UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DEL ADOQUÍN HEXAGONAL -INCORPORANDO TIRAS DE ALAMBRE- MEDIANTE LA NORMA NTE-INEN 3040

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Freddy Daniel Loachamín Chano
Darío Xavier Rodríguez Sánchez

TUTOR: Hugo Patricio Carrión Latorre

Quito - Ecuador
2024

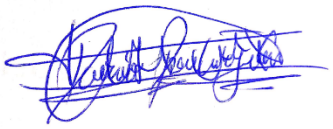
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Freddy Daniel Loachamín Chano con documento de identificación N° 1721136875 y Darío Xavier Rodríguez Sánchez con documento de identificación N° 1714664446; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 16 de septiembre del 2024

Atentamente,



Freddy Daniel Loachamín Chano
1721136875

Darío Xavier Rodríguez Sánchez
1714664446

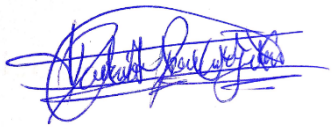
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Freddy Daniel Loachamín Chano con documento de identificación N° 1721136875 y Darío Xavier Rodríguez Sánchez con documento de identificación N° 1714664446; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto de investigación: "Evaluación de la resistencia a la tracción indirecta del adoquín hexagonal -incorporando tiras de alambre- mediante la norma NTE-INEN 3040", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad PolitécnicaSalesiana.

Quito, 16 de septiembre del 2024

Atenta



Freddy Daniel Loachamín Chano
1721136875

Darío Xavier Rodríguez Sánchez
1714664446

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Hugo Patricio Carrión Latorre con documento de identificación N° 0603015728, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DEL ADOQUÍN HEXAGONAL -INCORPORANDO TIRAS DE ALAMBRE- MEDIANTE LA NORMA NTE-INEN 3040, realizado por Freddy Daniel Loachamín Chano con documento de identificación N° 1721136875 y por Darío Xavier Rodríguez Sánchez con documento de identificación N° 1714664446, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto de investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de septiembre del 2024

Atentamente,

Ing. Hugo Patricio Carrión Latorre, MSc
0603015728

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DEL ADOQUÍN HEXAGONAL - INCORPORANDO TIRAS DE ALAMBRE - MEDIANTE LA NORMA NTE-INEN 3040

EVALUATION OF THE INDIRECT TENSILE STRENGTH OF THE HEXAGONAL PAVING STONE – INCORPORATING WIRE STRIPS – IS CARRIED OUT ACCORDING TO THE NTE-INEN 3040 STANDARD

Freddy Loachamín-Chano[1], Darío Rodríguez-Sánchez[2]

Resumen

El presente proyecto de investigación se lo realiza con adoquines fabricados en la ciudad de Quito con el objetivo de evaluar y mejorar las propiedades mecánicas del adoquin hexagonal convencional, para dar una solución a la problemática de los fabricantes, contratantes y contratistas que usan adoquín en sus diversas obras civiles, puesto que deben cumplir con los estándares de calidad establecidos en la norma NTE-INEN 3040 ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO – 2016. Debido a que la muestra tradicional está elaborada con hormigón simple, el objetivo principal es desarrollar un adoquín hexagonal incorporando tiras de alambre (recocido) de 20cm de longitud y 2.5mm de diámetro en su sección interna transversal y que cumpla con las prestaciones mecánicas acordes a la norma técnica mencionada.

Además, se realizan varias muestras sin alambre y después incorporando el mismo progresivamente, desde 1 unidad hasta 4 colocados como refuerzo en sentido transversal en 2 diferentes disposiciones, la primera en forma de gancho y la segunda como grapa, de tal manera se podrá obtener diferentes resultados. ***Palabras Clave:*** abrasión, absorción, tracción indirecta.

Abstract

This research project is carried out with paving stones manufactured in the city of Quito with the objective of evaluating and improving the mechanical properties of conventional hexagonal paving stones, to provide a solution to the problems of manufacturers, contractors and contractors who use paving stones in their various civil works, since they must comply with the quality standards established in the NTE-INEN 3040 CONCRETE PAVERS standard. REQUIREMENTS AND TEST METHODS – 2016. Because the traditional sample is made with simple concrete, the main objective is to develop a hexagonal paver incorporating strips of wire (annealed) of 20cm in length and 2.5mm in diameter in its internal cross section and that complies with the mechanical performance in accordance with the aforementioned technical standard.

In addition, several samples are made without wire and then incorporating it progressively, from 1 unit to 4 placed as reinforcement in a transverse direction in 2 different arrangements, the first in the form of a hook and the second as a staple, in such a way it will be possible to obtain different results

Keywords: abrasion, absorption, indirect traction.

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

[2] Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador

Autor para correspondencia: floachaminc@est.ups.edu.ec ; drodriguezs1@est.ups.edu.ec

1. Introducción

En la actualidad, el uso del adoquín hexagonal es de gran acogida tanto en el sector público como privado debido a su bajo costo, facilidad de fabricación e instalación, motivo por el cual forman parte de la estructura vial de zonas urbanas y rurales del país; de tal manera, "el control de calidad de los materiales de construcción se realiza con base en la verificación de algunas características físico-mecánicas, las cuales son especificadas en las normas de producto" [1]. Es decir, que los fabricantes deben cumplir los estándares de calidad establecidos en la normativa "NTE-INEN 3040 ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO – 2016" [2]

El cumplimento de dicha norma que rige la calidad del adoquín hexagonal en el Ecuador es de suma importancia debido a que, durante la vida útil de estos, se aplican cargas vehiculares y/o peatonales de manera permanente. En este contexto y con la finalidad de cumplir con la norma, mantener la calidad y mejorar su durabilidad, se incorporará tiras de alambre (recocido) de 20cm de longitud y 2.5mm de diámetro en su sección interna transversal al adoquín para mejorar sus propiedades mecánicas.

"Intuitivamente se podría esperar que al mejorar las diferentes características mecánicas de los adoquines se obtendrá mayor resistencia" [3]cumpliendo así con los resultados que indica la norma que son: "resistencia a la tracción indirecta debe ser superior o igual a 3,6 Mpa y ningún valor individual debe ser inferior a 2,9 Mpa" [2], al momento de realizar esta modificación se obtendrán diferentes resultados; según Angarita y Lizarazo [1], al momento que se añade acero a los adoquines, el resultado será menor capacidad de absorción de agua y, consecuentemente, esto hará que sus propiedades mecánicas sean mejores.

La fabricación de adoquines en el Ecuador es de manera artesanal y pocas empresas mantienen maquinas industriales cumpliendo con la norma NTE INEN 1488 [4]. Donde se refiere a los requisitos de los adoquines según su usabilidad.

Las agrupaciones de adoquines hexagonales conforman la capa superficial de la estructura vial de los pavimentos articulados en varias carreteras del país, por esta razón, los constructores que trabajan tanto pública como privadamente deben mejorar sus ofertas para ganar los concursos, garantizando la calidad de los diversos materiales, con la premisa que de estos depende la vida útil, de la vía como tal.

1.1 Objetivo General

Desarrollar un adoquín hexagonal, incorporando tiras de alambre (recocido) de 20cm de longitud y 2.5mm de diámetro en su sección interna transversal, que cumpla con las prestaciones mecánicas acordes a la norma NTE INEN 3040 [2]

1.2 Objetivos Específicos

Diseñar el hormigón constitutivo de los adoquines y elaborar varias muestras de este, incorporando tiras de alambre en dos diferentes patrones en la sección transversal interna, para comparar las propiedades mecánicas con el adoquín hexagonal convencional.

Determinar el desempeño de las muestras de adoquines (convencional y modificados con alambre) a los 28 días, mediante la prueba de tracción indirecta, con base a la NTE INEN 3040 [2]

Analizar y comparar los resultados de los ensayos de las muestras, para comprobar si las propiedades solicitadas en la norma se cumplen y establecer aportaciones de la modificación.

2. Materiales y Métodos

2.1 Justificación

Dentro de nuestro país existen diferentes proyectos viales que usan adoquin hexagonal, esto debido a su bajo costo, facilidad de instalación y mantenimiento, sin embargo, se genera la duda si cumplen o no con las diferentes especificaciones técnicas.

Las entidades contratantes y reguladoras como lo serian el MTOP(Ministerio de Transporte y Obras Públicas) y los respectivos municipios muchas veces no realizan un debido control respecto a los ensayos de tracción indirecta, abrasión y absorción

que se encuentran en la norma NTE-INEN 3040 – 2016 [2], dentro de algunas ofertas revisadas se encuentra que solo se centran en el ensayo de compresion que esta regulado bajo la norma NTE-INEN 1485 [5].

2.2 Muestra

Los especímenes con los que se realiza la investigación son realizados con la colaboración de la fábrica de adoquines PREFABRICADOS CR SOLUTIONS; es decir, que se tiene a disponibilidad el espacio físico y maquinaria para modificar los componentes de acuerdo a las necesidades del proyecto.

La norma indica que por cada 1000 m^2 se debe tomar al azar:

Tabla 1. Tipo de ensayo y cantidad de muestras

Tipo de ensayo	# de adoquines a ensayar
Resistencia a la tracción indirecta	8
Resistencia a la abrasión	3
Resistencia climática	3

De esta manera elegimos como muestra patrón un total de 15 adoquines adicionales a los que se fabricaran de acuerdo a las necesidades, esto con el fin de poder correlacionar con los especimenes modificados.

2.3 Equipos

Los equipos utilizados en la investigación son técnicamente profesionales, debidamente calibrados y utilizados bajo la tutoría de personal altamente capacitado, respecto a los materiales los mismos han sido extraídos de canteras certificadas y así mismo técnicamente evaluados en laboratorio siguiendo el uso correcto de las normas para su uso

2.3.1 Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta

- Piezas de compresión
- Adoquín
- Soportes rígidos

La norma nos indica NTE-INEN 3040 [2]: "La máquina de ensayo es una prensa hidráulica que debe tener una escala con una precisión de ± 3 % sobre el rango previsto de las cargas de ensayo y debe ser capaz de incrementar la carga a la velocidad especificada. Debe estar equipada con un dispositivo compuesto de dos soportes rígidos cuya superficie de contacto tenga un radio de (75 ± 5) mm. Las dos piezas de compresión deben ser de (15 ± 1) mm de ancho (b), con un espesor de (4 ± 1) mm (a) y al menos 10 mm más largo que el plano de fractura previsto."

Figura 1. Prensa hidráulica para ensayos de resistencia de materiales

2.3.2 Resistencia al desgaste por abrasión

- Máquina de desgaste por rueda ancha
- Calibrador pie de rey
- Adoquines
- Material Abrasivo

De acuerdo con la norma NTE-INEN 3040 [2] se realiza la prueba de la resistencia a la abrasión o también conocida como prueba de resistencia al desgaste, la resistencia al desgaste por abrasión en adoquines de concreto (Método rueda ancha) permite determinar en el adoquin la longitud de cuerda de la huella, es decir el desgaste de este.

Figura 2. Máquina ensayo de desgaste método rueda ancha

2.3.2 Resistencia climática

- Agua Potable
- Estufa de secado
- Recipiente de base plana
- Balanza en gramos con precisión de 0.1%
- Cepillo duro
- Tela

De acuerdo con sus características "Los adoquines deben cumplir con un índice de absorción inferior o igual a 6 %. Este índice de absorción se lo calcula entre la diferencia de la masa de la probeta saturada y la masa final de la probeta seca, dividida para esta última, y multiplicada por 100 para ser expresada en porcentaje." [2]

2.4 Materiales

Los materiales han sido adquiridos de empresas que cumplen con las normativas y así mismo extraídos de canteras certificadas, técnicamente evaluadas en laboratorio, siguiendo el uso correcto de las normas técnicas para su uso.

La muestra se elaboró con materiales de calidad cuya procedencia son:

1.- Cemento de la Unión Cementera Nacional (UCEM).
2.- Agregado pétreo(arena) de la cantera de Pintag.
3.- Agua.
4.- Alambre recocido de la fábrica ADELCA.

2.4.1 Cemento.

Material cementante de gran importancia en la elaboración de la muestra puesto que aporta a la resistencia de forma directa, en este caso se utilizó el cemento industrial HE de UCEM, que cumple con la norma NTE INEN 2380 E ISO 9001.

Figura 3. Cemento HE Chimborazo (UCEM)

2.4.2 Arena

Agregado petreo proveniente de las canteras de las elevaciones de la parroquia de Pintag que fuerón formadas de antiguas erupciones del volcán Antisana, que cuenta con propiedades adecuadas sin contaminacion, que forma parte de la muestra ocupando espacio volumetrico cuyas propiedades cumplen con la norma MOP-001-F-2002.

Figura 4. Arena de Pintag

2.4.3 Agua

Liquido sin impurezas que aporte buenas propiedades a la mezcla y consecuentemente a la resistencia de la muestra.

2.4.4 Alambre recocido

Alambre virgen sin ningún tipo de recubrimiento de 2.5 mm utilizado en el interior de la muestra como refuerzo transversal, procedente de ADELCA.

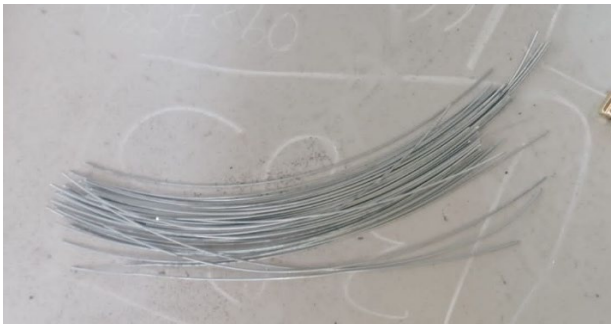


Figura 5. Alambre recocido ADELCA

2.5 Metodología

Se realizó una investigación de tipo experimental, "la investigación experimental se caracteriza por la manipulación intencionada de la variable independiente y el análisis de su impacto sobre una variable dependiente" [6]. Por lo cual en este proyecto se realizó diferentes muestras de especímenes para poder analizar y comparar los resultados.

Las técnicas que se utilizaron para este proyecto de investigación son análisis documental, causal-comparativa, observación y revisión de la norma vigente. Tomando como base y referencia, investigaciones previas con diferentes incorporaciones de fibras y materiales.

Se aplico el método analítico-sintético, el cual se fundamenta en "la descomposición de un todo en sus elementos constitutivos para proceder a su comprensión y rearticulación" [7]. Por lo cual se fabricaron adoquines convencionales basados en la norma vigente NTE-INEN 3040 [2] y a la par con la incorporación de tiras de alambre recocido de 20cm de longitud de 2.5mm de diámetro.

Es importante hacer mención que existen otras normas que regulan las especificaciones mínimas que se debe cumplir para los diferentes ensayos en el caso de Europa podemos hablar de la norma británica BS 6717 2001 REQUIREMENTS AND TEST METHODS [8] la cual nos sirve como una referencia de nuestra propia norma.

Se desarrolla el adoquín de acuerdo a los requisitos de sus componentes, recomendaciones de fabricación, almacenamiento, dimensiones, tolerancias y resistencia según el tipo de uso con las especificaciones de la norma vigente NTE-INEN 1488 [4] y los ensayos de desgaste por abrasión, absorción y tracción indirecta dde acuerdo a la norma NTE-INEN 3040 [2] y de esta manera obtener las propiedades mecánicas de las muestras.

2.5.1 Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta

Este ensayo de laboratorio consiste en aplicar carga progresiva y constante al adoquín modificado con tiras de acero, de esta manera simula el peso de algún vehículo y su reacción ante dicha carga, la norma NTE-INEN 3040 [2] especifica que, "La resistencia característica a la tracción indirecta debe ser igual o mayor a 3,6 MPa. Ningún adoquín debe tener una resistencia a la tracción indirecta menor que 2,9 MPa" [2].

Con los resultados obtenidos de este ensayo se puede tener el criterio para poder modificar la dosificación al momento de la fabricación y mejorar sus propiedades mecánicas.

Figura 6. Ensayo de tracción indirecta

2.5.2. Ensayo de Resistencia al Desgaste por Abrasión

De acuerdo con la norma NTE-INEN 3040 [2] se realiza la prueba de la resistencia a la abrasión o también conocida como prueba de resistencia al desgaste, esta permite determinar la longitud de cuerda de la huella creada por la rueda ancha.

Para el ensayo de desgaste se ocupó 3 muestras como indica la norma con el objetivo de obtener seguridad en los resultados.

Figura 7. Ensayo de abrasión

2.5.3 Ensayo de Resistencia Climática

Este ensayo se lo realiza para conocer qué cantidad de agua es capaz de contener el adoquín se encuentra en la norma NTE-INEN 3040 [2].

Se procede a pesar las probetas secas y posteriormente se sumerge a los especímenes en agua potable a una temperatura de (20 ± 5) °C, una vez realizado este proceso se los saca para llevarlos al horno a un temperatura de (105 ± 5) °C hasta que alcance la masa constante [2], ambos procesos deben ser mínimo por 3 días, posteriormente se deja que se enfríen para de ahí proceder a pesarlas, "cuando la variación de peso, entre dos medidas consecutivas, es inferior al 0,1 % en un periodo de 24 horas, se considera que se ha logrado una masa constante, El índice de absorción de agua se expresa relacionando la diferencia del peso de la probeta saturada menos el peso de la probeta seca contra el peso de la probeta seca, expresado en porcentaje." [2].

Figura 8. Ensayo de índice de absorción de agua

Una vez mencionados los diferentes ensayos para cumplir con los objetivos propuestos se realizará el siguiente proceso, dividido en 2 fases.

2.5.4. Fase Investigativa.

Se realizó un análisis y revisión documental que tenga relación con esta investigación, esto ayudó a tener una importante tónica de los posibles procesos y resultados obtuvieron.

Se verifico tanto la norma vigente como la antigua, para de acuerdo con esto comprender los cambios y adecuaciones que se han realizado en los últimos años, sobre todo en el tema de dosificaciones y valores que deben cumplir.

Se obtuvo las propiedades físicas del agregado a ser utilizado en la composición del adoquín proveniente de la mina de Pintag y se realizó el control de calidad del agregado mediante el ensayo granulométrico y contenido orgánico(colorimetría) en los laboratorios.

2.5.5 Fase de producción y ensayo de ejemplares.

El adoquín Hexagonal con incorporación de tiras de alambre se lo realizó con la dosificación base de la fábrica CR SOLUTIONS, con medidas longitudinales y transversales en planta de 22cmx24cm respectivamente, con una altura de 8cm cuya composición es de material pétreo rojo (arena, ripio) extraído de las minas de Pintag, cemento industrial marca Chimborazo, agua, alambre de acero recocido de 2.5mm con una longitud de 20cm. Además, una maquina vibro-

compactadora, una mezcladora, coches, palas, montacargas y tableros.

De esta manera se procedió una vez engrasada y encendida la maquinaria a vertir en la olla giratoria el material pétreo, cemento y agua, manteniendo un intervalo de mezclado de 5 minutos con el fin de homogenizar la mezcla, a continuación, se procede a incorporar el material mezclado en la maquina vibro-compactadora en un porcentaje de ¼ de la altura total del adoquín.

Figura 9. Máquina mezcladora de materiales

Figura 10. Maquina vibro-compactadora

Se coloca las tiras de Alambre recocido de 20cm de longitud y 2.5mm de diámetro con una resistencia a la tensión de 35 kg/mm^2 en proporciones experimentales para después incrementar la mezcla hasta alcanzar la altura de 8cm para realizar el vibrado y compactado, se retira el tablero con los adoquines en el coche, son transportados al área de curado por 28 días para posteriormente realizar los ensayos respectivos en los laboratorios.

El alambre se colocará en intervalos de 1, empezando por 1 tira de alambre y terminando en 4, así:

Tabla 2. Cantidad de tiras de alambre y número de especímenes a ser experimentados

MUESTRAS A REALIZAR				
Cantidad	# tira de alambre	Identificación	Disposición del alambre	
24	0	PATRON	N/A	N/A
24	1	TL1		
24	2	TL2		
24	3	TL3		
24	4	TL4		

Figura 11. Colocación alambre recocido de 2.5mm

Los ensayos aplicados a la muestra se realizaron a los 28 días de fabricación, el ensayo de tracción indirecta se aplicó a las muestras elaboradas desde 1 alambre hasta 4 alambres registrando los valores de carga soportados por cada uno de ellos para determinar las diferentes resistencias.

Figura 12. Transporte de adoquines a laboratorio

3. Resultados y Discusión

3.1. Ensayo de materiales

3.1.1. Arena (agregado fino)

Con la finalidad de verificar la calidad del material pétreo (arena), así como también sus propiedades, se realizó ensayos a la muestra de arena con la que se realizó el adoquín hexagonal obteniendo los siguientes resultados:

3.1.1.1Ensayo de colorimetría

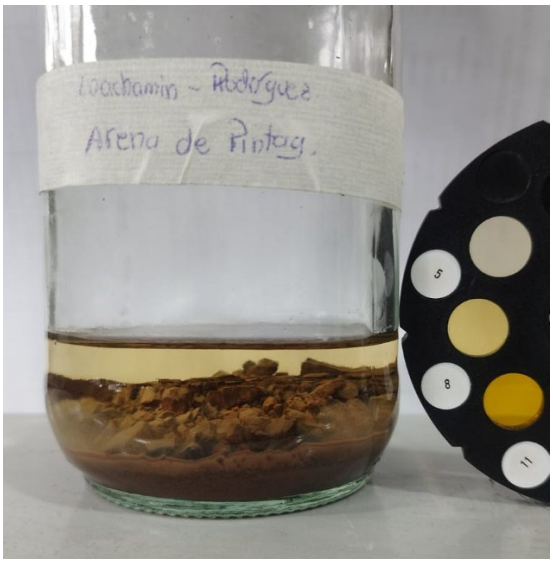


Figura 13. Ensayo Colorimetría

Una vez obtenidos los resultados visuales del ensayo se verifica que el color de la muestra corresponde al color normalizado número 8 de la escala de Gardner, esto quiere decir que el número de orden en el comparador es 2 [9], concluyendo que la arena contiene árido fino en cantidades bajas de impurezas orgánicas y no influyen en las propiedades del mortero u hormigon.

Tabla 3. Determinación colorimetría

Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3(normalizado de referencia)
14	4
16	5

3.1.1.2. Ensayo propiedades mecánicas

El material proveniente de la cantera de Pintag se conoce que es de muy buena calidad, se procede a realizar los ensayos para comprobar su veracidad

Tabla 4. Calculo peso especifico

PESO ESPECÍFICO		
1	Masa de picnómetro + arena sss (g)	654,09
2	Masa de picnómetro (g)	152,86
3	Masa de arena en sss (g)	501,23
4	Masa de picnómetro calibrado (g)	652,5
5	Masa de picnómetro + arena sss + agua (g)	945,15
6	Volumen desalojado (g)	208,58
7	Peso específico (g/cm3)	2,4

Tabla 5. Capacidad de absorción

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		
1	Masa de arena EN SSS (g) + recipiente (g)	804,78
2	Masa de arena seca + recipiente (g)	784,35
3	Masa de recipiente (g)	296,63
4	Masa de agua (g)	20,43
5	Masa de arena seca (g)	487,72
6	Capacidad de absorción (%)	4,19

3.1.1.3 Ensayo de granulometría

Tabla 6. Granulometría

GRANULOMETRIA					
MASA INICIAL(g) =		579,21			
Tamiz	Retenido		%	%	Limites MOP
	Parcial	Acumulado	Retenido	Pasa	No. 4
1/2"	0,00	0,00	0	100	-
3/8"	0,00	0,00	0	100	100,00
No. 4	109,90	109,90	19	81	80-100
No. 8	86,76	196,66	34	66	65-100
No. 16	127,25	323,91	56	44	40-80
No. 30	92,54	416,45	72	28	25-65
No. 50	98,33	514,78	89	11	7 a 40
No. 100	40,49	555,27	96	4	3 a 20
No. 200	10,99	566,26	98,00	2	2 a 10
Bandeja	12,15	578,41	100,00	0	

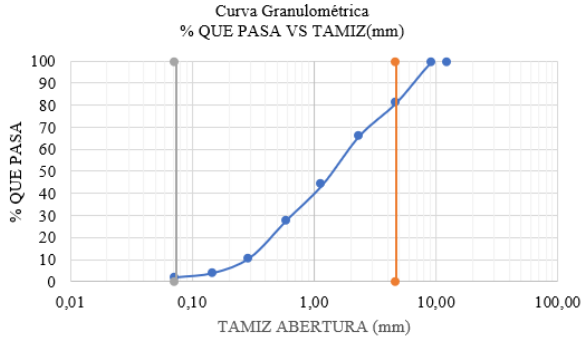


Figura 14. Curva Granulométrica

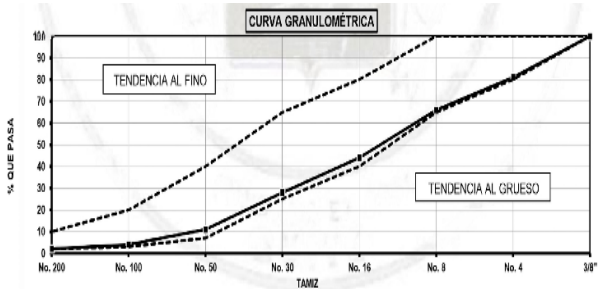


Figura 15. Curva Granulométrica con límites aceptables

Una vez realizado el ensayo de granulometría se verifica que la arena cumple con los rangos de porcentaje de agregado que pasa por los diferentes tamices para poder ser aplicado en la elaboración de hormigón.

3.2 Ensayos de adoquines

3.2.1 Ensayo de tracción indirecta sin la incorporación del alambre

Tabla 7. Resultados ensayo tracción indirecta sin alambres

SIN ALAMBRE				
No.	CARGA MÁXIMA (N)	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9 (MPa)	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250 (N/mm)	RESIS. CARAC. (fk)≥3,6 (Mpa)
1	133700	4,4	557	
2	121300	4,0	505	
3	129600	4,3	538	
4	124200	4,1	518	
5	131300	4,3	547	3,9
6	122000	4,0	508	
7	120900	4,0	504	
8	128500	4,3	538	
PROMEDIOS		4,2	527	

3.2.2 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta con disposición del alambre tipo gancho

Incorporando 1 alambre tipo gancho

Tabla 8. Resultados ensayo tracción indirecta con 1 alambre

1 ALAMBRE				
No.	CARGA MÁXIMA (N)	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9 (MPa)	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250 (N/mm)	RESIS. CARAC. (fk)≥3,6 (Mpa)
1	132300	4,4	554	
2	128600	4,3	538	
3	126700	4,1	526	
4	135300	4,4	561	
5	124900	4,1	520	4,0
6	125100	4,1	523	
7	122600	4,0	509	
8	131400	4,4	548	
PROMEDIOS		4,2	535	

Incorporando 2 alambres tipo gancho

Tabla 9. Resultados ensayo tracción indirecta con 2 alambres

2 ALAMBRES				
No.	CARGA MÁXIMA (N)	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9 (MPa)	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250 (N/mm)	RESIS. CARAC. (fk)≥3,6 (Mpa)
1	138500	4,6	577	3,9
2	131600	4,3	546	
3	138400	4,5	579	
4	134600	4,5	563	
5	128900	4,2	539	
6	133400	4,4	554	
7	137500	4,5	575	
8	125200	4,1	524	
PROMEDIOS		4,4	557	

Incorporando 3 alambres tipo gancho

Tabla 10. Resultados ensayo tracción indirecta con 3 alambres

3 ALAMBRES				
No.	CARGA MÁXIMA (N)	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9 (MPa)	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250 (N/mm)	RESIS. CARAC. (fk)≥3,6 (Mpa)
1	145500	4,7	604	3,8
2	137800	4,5	577	
3	140200	4,5	582	
4	141300	4,6	586	
5	134800	4,4	564	
6	145000	4,7	604	
7	144900	4,7	601	
8	135700	4,5	563	
PROMEDIOS		4,6	585	

Incorporando 4 alambres tipo gancho

Tabla 11. Resultados ensayo tracción indirecta con 4 alambres

4 ALAMBRES				
No.	CARGA MÁXIMA (N)	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9 (MPa)	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250 (N/mm)	RESIS. CARAC. (fk) ≥ 3,6 (Mpa)
1	152600	5,0	633	3,6
2	152700	5,0	634	
3	151800	5,0	630	
4	145900	4,8	608	
5	142300	4,7	595	
6	151400	5,0	633	
7	148900	4,8	618	
8	139200	4,6	580	
PROMEDIOS		4,9	616	

3.2.3 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta con disposición del alambre tipo grapa

Incorporando 1 alambre tipo grapa

Tabla 12. Resultados ensayo tracción indirecta con 1 alambre

1 ALAMBRE				
No.	CARGA MÁXIMA (N)	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9 (MPa)	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250 (N/mm)	RESIS. CARAC. (fk) ≥ 3,6 (Mpa)
1	128500	4,3	535	3,9
2	120300	3,9	499	
3	128700	4,2	536	
4	126200	4,2	528	
5	132600	4,4	555	
6	122800	4,0	510	
7	124100	4,0	515	
8	127400	4,2	531	
PROMEDIOS		4,1	526	

Incorporando 2 alambres tipo grapa

Tabla 13. Resultados ensayo tracción indirecta con 2 alambres

2 ALAMBRES				
No.	CARGA MÁXIMA (N)	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9 (MPa)	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250 (N/mm)	RESIS. CARAC. (fk) ≥ 3,6 (Mpa)
1	132200	4,3	549	4,0
2	133600	4,4	557	
3	132000	4,3	552	
4	137500	4,5	571	
5	135100	4,4	563	
6	124200	4,1	518	
7	132400	4,4	554	
8	135000	4,5	563	
PROMEDIOS		4,4	553	

Incorporando 3 alambres tipo grapa

Tabla 14. Resultados ensayo tracción indirecta con 3 alambres

3 ALAMBRES				
No.	CARGA MÁXIMA (N)	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9 (MPa)	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250 (N/mm)	RESIS. CARAC. (fk) ≥ 3,6 (Mpa)
1	141300	4,8	591	3,9
2	136600	4,5	567	
3	138700	4,5	578	
4	137400	4,5	573	
5	136900	4,5	570	
6	134000	4,4	561	
7	139200	4,6	580	
8	132600	4,4	553	
PROMEDIOS		4,5	572	

Incorporando 4 alambres tipo grapa

Tabla 15. Resultados ensayo tracción indirecta con 4 alambres

4 ALAMBRES				
No.	CARGA MÁXIMA (N)	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9 (MPa)	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250 (N/mm)	RESIS. CARAC. (fk) ≥ 3,6 (Mpa)
1	151200	5,0	630	3,6
2	154700	5,1	645	
3	153900	5,0	639	
4	141300	4,7	591	
5	140000	4,6	583	
6	139200	4,6	582	
7	146600	4,8	611	
8	152900	5,0	637	
PROMEDIOS		4,8	615	

3.2.4 Resumen resultados promedio de ensayo a la resistencia a la tracción indirecta.

Tabla 16. Resumen resultados promedio resistencia a la tracción indirecta disposición tipo gancho

RESUMEN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA			
GANCHO			
PROMEDIOS ==>	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250	RESIS. CARAC. (fk) ≥ 3,6
# Tira de Alambre	(MPa)	(N/mm)	(Mpa)
0	4,2	526,8	3,9
1	4,2	534,9	4
2	4,4	557,2	3,9
3	4,6	585,1	3,8
4	4,9	616,4	3,6

Tabla 17. Resumen resultados promedio resistencia a la tracción indirecta disposición tipo grapa

RESUMEN DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA			
GRAPA			
PROMEDIOS ==>	TRACCIÓN INDIRECTA (fi) ≥ 2,9	CARGA TRACCIÓN INDIRECTA ≥ 250	RESIS. CARAC. (fk) ≥ 3,6
# Tira de Alambre	(MPa)	(N/mm)	(Mpa)
0	4,2	526,8	3,9
1	4,1	526	3,9
2	4,4	553	4
3	4,5	572	3,9
4	4,8	615	3,6

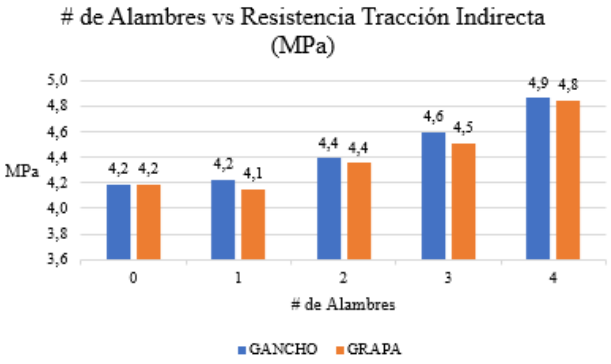


Figura 16. Resumen de resultados # de Alambres vs Resistencia a la tracción indirecta (MPa)

De acuerdo al resumen y grafico de resultados en la disposición del alambre en gancho como grapa se puede apreciar que cumple con la norma indicando que la resistencia a la tracción indirecta debe ser ≥ 2,9 Mpa, obteniendo en la primera disposición valores que van desde los 4,2 Mpa hasta los 4,9 Mpa, mientras que en la disposición del alambre como grapa los valores van desde los 4,1 Mpa hasta los 4,8 Mpa, de acuerdo a estos valores se podría aseverar que la disposición de los mismos si afecta en 0,1 Mpa a los resultados finales.

Por otro lado, correlacionando el número de tiras de alambre con los valores de resistencia a la tracción directa se evidencia que un solo alambre no afecta mayormente en los valores, pero a partir de la incorporación de 2 tiras de alambres se evidencia un aumento de la resistencia a la tracción indirecta promedio de 0,25 Mpa consecuentemente aumentan los valores de carga de tracción indirecta y la resistencia característica, como se muestra gráficamente a continuación.

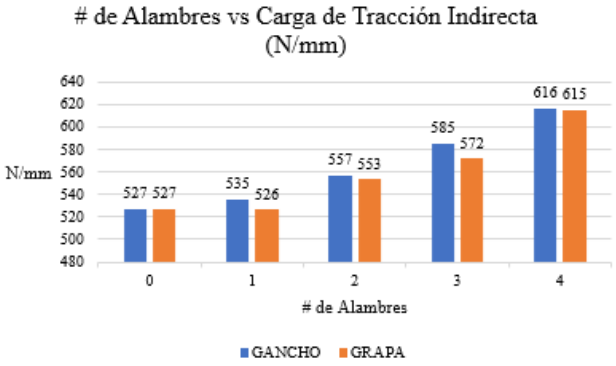


Figura 17. Resumen de resultados # de Alambres vs Carga de Tracción Indirecta (MPa)

Cumplen ambas disposiciones con la carga de tracción indirecta que debe ser ≥ 250 N/mm que nos indica la norma.

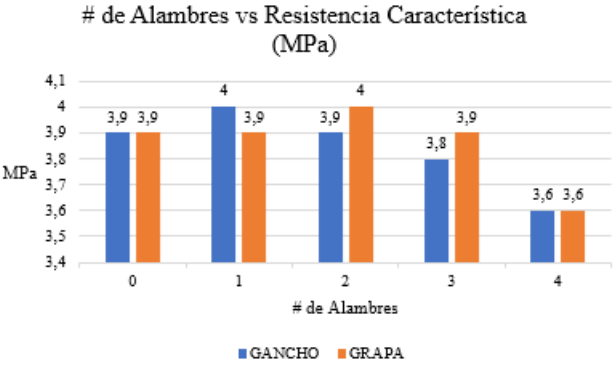


Figura 18. Resumen de resultados # de Alambres vs Resistencia característica (MPa)

En ambas disposiciones cumple con los valores de la resistencia característica que es ≥ 3,6 Mpa.

3.2.5 Ensayo de resistencia a la abrasión

Tabla 18. Resultados ensayo resistencia al desgaste

No.	DIMENSIÓNES DE LA HUELLA	RESISTENCIA AL DESGASTE
	(mm)	(mm)
1	21,0	20,0
2	23,3	20,0
3	23,3	20,0

Los resultados del ensayo de desgaste o también conocido como abrasión cumplen con lo dispuesto en la norma NTE INEN 3040 [2] todas las probetas tienen longitud de cuerda de la huella ≤ 25 mm

3.2.6 Ensayo de resistencia climática

Tabla 19. Resultados ensayo resistencia climatica

PROMEDIO ==>	MASA DE LA PROBETA SATURADA	MASA DE LA PROBETA SECA	INDICE DE ABSOR.
No.	(g)	(g)	(%)
1	4037,9	3837,8	5,21
2	4204,5	3987,5	5,44
3	4242,2	4003	5,98

Los resultados respecto al ensayo de absorción o también conocido como resistencia climática son satisfactorios ya que los resultados reflejan que todas las probetas tienen un porcentaje ≤ 6%, que es lo indica la norma NTE INEN 3040 [2]

4. Conclusiones

La incorporacion de tiras de alambre a la muestra de adoquin durante el proceso de fabricacion, mejora la capacidad de soportar la resistencia a la traccion indirecta de manera proporcional al numero de tiras incorpordas.

Se concluye que incorporar tiras de alambre mediante la norma NTE INEN 3040 [2] mejora en 0,25 Mpa a partir de la incorporación de 2 o mas tiras, adicional a esto la disposición del alambre en forma de gancho aumento en 0,1 Mpa, de acuerdo a lo antes mencionado si se puede afirmar que las propiedades mecanicas de los adoquines convencionales mejoraron.

El uso correcto de las normas demuestra que se puede llegar alcanzar los diferentes resultados que exigen las entidades contratantes como son el MTOP y los respectivos municipios, esto con la finalidad de que las vias adoquinadas del pais tengan una mejor durabilidad y trabajabilidad.

La incorporación de tiras de alambre en adoquines tradicionales artesanales aporta resistencia a la traccion indirecta en las fibras inferiores de la muestra, donde se produce efectos de traccion indirecta debido a la estructura del suelo, sin embargo no se observa cambios en los ensayos de absorcion y desgaste de adoquines.

Se incremento la resistencia y carga a la traccion indirecta del lote fabricado de manera homogenea, logrando cumplir con la norma NTE INEN 3040 [2], de un adoquin artesanal sin modificar la dosificacion en planta de agregados, cemento y agua.

Referencias

[1] D. Angarita y O. Lizarazo, «ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRA DE ACERO DE LLANTAS RECICLADAS,» Bogotá, Universidad de La Salle, 2018.

[2] NTE-INEN-3040, «ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO NTE INEN 3040,» Quito, 2016.

[3] J. Arango, «ADOQUINES DE CONCRETO: PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y SUS CORRELACIONES,» *TECNO LÓGICAS,* nº 16, p. 123, 2006.

[4] NTE-INEN-1488, «ADOQUINES REQUISITOS,» Quito, 1986.

[5] NTE-INEN-1485, «ADOQUINES DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN,» Quito, 1986.

[6] C. Galarza, «DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL,» *CienciAmérica,* vol. 10, nº 1, 2021.

[7] J. D. Lopera Echavarria, C. A. Ramírez Gómez y Z. Aristazábal, «EL MÉTODO ANALÍTICO COMO MÉTODO NATURAL,» *Nómadas,* vol. 25, nº 1, 2010.

[8] BS-6717-2001-Standard-British, «Precast unreinforced concrete paving blocks-Requirements and Test Methods,» 2001.

[9] NTE-INEN-855, «ÁRIDOS DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS,» Quito, 2010.