mar-22	4-abr-22	7	3,393	200	100	07854.0	1570.8	2.16	18	
4	10%	28-mar-22	4-abr-22	7	3,356	200	100	07854.0	1570.8	2.14	18	
1	SN	28-mar-22	11-abr-22	14	3,451	200	100	07854.0	1570.8	2.20	18	Líquida
2	4%	28-mar-22	11-abr-22	14	3,422	200	100	07854.0	1570.8	2.18	18	
3	7%	28-mar-22	11-abr-22	14	3,385	200	100	07854.0	1570.8	2.15	18	
4	10%	28-mar-22	11-abr-22	14	3,371	200	100	07854.0	1570.8	2.15	18	

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Obtenido el diseño de mezcla de concreto hidráulico se procedió a realizar el ensayo a las probetas de la resistencia a la compresión, con la adición del NFU del 0%, 4%, 7% y 10%, obteniéndose que todas las muestras estudiadas cumplen con las normas NTE INEN 1 573 (ver tabla 12).

Figura 12: Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón hidráulico

Muestra No	% NFU	Fecha Fundición	Fecha Ensayo	Edad Días	Relación L/D	Factor de Correc.	Esfuerzo (Mpa)	Carga de Falla		Resistencia Corregida		% Resistencia		Evaluación	Resistencia Esp. Kg/cm ²
								Kg	kN	kg/cm ²	Mpa	Especif.	Real		
1	SN	28-mar-22	4-abr-22	7	2.00	1.00	33.7	27,002	264.8	343.9	33.7	70 %	86.0 %	Cumple	400
2	4%	28-mar-22	4-abr-22	7	2.00	1.00	32.8	26,288	257.8	334.8	32.8	70 %	83.7 %	Cumple	
3	7%	28-mar-22	4-abr-22	7	2.00	1.00	31.9	25,574	250.8	325.7	31.9	70 %	81.4 %	Cumple	
4	10%	28-mar-22	4-abr-22	7	2.00	1.00	29.3	23,484	230.3	299.1	29.3	70 %	74.8 %	Cumple	
1	SN	28-mar-22	11-abr-22	14	2.00	1.00	36.2	29,021	284.6	369.6	36.2	85 %	92.4 %	Cumple	400
2	4%	28-mar-22	11-abr-22	14	2.00	1.00	34.0	27,267	267.4	347.3	34.0	85 %	86.8 %	Cumple	
3	7%	28-mar-22	11-abr-22	14	2.00	1.00	33.7	27,002	264.8	343.9	33.7	85 %	86.0 %	Cumple	
4	10%	28-mar-22	11-abr-22	14	2.00	1.00	33.3	26,706	261.9	340.1	33.3	85 %	85.0 %	Cumple	

Fuente: Elaboración propia, 2022.

A continuación, se muestran los resultados a través de una gráfica a los 7 días adicionando el porcentaje de NFU. En la gráfica 1, se puede observar que a medida que se le sustituye el

porcentaje de NFU por el agregado fino la resistencia a compresión del hormigón hidráulico va disminuyendo.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

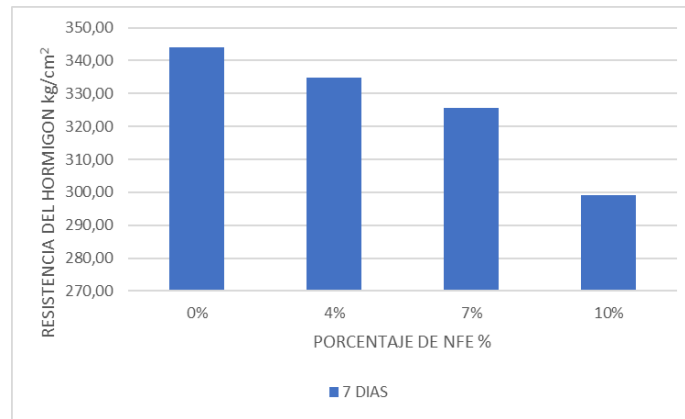


Figura 13: Resistencia a compresión del hormigón hidráulico con NFU a los 7 días

En la figura 2, se exhiben los resultados de la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico con las distintas dosificaciones de NFU a los 14 días, donde su comportamiento es similar al estudiado a los 7 días, es decir, la resistencia disminuye al adicionarle más cantidad de NFU. En todos los casos a los 14 días la resistencia es superior que a los 7 días de ensayo.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

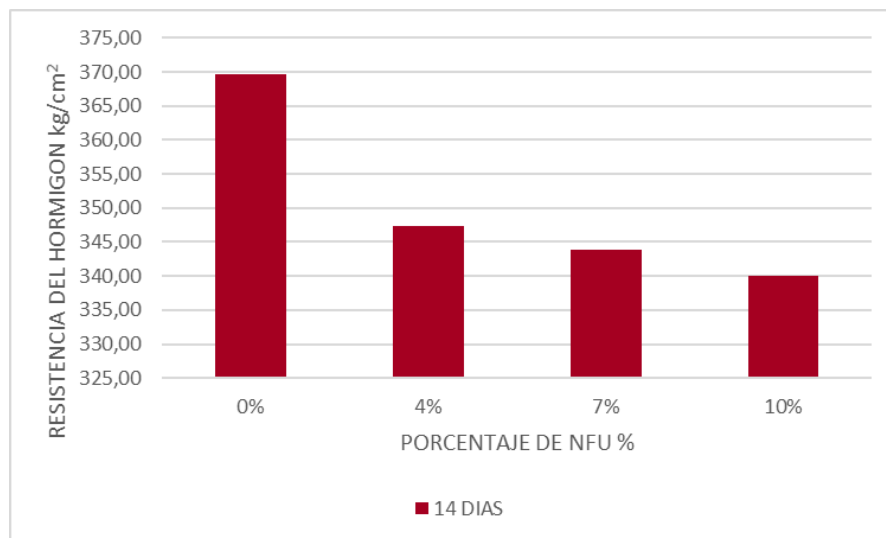


Figura 14: Resistencia a compresión del hormigón hidráulico con NFU a los 14 días

En cuanto a las roturas de viguetas a la flexión, el resultado se encuentra en la tabla 13.

Figura 15: Ensayo de roturas de viguetas a la flexión

ITEM	% NFU	FECHA ELABORACION	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	DIMENSIONES			ESFUERZO DE COMPRESION O FLEXION - CARGA EN EL TERCIO MEDIO						
					LONGITUD (cm)	LADO A (cm)	LADO B (cm)	DISTANCIA ENTRE APOYOS (cm)	CARGA LIBRAS	CARGA (Kg)	RESISTENCIA ALCANZADA mpa= PL/bd ²	DISEÑO (mpa)	% RESISTENCIA OBTENIDA	CUMPLE
1	SN	28-mar-22	11-abr-22	14	54	15	15	49	8500	3864	5.50	5.5	100%	SI
2	4	28-mar-22	11-abr-22	14	54	15	15	49	8100	3682	5.24	5.5	95%	SI
3	7	28-mar-22	11-abr-22	14	54	15	15	49	7500	3409	4.85	5.5	88%	SI
4	10	28-mar-22	11-abr-22	14	54	15	15	49	7200	3273	4.66	5.5	85%	SI
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2022.

El comportamiento de las muestras ensayadas indica que a medida se aumenta el porcentaje de NFU, la resistencia disminuye, sin embargo, cumple con las especificaciones NTE INEN 1 573 (Ver figura 3).

Fuente: Elaboración propia, 2022.

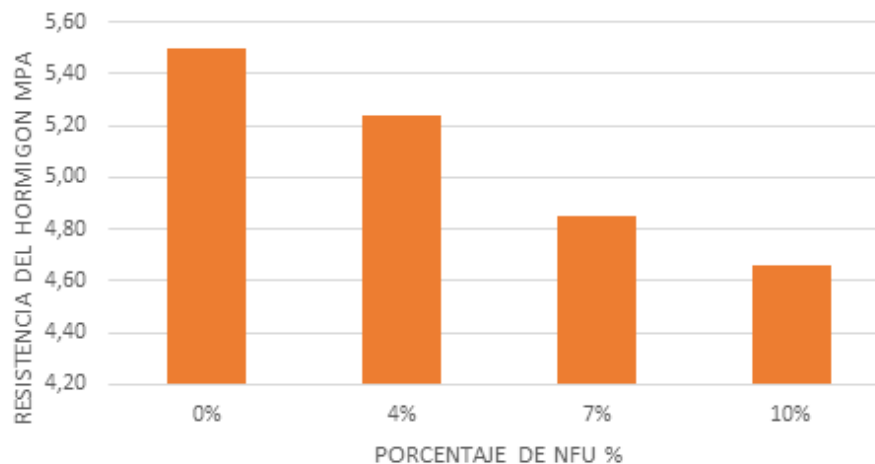


Figura 16: Comportamiento del ensayo de roturas de viguetas a la flexión

Discusión

Las características físicas de los agregados de la cantera MEGAROCK de Portoviejo, utilizados para esta investigación cumplieron con las especificaciones técnicas, definiéndolo como agregados de calidad.

En las muestras ensayadas de hormigón hidráulico a analizar, se empleó la misma cantidad de cemento, agregado grueso y agua, y en las probetas con NFU se reemplazó parte de los agregados

finos según su porcentaje. Como se observa en las gráficas 1, 2 y 3, el comportamiento mecánico está directamente vinculado a la cantidad de NFU en la mezcla. La dosificación de mezcla, va presentando mejor comportamiento a medida que aumenta la edad de los cilindros de muestra.

En el ensayo de resistencia a compresión del hormigón hidráulico con NFU a los 7 y 14 días, el comportamiento es similar, a medida que se le adiciona el porcentaje de NFU, la resistencia fue disminuyendo. Sin embargo hasta la adición de NFU del 10% los resultados fueron favorables, ya que cumplen con la normativa NTE INEN 1 573. De acuerdo a Paredes (2021), la disminución de resistencia a compresión al adicionarle el caucho influye en el aumento de relación A/C, esto se debe que la arena que absorbía agua ya no lo hace al ser sustituida por el NFU.

Del mismo modo, en la evaluación del comportamiento del ensayo de roturas de viguetas a la flexión, a medida que se le adicionaba el porcentaje de NFU, la resistencia disminuye, es decir, es inversamente proporcional. No obstante, hasta la adición del 10% de NFU, el esfuerzo a flexión cumple con las especificaciones técnicas. Forigua y Pedraza (2014), revelan que estos agregados son sensibles a la dosificación de este material.

Este hormigón hidráulico con la adición de hasta el 10% de NFU, se debe emplear en pavimentos cuya carga y resistencia a la compresión sea menor o igual a 400 kg/cm^2 . Los materiales a utilizar deben ser ensayados previamente, y que sean de la más alta calidad, para que el pavimento perdure con el tiempo.

Conclusiones

En esta investigación se obtuvo un hormigón hidráulico con adición de polvo de neumáticos reciclados, que contribuyó a obtener un nuevo material, con resistencia aceptable según las normas y requerimientos que se establece para la construcción y su aplicación.

Luego de la adición de NFU, los valores de la resistencia de la compresión y flexión disminuyeron, con respecto a la muestra del diseño de mezcla original del hormigón hidráulico, es decir, sin agregarle NFU (la cual sigue siendo el de mayor resistencia). A pesar de la disminución de resistencias, hasta el 10% de adición cumple con las normas técnicas, es decir, es posible diseñar un hormigón con sustitución del agregado fino Neumáticos Fuera de Uso hasta un 10% de adición de estos.

Referencias

1. Domínguez, R.; León, M.; Samaniego, J. y Sunke, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL, Libros de la CEPAL, N° 158 (LC/PUB.2019/18-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
2. El Universo. (2018). 2,4 millones de neumáticos se desechan cada año en Ecuador. <https://www.eluniverso.com/vida/2018/06/03/nota/6790121/24-millones-neumaticos-se-desechan-cada-ano-pais/>
3. Denguir, Y. (2021). Estudio del uso de neumáticos fuera de uso (NFU) como material para la construcción de terraplenes. Aplicación a la ampliación del vertedero de residuos controlado de les Borges Blanques (Lleida). <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/173175/Denguir%20-%20Estudio%20del%20uso%20de%20neumaticos%20fuera%20de%20uso%20NFU%20como%20material%20para%20la%20construccion%20de%20te....pdf?sequence=3>
4. Forigua, J. y Pedraza, E. (2014). Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios de plásticos. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2575/1/Dise%C3%B1o-mezclas-asf%C3%A1lticas-modificadas-adici%C3%B3n-desperdicios-pl%C3%A1sticos.pdf>
5. Hossain, S., & Jayawickrama, P. W. (2000). Use of whole tires in earth retaining structures. Center for Multidisciplinary Research in Transportation Texas Tech University, Lubbock, TX, USA.
6. Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativas cualitativas y mixtas. McGrawHill.
7. Khalili, M.; Jadidi, K.; Karakouzian, M. y Amirkhanian, S. (2019). Rheological properties of modified crumb rubber asphalt binder and selecting the best modified binder using AHP method. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00276
8. Lector, M. (2017). Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de nuevo chimbote. <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2799/43457.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

9. Mashaan, N. S., & Karim, M. R. (2013). Investigating the rheological properties of crumb rubber modified bitumen and its correlation with temperature susceptibility. *Materials Research*, 16(1), 116-127.
10. NATIONAL GEOGRAPHIC (2019). Los neumáticos son una gran fuente de contaminación por plástico. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/09/neumaticos-gran-fuente-contaminacion-plastico>
11. Nazco, A. (2016). Evaluación del transporte de iones cloruros en especímenes de hormigón hidráulico producidos con cementos de bajo carbono LC3. <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7382/Alberto%20G%20Nasco%20D%c3%adaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
12. Nicomedes, E. (2018). *Tipos de Investigación*. Lima: Universidad Santo Domingo de Guzmán.
13. NTE INEN 1 573:2010. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. Norma Técnica Ecuatoriana. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito – Ecuador. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1573.pdf>
14. Paredes, L. (2021). Análisis de concreto adicionado con residuos de llanta de caucho para la elaboración de prefabricados para urbanismo. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/38544>
15. Paricaguán, B. y Muñoz, J. (2019). Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. <https://www.redalyc.org/journal/707/70760276009/html/>
16. Pérez, J. y Arrieta, Y. (2017). Estudio para caracterizar una mezcla de concreto con caucho reciclado en un 5% en peso comparado con una mezcla de concreto tradicional de 3500 PSI. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15486/1/Tesis.pdf>
17. Saltos, A.; Guerrero, H.; Ordoñez, L. y Suarez, M. (2015). Elaboración de hormigones que minimicen el impacto al ambiente, empleando neumáticos usados de vehículos livianos y pesados, en la provincia de Santa Elena. https://ziladoc.com/downloadFile/elaboracion-de-hormigones-que-minimicen-el-impacto_pdf?preview=1

18. Saltos, A.; Garcés, J.; Ordoñez, L.; Suárez, M.; Guerrero, H. (2017). Utilización de neumáticos usados como agregado en el hormigón: caso provincia de Santa Elena, Ecuador. Revista Científica y Tecnológica UPSE, Vol. IV N°1, Pág. 16 -27. <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/235>

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).