



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON  
PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

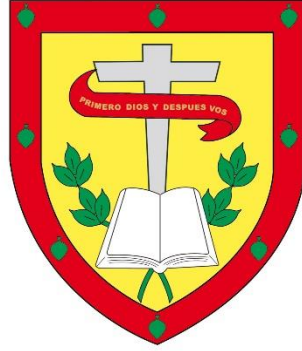
**AUTOR: TEODORO NATANAEL PATIÑO TENESACA**

**DIRECTOR: ING. JUAN SEBASTIÁN MALDONADO NOBOA**

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON**

**PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: TEODORO NATANAEL PATIÑO TENESACA**

**DIRECTOR: ING. JUAN SEBASTIÁN MALDONADO NOBOA**

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Teodoro Natanael Patiño Tenesaca portador de la cédula de ciudadanía N.º 0302656202. Declaro ser el autor de la obra: “PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que la obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 26 de agosto de 2022




.....  
Teodoro Natanael Patiño Tenesaca

0302656202

## CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Juan Sebastián Maldonado Noboa, en calidad de tutor del trabajo de titulación denominado “PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO” certifico que el presente trabajo fue desarrollado por TEODORO NATANAEL PATIÑO TENESACA estudiante de la carrera de ingeniería civil de la Unidad Académica de Ingeniería Industria y Construcción, bajo la supervisión del suscrito, el trabajo reúne los requerimientos necesarios para su presentación y sustentación ante el tribunal que se disponga.

Atentamente,



---

**Ing. Msc. Juan Sebastián Maldonado Noboa**  
DIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo de titulación a mi padre Dario Patiño, a mi madre Rosita Tenesaca, a mis hermanos Fanny y Dario por haberme brindado todo el amor y apoyo incondicional durante mi día a día. A mis abuelitos Luis Antonio Patiño y María del Carmen Jimenes al demostrarme amor y ternura, sabiendo que todos sus recuerdos perduraran por la eternidad.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Mis sinceros agradecimientos a todos que estuvieron presentes en este tiempo de estudio, en especial al Ing. Msc. Juan Maldonado Noboa mi tutor de trabajo de titulación quien ha guiado con mucho profesionalismo; también al Ing. Sebastián Encalado y al Ing. Carlos Ochoa por brindarme todo su apoyo y conocimientos durante todo el proceso de investigación.*

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad analizar las propiedades mecánicas en función a la resistencia a la tracción indirecta y compresión en muestras de adoquines convencionales y agregando diferentes porcentajes de plástico reciclado, la investigación tiene un enfoque explicativo-experimental. El tamaño de la muestra de la investigación es de 192 adoquines (48 adoquines tanto para el 0%, 1%, 3% y 5% de plástico reciclado). Se conoce que el plástico fuera de su uso es perjudicial tanto para la salud como para el medio ambiente, debido al uso irracional que se ha dado durante muchos años. Este proyecto pretende minimizar el daño ocasionado por los mismos, utilizando este como material en la elaboración de adoquines de hormigón. En función a los objetivos planteados en el proyecto se puede inferir que es factible, de acuerdo a los datos analizados, utilizar hasta un 3% de plástico reciclado en una mezcla de hormigón para adoquines, siempre y cuando estas tengan un control adecuado de calidad, dado que, el plástico implementado no afecta en un gran porcentaje a las propiedades mecánicas de los adoquines al ser sometidas a los ensayos de tracción indirecta y compresión. Además, los adoquines con mayor porcentaje de plástico reciclado se vuelven más livianos, al mismo tiempo ayudara a disminuir los efectos negativos que generan los plásticos en el medio ambiente.

*Palabras clave:* adoquines, resistencia, plástico, tracción, compresión.

## ABSTRACT

This research aims to analyze the mechanical properties of indirect tensile and compressive strength samples of conventional pavers with the addition of different percentages of recycled plastic. The research has an explanatory-experimental approach. The research sample is made up of 192 pavers (48 pavers for 0%, 1%, 3% and 5% recycled plastic). Plastic out of use is known to be harmful to health and the environment due to its irrational use over many years. This project aims to minimize the damage it causes, using it as a material in producing concrete pavers. Based on the project's objectives, it can be inferred that it is feasible, according to the data analyzed, to use up to 3% recycled plastic in a concrete mix for pavers, as long as they have adequate quality control. The implemented plastic does not affect the mechanical properties of the pavers to a great extent when tested in indirect tensile and compression tests. In addition, pavers with a higher percentage of recycled plastic become lighter and, at the same time, help to reduce the adverse effects of plastics on the environment.

*Keywords:* pavers, strength, plastic, tensile, compression.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General .....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.4. Justificación. ....	4
<b>CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Historia.....	5
2.2. Antecedentes del pavimento .....	6
2.3. Adoquineras en el austro ecuatoriano .....	8
2.4. Estudios similares .....	14
2.5. Control de calidad para pavimentos articulados .....	16
2.5.1. Requisitos de calidad del adoquín.....	17
2.5.2. Arena .....	19
2.6. Uso ocupacional de los pavimentos articulados .....	20
2.7. Ventajas del pavimento articulado.....	23
2.8. Fallas del pavimento articulado .....	24
2.9. Tipos de plásticos.....	27
2.10. Fabricación de adoquín .....	28
2.10.1. Dosificación.....	29
2.10.2. Mezclado .....	30
2.10.3. Fraguado .....	30
2.10.4. Curado .....	31
2.10.5. Secado.....	31
2.11. Métodos de fabricación de adoquines.....	31
2.12. Método de fabricación adoptado para el estudio (semiautomático) .....	32
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....</b>	<b>33</b>
3.1. Diseño de la investigación. ....	33
3.1.1. Método de la investigación. ....	33
3.1.2. Tipo de la investigación .....	33
3.1.3. Nivel investigativo. ....	33
3.1.4. Diseño investigativo.....	34

3.2.	VARIABLES DE ESTUDIO .....	34
3.3.	MUESTRA Y POBLACIÓN .....	34
3.4.	INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	35
3.5.	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE INFORMACIÓN RECOLECTADA.....	36
3.6.	PROCEDIMIENTO.....	37
3.6.1.	Producción de plástico reciclado.....	37
3.6.2.	Diseño de hormigón empleada.....	38
3.6.3.	Fabricación de muestras de adoquines de hormigón.....	38
3.6.4.	Ensayo de adoquines de concreto.....	39
3.7.	Aspectos éticos.....	39
<b>CAPÍTULO 4. ENSAYO DE AGREGADOS PÉTREOS .....</b>		<b>41</b>
4.1.	Ensayo de materiales pétreos para la fabricación de muestras de adoquines ...	41
4.1.1.	Porcentaje de humedad.....	41
4.1.2.	Índices de plasticidad.....	42
4.1.3.	Granulometría de los agregados.....	43
4.1.4.	Ensayo de degradación del agregado .....	48
4.1.5.	Ensayo para determinar el contenido de materia orgánica en el agregado. ..	51
4.1.6.	Gravedad específica .....	53
4.1.7.	Pesos volumétricos sueltos y compactados.....	58
4.2.	Dosificaciones de hormigón .....	61
4.2.1.	Mezcla inicial.....	61
4.2.2.	Mezclas para una mezcla de hormigón de un $f'c=400 \text{ kg/cm}^2$ .....	61
<b>CAPÍTULO 5. ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA ADOQUINES CONVENCIONALES Y ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO.....</b>		<b>66</b>
5.1.	Normas.....	66
5.2.	Equipos .....	67
5.3.	Toma de muestras .....	68
5.4.	Ensayo de laboratorio – Procedimiento .....	68
5.5.	Cálculos de resultados a compresión.....	68
5.6.	Resultado de las propiedades a compresión de adoquines.....	69
5.7.	Interpretación de información generada .....	82
<b>CAPÍTULO 6. ENSAYO A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ADOQUINES CONVENCIONALES Y ADOQUINES INCORPORADOS PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO .....</b>		<b>84</b>
6.1.	Normas.....	85

6.2.	Equipos .....	86
6.3.	Toma de muestras .....	87
6.4.	Ensayo de laboratorio – Procedimiento .....	87
6.5.	Cálculos de resultados del ensayo.....	88
6.6.	Resultado a la tracción indirecta en muestras de adoquines .....	89
6.7.	Interpretación de datos generados.....	102
7.1.	Resultados de ensayo a compresión.....	104
7.2.	Resultados de ensayo a tracción indirecta .....	105
7.3.	Análisis correlativo de las propiedades mecánicas compresión–tracción indirecta.....	105
7.4.	Evaluación y correlación comparativa de resultados.....	107
7.5.	Interpretación de resultados .....	109
<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>111</b>
8.1.	Conclusiones.....	111
8.2.	Recomendaciones .....	113
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>115</b>
<b>ANEXOS 1: TOLERANCIAS ADMISIBLES PARA ADOQUINES .....</b>		<b>118</b>
<b>ANEXOS 2: DESVIACIONES SOBRE PLANEIDAD Y CURVATURA PARA ADOQUINES.....</b>		<b>120</b>
<b>ANEXOS 3: ENSAYOS PARA EL ANÁLISIS DE MATERIALES .....</b>		<b>122</b>
<b>ANEXOS 4: ENSAYOS PARA EL ANÁLISIS DE MATERIALES SEGÚN LA INEN Y ASTM.....</b>		<b>124</b>
<b>ANEXOS 5: FACTOR DE CORRECCIÓN K PARA TRACCIÓN INDIRECTA. ....</b>		<b>126</b>
<b>ANEXOS 6: ENSAYOS DE LABORATORIO .....</b>		<b>128</b>
<b>ANEXOS 7: REGISTRO FOTOGRÁFICO.....</b>		<b>138</b>
<b>ANEXOS 8: LÁMINAS .....</b>		<b>152</b>

# CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

## 1.1. Introducción

El incremento en la producción de envases de plástico y sus dificultades a la hora de ser recicladas una vez completada su etapa, el cual conforma un problema ambiental que afecta a todo el planeta. Al implementar estos materiales induce a investigaciones como la presente, con la finalidad de resolver una problemática. Utilizar materiales reciclados en la ingeniería es una alternativa que ayuda a la contribución por parte del Estado para la recolección y uso de plásticos reciclados.

Los adoquines son elementos prefabricados mediante una mezcla de hormigón, estos constituyen una capa muy importante a la hora de realizar obras en pavimentos. Estos adoquines deben cumplir normas y características ideales para que los proyectos civiles sean exitosos a largo plazo para esto es necesario realizar estudios para determinar el control de calidad de los mismos.

Hoy en día se producen una variedad de adoquines. Según las normas, se determina tanto las propiedades tanto físicas de los materiales como mecánicas al ensayar muestras de adoquines, deben cumplir con rigurosidad para que estas puedan ser utilizadas en tanto en áreas peatonales como vehiculares, en las cuales se aplican diferentes tipos de cargas, así como, espacios de residencias, centros industriales o comerciales, ya sean públicos o privados.

En la actualidad utilizar pavimentos articulados ecológicos en zonas urbanas de una ciudad, nos brinda una visión versátil, al ser un pavimento amable con el medio ambiente, de tal manera se puede obtener usos ilimitados, optimizar recursos tanto en

mano de obra, maquinaria y mantenimiento; al tener un adecuado control de calidad estos pavimentos tendrán una mayor duración siendo un factor de ayuda para la viabilidad de proyectos a futuro.

La investigación describe las propiedades de los agregados pétreos, los cuales sirven para obtener una mezcla de hormigón óptima. El plástico en adoquines ayudará a dar una sustentabilidad ecológica; se evaluará las propiedades de estos adoquines modificados con plástico reciclado, para conocer su viabilidad y las características que podrían tener un beneficio para las construcciones civiles, siendo estas un producto sustentable en el ámbito ecológico y civil (Charro, 2012).

La finalidad del proyecto es evaluar los adoquines cuando son sometidos a ensayos a compresión y tracción indirecta, debido a que al tener complicaciones al realizar el ensayo a compresión sería óptimo correlacionar los ensayos de tracción indirecta- compresión. Esto se evaluaría en adoquines convencionales y en adoquines con diferentes porcentajes de plástico reciclado (HDPE Y PP).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Analizar las propiedades mecánicas en función a la resistencia a la tracción indirecta y compresión en muestras de adoquines convencionales y agregando diferentes porcentajes de plástico reciclado.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas de los materiales pétreos mediante ensayos de laboratorio cumpliendo con la normativa propuesta para un diseño óptimo de mezcla de hormigón.
- Conocer las propiedades mecánicas de adoquines convencionales y adoquines aplicando diferentes porcentajes de plástico reciclado, mediante el ensayo a la tracción indirecta y compresión de adoquines.
- Comparar las propiedades mecánicas tanto de adoquines convencionales como de adoquines al aplicar diferentes porcentajes de plástico reciclado (Polietileno de alta densidad y polipropileno).

### **1.3. Planteamiento del problema**

La aplicación de plástico reciclado para la elaboración de adoquines, tiene la capacidad de perfeccionar las propiedades mecánicas de las muestras. La adquisición o disponibilidad de conseguir estos materiales tienen un costo bajo y una resistencia alta. Durante varios años se ha intentado implementar materiales reciclados en la construcción, siendo esto un beneficio ecológico. De tal manera el uso de plástico reciclado en esta investigación se vincula a la iniciativa de implementar materiales reciclados en la construcción; en este caso siendo un material que mejore las propiedades mecánicas de los adoquines.

La implementación del plástico reciclado tiene un beneficio ambiental el cual busca un gran impacto ecológico-civil; debido a que existe una reincorporación de un material a la producción de un nuevo producto, dado que se disminuirá el gasto energético

que existe en la producción de materiales reciclados que son usadas en la mezcla de hormigón para adoquines.

#### **1.4. Justificación.**

El trabajo de investigación se efectúa con la finalidad de aplicar conceptos y conocimientos básicos para un diseño óptimo de hormigón para adoquines, buscando a través del material reciclado que la experimentación sea aplicada a tecnologías que optimicen su reutilización, siendo este un diseño ecológico, económico y resistente, en el cual se demostrará una mejorará en las propiedades mecánicas de los adoquines (Cabeza, Morillo, García, 2018).

En el marco para una conservación y desarrollo sostenible ambiental, la investigación beneficiará con soluciones, debido a que vivimos en una cultura de consumo y la sociedad necesita de más recursos naturales que satisfagan las necesidades. La mayor cantidad de plástico no pueden ser reutilizado; la reutilización de plástico reciclado es un aporte importante para la preservación del medio ambiente. Empieza la relevancia de la investigación, el cual analiza el comportamiento de plástico reciclado en una mezcla de hormigón para adoquines, en donde se reemplazará porcentajes de agregado fino dentro del diseño de la mezcla. Es recomendable utilizar plástico reciclado dado que reduce costos al producir la mezcla de hormigón, de tal forma el plástico generado en el país podrá ser reutilizado.

## CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. Historia

A través del tiempo, la necesidad de construir vías, puentes, caminos, etc., que comunicaran diferentes lugares, ha obligado a las personas a desarrollar nuevos materiales que se acoplen al tipo de terreno, estructura, así como a las solicitudes del tránsito que debían sostener. Es así como surgieron los adoquines, un tipo de piezas de mampostería, que de acuerdo con (Andrade, Quiroz, 2020) “su nombre deriva del árabe addukkán el cual significa “piedra escuadrada”.

Se estima que los adoquines fueron utilizados por primera vez hace aproximadamente 2500 años, periodo en el cual, fueron determinantes para facilitar el tránsito de animales de carga. Sin embargo, estos materiales no presentaban una forma concreta, es decir, variaban de forma y tamaño, lo cual repercutía directamente en la sensación de comodidad de quienes circulaban sobre ellos, por lo que, se optó finalmente por darles la forma cuadrada muy conocida hoy en día (Andrade, Quiroz, 2020).

A lo largo de la historia se han utilizado una gran variedad de adoquines como, adoquines de madera, cerámica, hormigón y de piedra. Los adoquines de piedra fueron los primeros en ser implementados fabricados de canto rodado, piedra pequeña redondeada colocada sobre una cama de arena y selladas con cal y arena.

La utilización de adoquines de madera se dio a mediados del siglo XIX, siendo esta una opción a los adoquines de piedra, reduciendo de tal manera el ruido de las ruedas y herraduras de los animales. Para sellar las juntas se utilizaba residuos bituminosos de aproximadamente 3mm. Evidentemente reducía el ruido, pero su superficie no duraba lo

esperado debido a la descomposición y cambios climáticos que sufría la madera. Al aparecer los neumáticos los adoquines de madera se discontinuaron.

De acuerdo con (Valbuena, 2021), diariamente cada persona utiliza aproximadamente 60 gramos de plástico, que en un mes sería más o menos 2 kilos de plástico desechado por cada individuo. En ese sentido, (Turpo, Virgo, 2021) mencionan que, en países como Perú, se generan 1170 toneladas cada año de residuos de plástico tipo PET y que de toda esa cantidad únicamente el 1.33% es recolectado de manera selectiva y recuperado, mientras que el 77% es recolectado informalmente y vendido a empresas recicladoras y el 21% restante no recibe ningún tratamiento, por lo que, se convierte en basura y termina contaminando el medio ambiente, al acumularse en ríos, alcantarillas, pozos, etc.

Por lo tanto, en los últimos años, gracias a la popularidad que ha adquirido el reciclaje y la conciencia ambiental y a que se ha incrementado el uso del adoquín, debido a sus características físicas y viabilidad en términos de precio y calidad, se han desarrollado una serie de investigaciones en las cuales se han fusionado estos dos materiales, los adoquines y el plástico reciclado. Las cuales buscan dar con un producto que sea capaz de competir con los adoquines tradicionales en términos de resistencia estructural, pero que ayuden al medioambiente sin necesidad de un incremento económico en su elaboración.

## **2.2. Antecedentes del pavimento**

Los pavimentos articulados datan hace aproximadamente 25 siglos, estos iniciaron para las vías y caminos romanos dotándolas de rapidez y duración a sus vías; empleaban bloques de piedra para obtener superficies lisas con la finalidad de brindar

comodidad y capas de rodaduras continuas. La técnica iba evolucionando de tal manera se obtenía mejores características en los adoquines.

Los romanos y cartagineses utilizaban piedras talladas para beneficiar a sus vías de rapidez, duración y superficies lisas. Estas vías perpetúan hasta la fecha, siendo una muestra de calidad en la ejecución de trabajos y viabilidad en su proceso constructivo. En la época de Napoleón se construyeron varias avenidas empleando este tipo de pavimento. Continuo en Francia empleando carreteras de pavés. El automóvil fue una pieza fundamental para el crecimiento de vías.

Las apariciones de los pavimentos con adoquines surgen después de la segunda guerra mundial, cuando la pre-fabricación mecánica de adoquines de concreto sustituyo los ejemplares de arcilla siendo utilizados con frecuencia previamente. Los adoquines de concreto desde entonces han venido creciendo tecnológico tanto en su fabricación, diseño de mezcla y arquitectura.

Para implementar obras viales se establecieron escuelas de maestros, aprendices y oficiales. Estos gremios se enfocaban en las tipologías presentes en las vías. A medida que incrementaban la cantidad de vehículos y carga, se consideró la subestructura de los pavimentos, hasta llegar al día de hoy que la subestructura vial está compuesta por Base, Subbase y Subrasante.

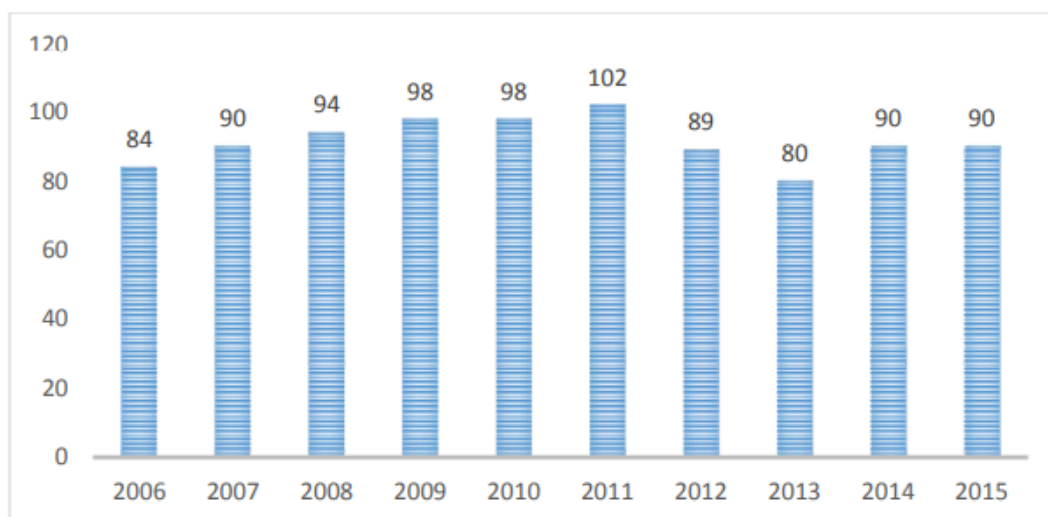
El avance tecnológico ha orillado a un mejor control de calidad en los diseños de mezclas y utilización del pavimento. La normativa para el control de calidad de adoquines en el Ecuador lleva poco tiempo y es necesario que se lleve a cabo un control en todas las propiedades de agregados y cementantes para la fabricación de adoquines. En tal caso se

dificulta determinar las propiedades de los adoquines debido a mayor área que la requerida.

### 2.3. Adoquineras en el austro ecuatoriano

De acuerdo con la Superintendencia de Control del Poder de Mercado, el sector manufacturero que se dedica específicamente a la elaboración y distribución de productos de hormigón, cemento y yeso, al formar parte del gremio de la construcción es uno de los que más aporta al crecimiento de la economía del Ecuador. Es así que, hasta el año de presentación de su “Informe Especial de Bloques y Adoquines”, este grupo productivo estaba compuesto por noventa fabricantes a nivel nacional (ver Gráfico 1) debidamente registrados en el CIU C2395.1 (un sistema de Clasificaciones Nacionales de Actividades Económicas), según información de la Superintendencia de Compañías, existían veinte y tres compañías que se dedican a la elaboración de adoquines de hormigón y bloques.

**Gráfico 1**  
Empresas registradas en el CIU 2395.1



Fuente: Superintendencia de Control del Poder de Mercado.

Las veinte y tres compañías a nivel nacional de las cuales se tiene registro hasta el 2017 que se dedicaban a la fabricación de adoquines y bloques se recopilan en la Lista 1, mientras que su ubicación geográfica y sucursales se muestra en las Figuras 1 y 2.

### **Lista 1**

#### **Empresas fabricantes de bloques y adoquines**

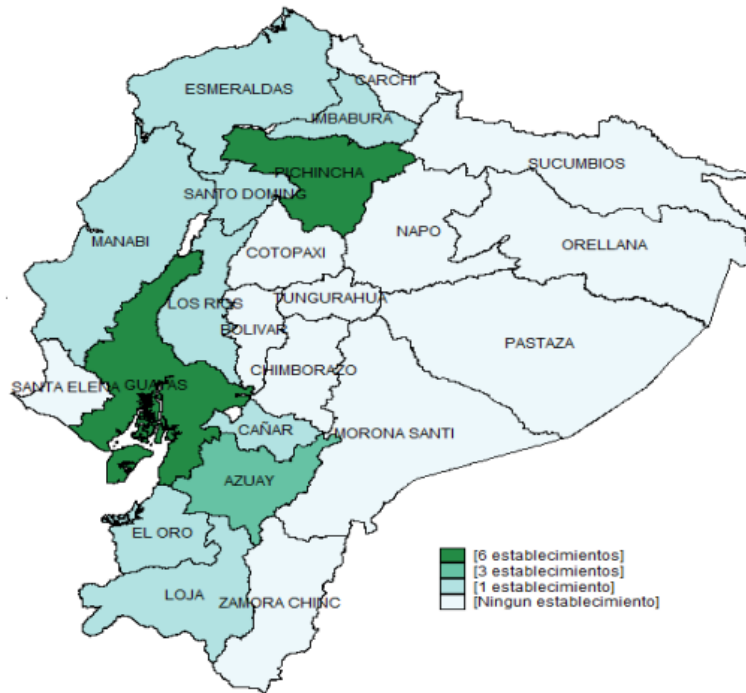
<b>N.º</b>	<b>Nombre de la empresa</b>
1	BLOQCIM S. A
2	HORMIGONES Y PISOS HORMIPISOS C. LTDA
3	INDUSTRIAS DE CONCRETO ROCA CA
4	HORMIGONES DEL AZUAY CIA. LTDA
5	VIBRADOS Y PREFABRICADOS SABOGAL VIPERESA C LTDA
6	HORMIGONERA EQUINOCCIAL, EQUIHORMIGONERA CIA. LTDA
7	HORMIGONERA ESMERALDAS HORMIESME CIA. LTDA.
8	GOODFAITH S.A.
9	PREFABRICADOS DE HORMIGON BETANCOURT TACO CIA LTDA
10	PREFABRICADOS DE CONCRETO TIGER C LTDA
11	GALARAMI CIA. LTDA
12	PREFABRICADOS DEL ECUADOR S.A PRECUADOR
13	SEROYAN S. A
14	ADBLOYCON S. A
15	CALIZAS Y MINERALES NORDMINERAL S.A.
16	BLOQUE FUERTE BLOQFUERTE S.A.

- 17 COMPLEJO INDUSTRIAL FORTALEZA COMINFORT C LTDA
- 18 PREFABRICADOS DE HORMIGON JAMA HORMIJAMA
- 19 FRANCOMPANY CIA. LTDA.
- 20 PREFABRICADOS SAN CARLOS CAOBLOCK CIA. LTDA.
- 21 HORMIGONERA COMREY Y HORMIGONES CRYH S.A.
- 22 CONCRETO MANTA S.A. CONCREMANSA
- 23 FABRICACIÓN DE HORMIGONES DEGAB CIA. LTDA.

---

Fuente: Superintendencia de Control del Poder de Mercado.

**Figura 1**  
Ubicación de las empresas fabricantes de bloques y adoquines

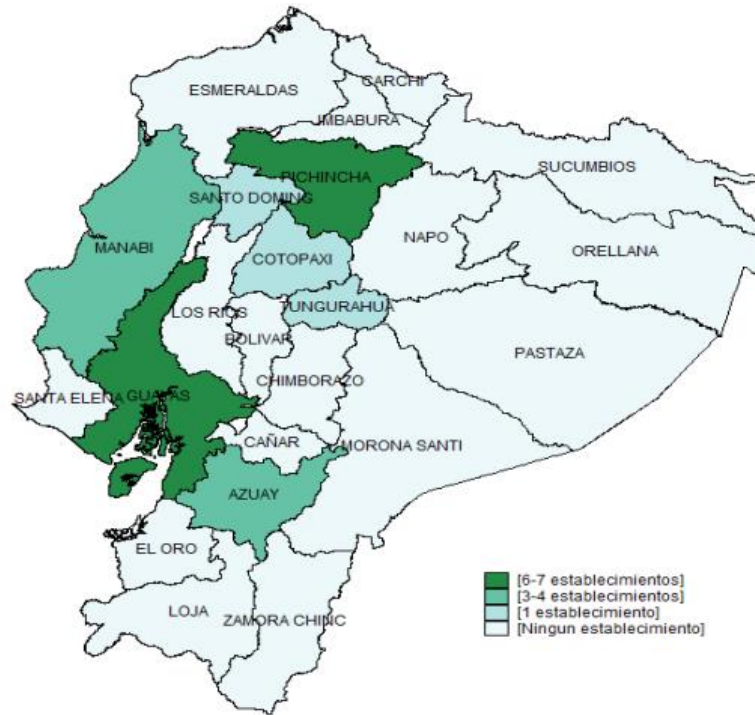


NOMBRE	PROVINCIA (MATRIZ)	NOMBRE	PROVINCIA (MATRIZ)	NOMBRE	PROVINCIA (MATRIZ)	NOMBRE	PROVINCIA (MATRIZ)
HORMIGONES Y PISOS HORMISPÓS C.LTDA.	AZUAY	VIBRADOS Y PREFABRICADOS SABOGAL V.PRESA C.LTDA.	GUAYAS	PREFABRICADOS DE CONCRETO TIGER C.LTDA.	AZUAY	SEROYAN S.A.	GUAYAS
HORMIGONES DEL AZUAY CIA. LTDA.	AZUAY	BLOQCOM S.A.	GUAYAS	PREFABRICADOS DE HORMIGON BETANCOURT TACO CIA. LTDA.	PICHICHA	BLOQUE FUERTE BLOQUEFUERTE S.A.	GUAYAS
INDUSTRIAS DE CONCRETO ROCA CA	GUAYAS	GOODFAITH S.A.	SANTO DOMINGO DE LOS TSAQHILAS	PREFABRICADOS DEL ECUADOR SA PRECUADOR	PICHICHA	CALIZAS Y MINERALES NORDMINERALS S.A.	IMBABURA
HORMIGONERA EQUINOCCIAL, EQUIHORMIGONERA CIA. LTDA.	PICHICHA	HORMIGONERA ESMERALDAS HORMESME CIA. LTDA.	ESMERALDAS	GALARAMI CIA. LTDA.	PICHICHA	PREFABRICADOS DE HORMIGON JAMA HORMILAMA S.A.	PICHICHA
CONCRETO MANTA S.A CONCREMANSA	MANTA	ADBLOYCON S.A.	LOS RIOS	COMPLEJO INDUSTRIAL FORTALEZA COMINFORT C LTDA	GUAYAS	FRANCOMPANY CIA.LTDA.	EL ORO
FABRICACIÓN DE HORMIGONES DEGAB CIA. LTDA.	LOJA	INDUSTRIA HORMIGONERA COMFREY HORMIGONES CRYH S.A.	PICHICHA	PREFABRICADOS SAN CARLOS CA OBLOCK CIA.LTDA.	CAÑAR		

Fuente: Superintendencia de Control del Poder de Mercado.

**Figura 2**

Ubicación de las sucursales de las empresas fabricantes de bloques y adoquines



NOMBRE	PROVINCIA (SUCURSAL)
HORMIGONES Y PISOS HORMIPISOS C.LTDA.	Pichincha (3) Guayas (3) Azuay (1) Manabí (1)
HORMIGONES DEL AZUAY CIA. LTDA.	Azuay (1)
INDUSTRIAS DE CONCRETO ROCA CA	Guayas (1)
VIBRADOS Y PREFABRICADOS SABOGAL VIPRESA C LTDA	Guayas (1)

NOMBRE	PROVINCIA (SUCURSAL)
CONCRETO MANTA S.A CONCREMANSA	Manabí (1)
PREFABRICADOS DE CONCRETO TIGER C LTDA	Azuay (1)
PREFABRICADOS DEL ECUADOR SA PRECUADOR	Pichincha (1)
GALARAMI CIA. LTDA.	Pichincha (1)
SEROYAN S.A.	Guayas (2)

Fuente: Superintendencia de Control del Poder de Mercado.

Adicionalmente, este informe hace un recuento del marco legal al que las empresas fabricantes de bloques y adoquines deben sujetarse, entre los cuales puede mencionarse a los artículos 52, 53, 54 y 336 de la Constitución de la República del Ecuador; los cuales en síntesis estipulan que:

Todas las personas tienen el derecho de adquirir adoquines y bloques de hormigón de primera calidad y escoger de manera libre, de tal forma, obtener información precisa

y no engañosa sobre las propiedades y características, con el objetivo de proteger la constitucionalidad de la producción nacional y mano obrera ecuatoriana.

Si bien se ha mencionado la lista hasta el 2017 sobre las compañías fabricantes de adoquines y bloques de hormigón a nivel nacional, actualmente no se tiene un registro claro de cuántas empresas o pequeños negocios dedicados a esta actividad se localizan en el austro ecuatoriano.

Es así que, investigadores como (Colcha, López, 2018), quienes llevaron a cabo un análisis de mercado, para conocer la posibilidad de implementar una fábrica adoquinera en la parroquia Sevilla del cantón Alausí, al tomar como potenciales clientes a los cantones Alausí con una parroquia urbana (Alausí o la cabecera cantonal) y ocho de sus nueve parroquias rurales (Sevilla, Pumallacta, Achupallas, Guasuntos, Pistishi, Sibambe, Huigra y Multitud), Tixán no se consideró ya que el día 30 de septiembre de 2016 inauguró su propia fábrica de adoquines y centro de acopio. Y al cantón Chunchi con una parroquia urbana (Chunchi o la cabecera cantonal) y sus cuatro parroquias rurales (Gonzol, Capzol, Compud y Llagos), ambos ubicados en la provincia de Chimborazo, al sur de Riobamba, manifiestan que existe un déficit de este tipo de empresas en la parroquia Sevilla.

Los investigadores llegaron a tal afirmación al realizar encuestas a los presidentes de los GAD parroquiales de cada uno de los cantones mencionados, quienes afirmaron que tienen que viajar a otras localidades para adquirir adoquines, ya sean para uso peatonal o vehicular. Además, en este estudio de mercado se obtuvo información de que, son principalmente las empresas “VIPRESA Bloques y Adoquines” ubicada en Guayaquil y “I.F.M Adoquines” ubicada en Riobamba, quienes proveen los adoquines

que se utilizan tanto en Alausí como en Chunchi. Los estudios económicos demostraron que la rentabilidad de una empresa de este tipo puede llegar a alcanzar hasta el 43% de la inversión total, por lo que, se llegó a la conclusión de la necesidad y factibilidad que representa el crear más fábricas productoras de adoquines en aquel sector del país (Colcha, López, 2018).

#### **2.4. Estudios similares**

(Turpo, Virgo, 2021) desarrollaron una investigación, con el principal objetivo de fabricar adoquines comúnmente aplicados a la construcción de pavimentos peatonales, con la inclusión de plástico PET reciclado y recurriendo al proceso conocido como de extrusión. Por lo tanto, el primer proceso consistió en diseñar, ensamblar y poner en operación una extrusora monohusillo, la cual se puso en marcha gracias a un motor de 1.5 HP. Para la elaboración de los adoquines se utilizaron partículas de plástico PET con un diámetro menor a 9 mm; arena fina la cual su humedad será menor al 0.05%. Se diseñaron 4 diferentes dosificaciones; la primera con 100% de PET, la segunda 75% PET y 25% arena fina, la tercera 50% PET y 50% arena fina y la cuarta 30% PET y 70% agregado fino.

Posteriormente, las muestras se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión en ciclos de 5 repeticiones. Los resultados demostraron que, con la cuarta dosificación se obtuvieron los mejores resultados, alcanzando hasta 220.6 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia antes de la fractura. Los investigadores concluyeron que, los adoquines fabricados con este tipo de mezclas son aptos para ser utilizados en la construcción de pavimentos peatonales, siempre y cuando las partículas de plástico reciclado sean de diámetros menores o iguales cuando mucho a 10mm y la humedad de la arena no supere el 0.05% (Turpo, Virgo, 2021).

En Argentina, (García, 2020), realizó un estudio con la finalidad de conocer la influencia de la aplicación de un plástico reciclado compuesto en la elaboración de adoquines; los cuales sean eficientes, durables, de fácil montaje y por supuesto amigables con el medio ambiente. Para lo cual, se utilizó plástico compuesto de un 18.63% de polietileno de alta densidad, 76.7% de polipropileno y 4.67% de aditivos. Una vez elaboradas las muestras, se realizó el ensayo a la compresión y flexión. Los resultados fueron altamente favorables, puesto que, se evidenció un incremento de hasta el 296% de la resistencia mínima exigida por la normativa de control, mientras que la resistencia a la flexión resultó un 815% más alta que la mínima exigida. Con lo que se concluyó que, el adoquín resultante presenta las condiciones mecánicas necesarias para ser duradero y resistente a los procesos de transporte, ensamblaje y colocación en obra, con lo que, su vida útil será larga y se reduce la posibilidad de generar desperdicios.

En Colombia, (Gámez, 2020), desarrolló su trabajo de maestría con el principal objetivo de crear un tipo de adoquín con inclusión de plástico tipo Polietileno de Alta Densidad (HDPE) en su dosificación, para que el producto final utilice menos recursos naturales y pueda ser considerado un producto ambientalmente sustentable. Los adoquines fueron elaborados con partículas de plástico de 3/8 de pulgada en los siguientes porcentajes de inclusión: 2%, 4%, 6%, 7.93%, 10% y 20%, para luego de un periodo de 28 días ser sometidos a: absorción de agua, apariencia, masa seca y húmeda, así como de resistencia a la flexo-compresión. Los resultados permitieron evidenciar que, la utilización de HDPE brinda a los adoquines menor densidad y que el mejor prototipo es aquel con inclusión del 4% de partículas de plástico, pues se registró un incremento del 36.36% en la resistencia a la rotura. Concluyendo finalmente que, los adoquines resultantes con 4% de partículas de plástico cumplieron con lo establecido por las

normativas de control para ser considerados aptos para su utilización en pavimentos (Quintanilla, 2017).

En la ciudad de Lima, (Meza, 2017) llevó a cabo su proyecto de titulación con el objetivo de conocer el comportamiento físico-mecánico de los adoquines fabricados con restos de plástico reciclado, los cuales serían propuestos para ser utilizados como estructura de pavimento para peatones en un centro comercial del sur de aquella ciudad. Para lo cual, llevó a cabo la fabricación de 44 adoquines; de los cuales 9 eran tradicionales, es decir, sin plástico, 11 tenían 3% de plástico, 11 contenían 5% de plástico y los 11 restantes 8% de plástico reciclado. Estas muestras fueron sometidas a los ensayos de: absorción de agua, rotura, compresión y viga. Los resultados demostraron que; la inclusión de plástico reciclado en la fabricación de adoquines permite mejoras en las propiedades físico-mecánicas de éstos hasta en un 9.47%, además de que, el producto final es hasta un 16.9% más ligero en comparación de un adoquín tradicional.

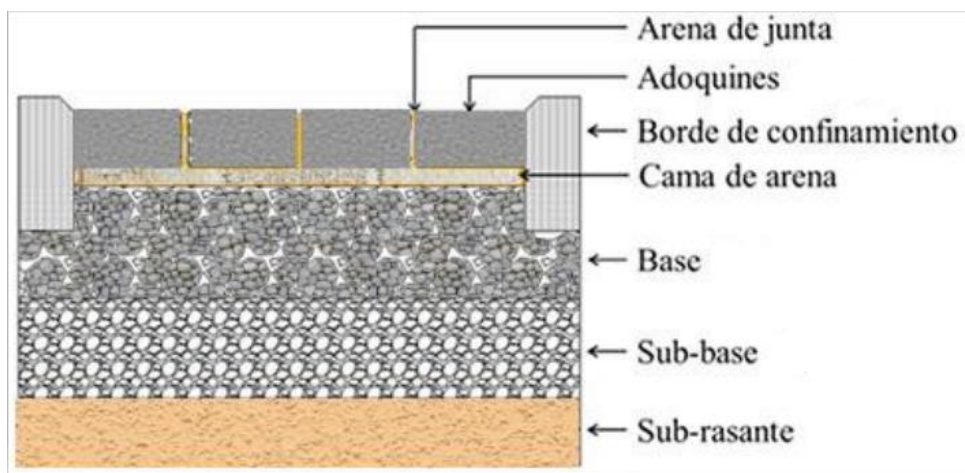
Por otro lado, los resultados óptimos fueron con la inclusión del 3% de plástico reciclado, hablando específicamente de resistencia a la compresión según con lo que indica la norma peruana a los 28 días. Sin embargo, si se notó una ligera disminución en cuanto a la trabajabilidad de la mezcla a mayor cantidad de plástico en ésta. Se obtuvo que la utilización de plástico reciclado influye positivamente en la fabricación de adoquines, pues los vuelve más ligeros, pero aun así soportan perfectamente las solicitaciones a la que son sometidos (Meza, 2017).

## **2.5. Control de calidad para pavimentos articulados**

Los pavimentos articulados son aquellas estructuras formadas por la subrasante, subbase y base, tradicionales de cualquier pavimento convencional, pero su capa de

rodadura está compuesta por adoquines, los cuales se soportan sobre una cama de arena. Adicionalmente, entre adoquín y adoquín se utilizan juntas de arena y un bordillo para evitar movimientos laterales y así garantizar que estas piezas se encuentren debidamente confinadas, con lo cual se garantiza un adecuado comportamiento a flexión por parte de la estructura (Rondon, Bazan, Calvay, 2020).

**Figura 3**  
Estructura para un pavimento articulado



Fuente: González y Poveda (González, Guillén, 2020).

### 2.5.1. Requisitos de calidad del adoquín

En Ecuador, todo lo relacionado con la elaboración y ensayo de adoquines debe estar sujeto a lo descrito en la Norma (INEN 3040, 2016), cuando se fabrican adoquines, todo el proceso deberá estar sujeto al “programa de inspección” que allí se detalla, en el cual se especifica que se deberán cumplir una serie de criterios de calidad en: los equipos, materiales, proceso de producción y finalmente con el producto (Angarita, 2018).

### 2.5.1.1. Dimensiones

Al respecto de las dimensiones en la norma se estipula que, estos “pueden ser fabricados con espaciadores, caras laterales con conicidad perimetral, con aristas biseladas o achaflanadas con filos redondeados o filos vivos” (INEN 3040, 2016). Además, indica que, las dimensiones nominales deben ser provistas por parte del fabricante. Sin embargo, se puede admitir unas tolerancias presentadas por la fábrica, las cuales se pueden observar en el anexo 1, a continuación:

Adicional a lo estipulado en la Tabla 1, la norma indica lo siguiente:

- Al tomar medidas del espesor de un mismo adoquín, la diferencia no debe superar 3 mm.
- Si el adoquín no es rectangular, las tolerancias de las demás dimensiones deben ser indicadas por su fabricante.
- Si al medir las diagonales de un adoquín rectangular, éstas superan los 300 mm, la diferencia máxima admisible entre aquellas medidas no puede ser mayor a 5 mm.

Finalmente, en cuánto a la planeidad y curvatura de la cara visible plana de los adoquines, cuando la distancia máxima de estos es mayor a 300 mm, la norma indica que, se debe cumplir las desviaciones máximas indicadas en el anexo 2 y cuando la cara visible no es plana, será la fábrica quien proporcione información al respecto de las desviaciones admisibles.

### *2.5.1.2. Acabado*

Al respecto de los acabados de adoquines según la Norma (INEN 3040, 2016) especifica que, cuando estos son elaborados de hormigón, se puede utilizar un solo tipo (monocapa) o con diferentes tipos (doble capa). Además, que una de sus aristas puede estar biselada, siempre que sus proyecciones ya sean horizontales o verticales no excedan los 2mm, ya que si lo hicieran aquella arista sería considerada como achaflanada.

Por otro lado, indica que, los adoquines pueden tener secciones funcionales o arquitectónicas, pero estas no se deben tomar en cuenta al medir las dimensiones nominales del adoquín. Finalmente indica que, el área puede tener alguna textura, así como ser sometida a alguna clase de tratamiento adicional, como por ejemplo un tratamiento químico, en cualquier caso, todo aquello debe ser declarado por el fabricante (INEN 3040, 2016).

## **2.5.2. Arena**

### *2.5.2.1. Apoyo de adoquines*

La capa o cama de arena sobre la cual se asientan los adoquines es de poco espesor y debe estar formada por arena gruesa, con una granulometría uniforme y libre de material orgánico. Además de servir de soporte entre los adoquines y la base del pavimento, ayuda a filtrar el agua que pudo haberse colado entre las juntas (Cabeza, Morillo, García, 2018).

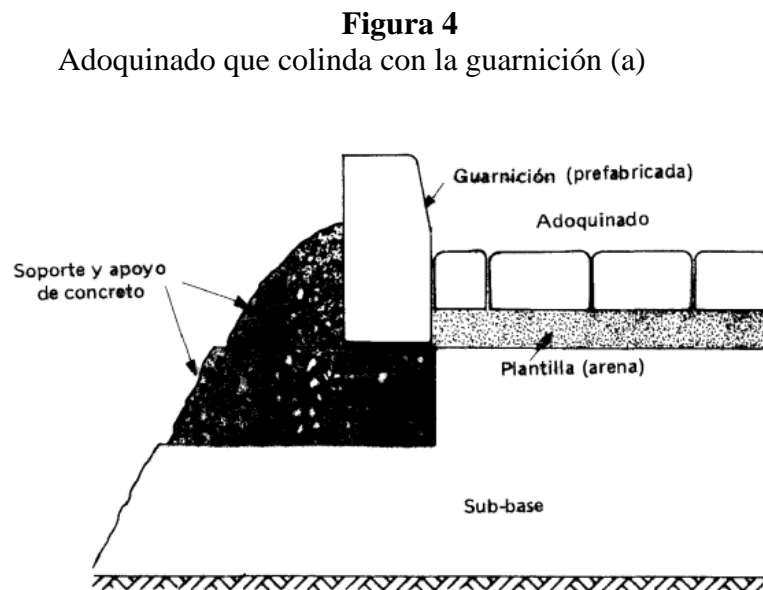
### *2.5.2.2. Sellado de adoquines*

El sellado en la capa de rodadura se lleva a cabo mediante el relleno de las juntas que se forman entre los adoquines con arena fina, este proceso garantiza, además, un buen comportamiento a flexión y compresión de la estructura (González, Guillén, 2020).

## 2.6. Uso ocupacional de los pavimentos articulados

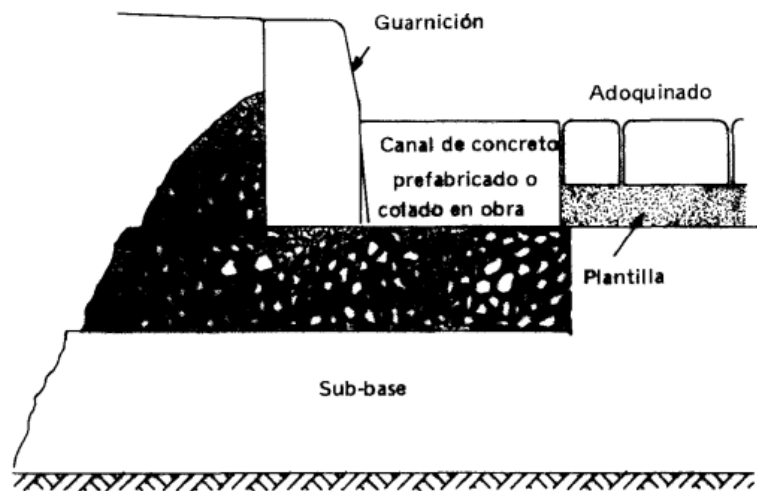
### 2.6.1. Tráfico liviano

De acuerdo con la Norma (GPE INEN 44, 1996), allí se presenta una guía procedimental para el diseño, construcción y de ser el caso reposición del adoquinado, de áreas sobre las cuales circularán vehículos livianos, es decir, todos aquellos automóviles de cuatro ruedas para tránsito de personas (entre dos hasta nueve) o de mercaderías ligeras que no superan las 2 toneladas. Para lo cual, esta norma indica que el pavimento debe mantener la estructura: subbase, capa de arena fina de 50 mm de espesor también denominada plantilla, adoquinado y bordillo. En las Figuras 4, 5 y 6 se muestran diferentes formas de colocar la guarnición en la estructura del pavimento.



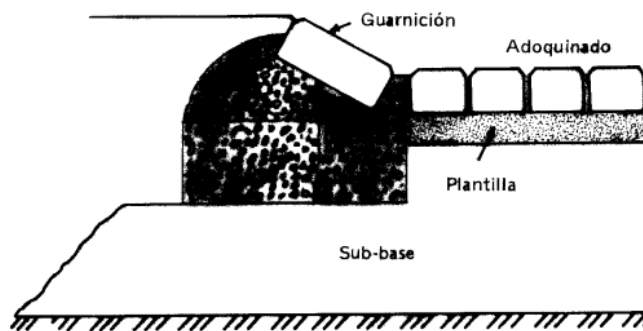
Nota. La contención se encuentra colocada sobre una cimentación dentro de la subbase, si se usa una subbase de hormigón, la contención se apoyará directamente sobre ella. Fuente: (GPE INEN 44, 1996).

**Figura 5**  
Adoquinado que colinda con la guarnición (b)



Nota. La contención se encuentra colocada sobre una cimentación dentro de la subbase, si se usa una subbase de hormigón, la contención se apoyará directamente sobre ella. Fuente: (GPE INEN 44, 1996).

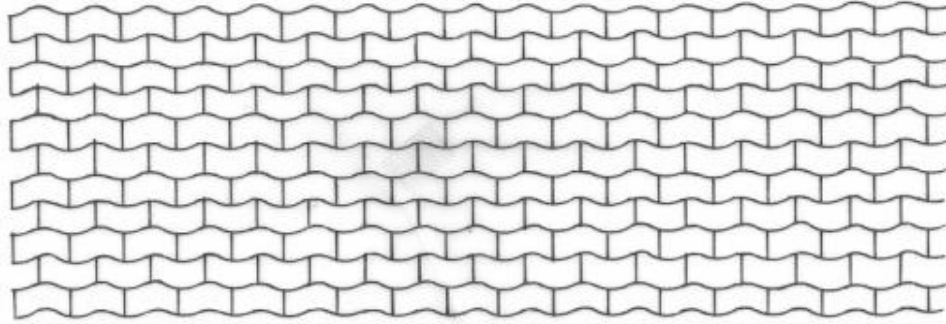
**Figura 6**  
Adoquinado que colinda con el canal de concreto



Nota. En la figura se muestra un adoquín inclinado colocado sobre una cimentación de la contención, cubriendo el borde. Fuente: GPE INEN 44 (GPE INEN 44, 1996).

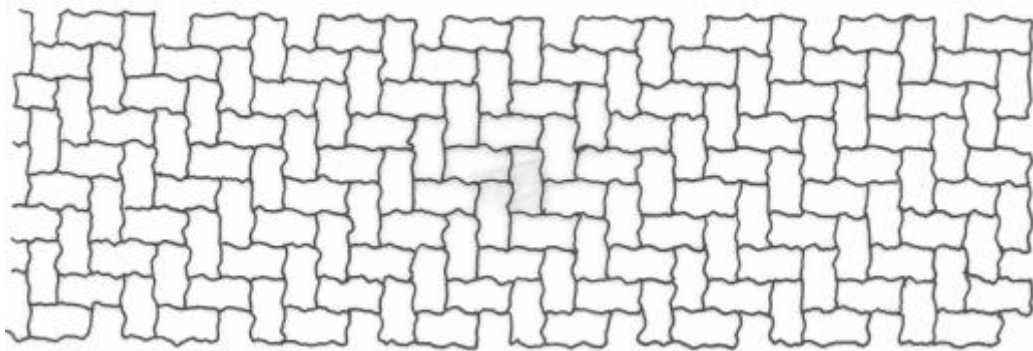
En cuanto a la disposición de los adoquines en la superficie de rodadura, en las Figuras 7, 8 y 9 se muestran diferentes maneras de colocarlos para garantizar una unión horizontal entre cada pieza.

**Figura 7**  
Adoquines con diseño colocados en aparejo



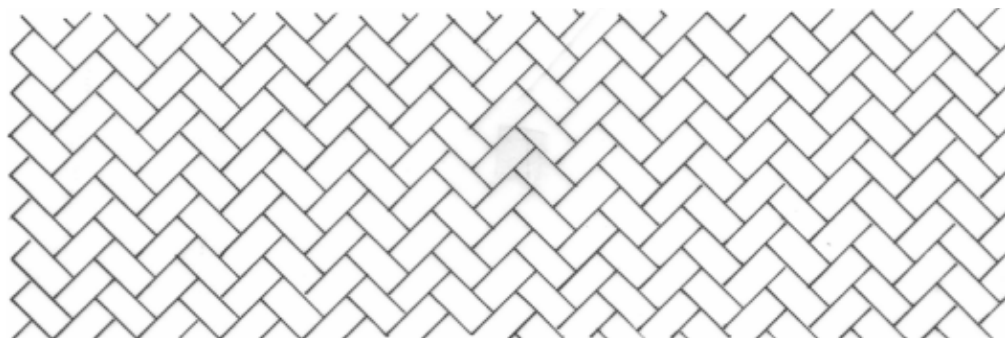
Fuente: (GPE INEN 44, 1996).

**Figura 8**  
Adoquines con diseño colocados en esterilla



Fuente: (GPE INEN 44, 1996).

**Figura 9**  
Adoquines rectangulares colocados en esterilla



Nota. en los caminos los adoquines rectangulares nunca deberán colocarse en aparejo, ya que la unión sería deficiente. Fuente: (GPE INEN 44, 1996).

### **2.6.2. Tráfico pesado**

De acuerdo con la Norma GPE INEN 44, 1996), allí se presenta una guía procedimental para el diseño, construcción y de ser el caso reinstalación del adoquinado, de áreas sobre las cuales circularán vehículos pesados, los que generalmente son capaces de soportar sobre sus ejes cargas de hasta 18 toneladas, en los cuales se puede mencionar a los camiones con sus diferentes variantes y los autobuses. Para lo cual, esta norma indica que el pavimento debe mantener la estructura: subrasante, subbase, base, capa de arena fina de 50 mm de espesor también denominada plantilla, adoquinado y guarnición o borde de confinamiento. En cuanto a la disposición de los adoquines en la superficie de rodadura.

### **2.7. Ventajas del pavimento articulado**

El construir pavimentos con adoquines en su superficie o capa de rodadura presenta una serie de ventajas, a saber, que los adoquines pueden ser elaborados tanto en máquinas grandes y tecnificadas, cómo en equipos pequeños y sencillos, por lo que,

pueden ser una fuente de ingresos para pequeños grupos comunitarios o municipales, es decir que, con su utilización se puede ayudar a la circulación de la economía popular. Además, ya que los adoquines no se pegan, sino que se unen por compactación, si se daña una unidad, no será necesario reemplazar grandes áreas del pavimento y aquel adoquín puede ser reutilizado, por lo que, son una opción económicamente viable para barrios o poblaciones sin mucho presupuesto (Hamilton, Benavides, 2017).

Otra de las ventajas es que, este tipo de piezas al ser prefabricadas, permiten que la obra se construya en menor tiempo y por etapas, es decir, se puede ir pavimentando de a poco, a medida que se dispone de los recursos necesarios, que cómo ya se indicó son menores que cuando se recurre a los otros tipos de pavimentos (rígido y flexible). Finalmente, cabe indicar entre las ventajas, que cómo ya se ha indicado, este tipo de pavimentos está apto para soportar todo tipo de tránsito, desde vehículos livianos hasta camiones o autobuses y de ser necesario se les puede dar colores y diferentes formas para crear con ellos hermosas zonas decorativas en plazas, instalaciones deportivas, patios de juegos, etc. (Hamilton, Benavides, 2017).

## **2.8. Fallas del pavimento articulado**

Durante la vida útil de un pavimento, éste está sometido a una serie de esfuerzos, además de que existen diferentes situaciones que, pueden ocasionar que la integridad del pavimento, así como su funcionalidad se encuentre comprometida. De acuerdo con (Díaz, 2018), algunas de las causas de la falla de los pavimentos articulados son:

- El pavimento ha cumplido o está cercano a cumplir su vida útil, es decir, los ejes equivalentes han alcanzado su límite de capacidad considerado al momento del diseño.

- Mala calidad de los adoquines, ya que, aunque se realice un adecuado proceso constructivo, la calidad de los materiales tendrá incidencia directa en el pavimento final y en este caso se puede reducir de manera considerable la capacidad estructural.
- Inadecuada estimación de las propiedades de los materiales utilizados.
- Condiciones climáticas adversas e inesperadas.
- Falta de una adecuada estructura para drenaje de aguas superficiales y/o subterráneas.
- Insuficiente mantenimiento del pavimento.

Por lo tanto, si se desea que el pavimento construido funcione adecuadamente y durante mucho tiempo, se debe combinar materiales de calidad desde la subbase en adelante, así como una adecuada ingeniería en el proceso constructivo. Sin embargo, cuando esto no sucede se presentan una serie de fallas en el pavimento articulado, entre las cuales se puede mencionar las siguientes:

Huella de elefante: Es una falla comúnmente en este tipo de pavimentos y debe su nombre a que se trata de hundimientos con forma más o menos circular con diámetros de pocos centímetros, cómo si se tratara de la pisada de un elefante. Generalmente se presentan de manera localizada en las zonas donde los materiales de sitio son débiles; ya sea por ser de mala calidad, por una mala compactación o acumulación de agua (Díaz, 2018).

Desplazamientos: Esto ocurre en ocasiones por efectos térmicos, es decir, cuando en un pavimento de concreto y en el tramo siguiente se decide colocar adoquines sin considerar la implementación de juntas de dilatación. Por lo tanto, cuando los vehículos efectúan movimientos de frenado y/o giros, por ejemplo, en intersecciones o curvas, estas fuerzas horizontales ocasionan que los adoquines se desplacen de su posición original. De igual manera, cuando no se tiene un adecuado sistema de drenaje, la acumulación de agua y las cargas propias del tráfico, pueden ocasionar que tanto las juntas de arena como la cama de arena se vaya desprendiendo de manera progresiva, con lo cual se pierde estabilidad (Díaz, 2018).

Levantamientos localizados: Esto se atribuye a hinchamientos en la base y subbase del pavimento, lo cual generalmente es consecuencia de la presencia de suelos expansivos en la subrasante, por lo que, cuando se nota en la subrasante o cualquier otra capa del pavimento, lo más recomendable es recurrir al mejoramiento del suelo (Ledezma, 2018).

Desprendimientos: En ocasiones se presenta el desprendimiento de trozos o adoquines enteros, generalmente acompañado de fracturamientos, ahuellamientos y/o desplazamientos. Aunque lo más común es que esto se deba a una mala adherencia entre el adoquín y la base o una excesiva fuerza producto de la presencia de escorrentías superficiales.

Desgaste superficial: Finalmente, este tipo de falla ocurre cuando en la fabricación de los adoquines de hormigón se han utilizado agregados sintéticos o escorias, es decir, materiales cuyas características no soportan los cambios en las condiciones ambientales y cuando esto sucede se degradan fácilmente.

## 2.9. Tipos de plásticos

De acuerdo con el triángulo de Möbius (Valbuena, 2021), existen diferentes tipos de plásticos, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

**PET:** El Tereftalato de polietileno (PETE), es un tipo de plástico muy conocido por variedad de propiedades: altamente transparente, admite el uso de colorante, alta resistencia, ligero y de fácil reciclaje; sin embargo, sólo puede ser utilizado para el almacenamiento de alimentos una vez, por lo que, es ampliamente utilizado para elaborar botellas de agua o diferentes bebidas. Después de este primer uso, es utilizado con otros fines, como envases de uso no alimentario o fibras textiles.

**HDPE (#2):** El Polietileno de alta densidad, es un plástico flexible, pero más rígido y resistente a químicos y a altas temperaturas que el PET. Razón por la cual, es preferido en la elaboración de botellas para leche, productos para limpieza o aceite para motores. Una vez que se lo recicla, suele ser utilizado para elaborar nuevos envases, juguetes e inclusive muebles.

**LDPE:** El Polietileno de baja densidad es altamente flexible, así como resistente tanto a impactos como a agentes químicos, de manera similar al HDPE. Sin embargo, su transparencia estará en función del espesor, por citar algunos ejemplos: plástico de burbujas, se elabora el papel film y las fundas de las compras. Es un tipo de plástico de fácil reciclaje.

**PVC:** El Policloruro de vinilo es el plástico más versátil de todos por estar elaborado con cloro y carbono, los cuales son extraídos de la sal (57%) y del petróleo o el gas (43%). Tal es su versatilidad que, dependiendo del proceso de producción estas

pueden ser flexibles o rígidas, con propiedades a altas resistencias, bajas densidades, tenaz y dúctil. Por lo que, está presente en cosas tan cotidianas como tuberías, tarjetas de crédito, revestimiento de cables, marcos de puertas y ventanas, así como en las pieles sintéticas. Su principal desventaja es que, su proceso de reciclaje es mucho más complejo que con los otros materiales, por lo que, normalmente se le destina a la elaboración de tubos de drenaje o riego.

PP (#5): El polipropileno es un plástico resultante de la polimerización del propileno. Es muy moldeable y resistente, por lo que, se utiliza en tapas de botellas, sorbetes, neveras portátiles, fibras para tejido de alfombras o lonas y hasta pañales, su reciclado también es complejo, pero no por ello imposible.

PS: El poliestireno es un plástico resultante de la polimerización del estireno y se utiliza para la elaboración de vasos térmicos, portadores de huevos, bandejas de comida, relleno para embalaje, botellas de yogur o aislantes. Al igual que el PP su proceso de reciclaje es muy complejo.

## **2.10. Fabricación de adoquín**

La fabricación de adoquines es un proceso sistemático que involucra seguir de manera ordenada una secuencia de pasos, tal cómo se indica en la Figura 10. A fin de obtener un producto final de calidad, que sea capaz de cumplir con lo que especifica las normas de control, así como la función para el cual fue elaborado.

**Figura 10**  
Adoquines



Fuente: (Fajardo, Sinchi, 2018).

A continuación, se detalla más a fondo las tareas involucradas en este proceso de fabricación de los adoquines:

### **2.10.1. Dosificación**

Este proceso empieza con la adquisición de las materias primas que se utilizarán para elaborar el adoquín, a saber; arena, grava, cemento y cualquier otro material que se desee incluir en la dosificación, por ejemplo: plástico reciclado, caucho reciclado, etc. Una vez obtenidos los materiales se deberá verificar su estado, cantidades adquiridas, tamaños y cualquier particularidad que pudiera alterar las características del producto final. Dichos materiales deberán ser trasladados a un lugar seguro donde se les debe almacenar adecuadamente y resguardar de los efectos adversos del sol y la lluvia (Ponce, 2020).

El siguiente paso para comenzar con el proceso productivo, es precisamente el diseño de la dosificación, es decir, determinar la proporción específica que se necesita

por cada material para cumplir con la cantidad solicitada de adoquines (Ponce, 2020). Cabe indicar que esta dosificación debe estar sujeta a los requerimientos mínimos indicados en la normativa de control, con la finalidad de que el producto final no sea rechazado por quienes los adquieren, además de evitar multas o clausura de la planta por parte de las entidades respectivas.

### **2.10.2. Mezclado**

Con las cantidades específicas de cada uno de los materiales que se utilizarán, se colocan estos en las mezcladoras, en función de las condiciones de la planta productora este proceso de mezclado podría realizarse también de forma manual. De cualquiera de las dos maneras que se haya efectuado el proceso, con la posterior inclusión del agua, finalmente se obtendrá una pasta uniforme con el nivel de humedad deseado (Ponce, 2020).

Esta mezcla se coloca en los moldes, los cuales varían su tamaño y forma en función del tipo de adoquín que se desea, la mezcla de hormigón es prensada. A continuación, se debe verificar que el adoquín cumpla con las características antes establecidas, por lo que, aquellas unidades que no cumplan podrán ser regresadas a la mezcladora, con la intención de no desperdiciar la materia prima (Ponce, 2020).

### **2.10.3. Fraguado**

El fraguado consiste en colocar a los adoquines en un área donde estos se endurecerán, por lo que, esta zona deberá estar cubierta de las inclemencias del clima, cómo el sol, la lluvia, etc., para evitar que el proceso sea entorpecido (Ponce, 2020).

#### **2.10.4. Curado**

En vista de que uno de los componentes de los adoquines es el cemento, este necesita mantenerse en estado húmedo por un periodo mínimo de 7 días, a fin de que desarrolle adecuadamente toda su resistencia. Por lo tanto, para llevar a cabo este proceso, los adoquines deben colocarse separados uno de otro para garantizar que todas las unidades se humedezcan por todas sus caras (Ponce, 2020).

#### **2.10.5. Secado**

Una vez pasado el tiempo de curado, los adoquines deberán ser trasladados a la zona de disposición final donde finalmente se secarán por completo, este proceso se dará en un tiempo aproximado de 28 días (Ponce, 2020).

### **2.11. Métodos de fabricación de adoquines**

#### **2.11.1. Fabricación manual**

Este método ya no es muy utilizado debido a los avances tecnológicos y al elevado desarrollo de máquinas que realizan todo el trabajo pesado, por lo que, ha quedado relegado a las zonas rurales y consiste básicamente en que las personas fabrican sus adoquines de manera artesanal, partiendo desde la elaboración de los moldes en materiales como madera, de manera que los adoquines resultantes no cumplen los criterios mínimos de calidad y resistencia (Paredes, Torres, 2018).

#### **2.11.2. Fabricación semiautomática**

En el método semi manual o semi automático, intervienen tanto el hombre como las máquinas. Es decir, en el proceso de fabricación son las personas quienes preparan las cantidades de los materiales y se encargan de colocarlos en las bandas transportadoras o

directamente en la mezcladora, para que posteriormente la mezcla pase a los moldes, a la vibro compactadora y finalmente sea la persona quien se encargue de supervisar los procesos de fraguado, curado y secado. Por lo tanto, es el método más utilizado en las fábricas (Paredes, Torres, 2018).

### **2.11.3. Fabricación automática**

Este es el método de fabricación más moderno, puesto que se cuenta con la tecnología necesaria para que las máquinas controlen desde la dosificación hasta la elaboración, por lo que, las personas sólo deberán encargarse del control de calidad al adoquín obtenido finalmente. Bajo este método de fabricación se garantiza cumplir con las especificaciones requeridas de resistencia y calidad (Paredes, Torres, 2018).

### **2.12. Método de fabricación adoptado para el estudio (semiautomático)**

De acuerdo con la Norma ecuatoriana (MOP-001-F, 2002) denominada Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, en su sección destinada a los detalles de la superficie de rodadura de los pavimentos, cuando ésta va a ser de adoquines de hormigón, se especifica claramente que, estos deberán ser elaborados en prensas mecánicas y que deberán estar formados por caras uniformes y regulares en ángulo recto. Además, se indica que estos adoquines deberán ser:

Elaborados en máquinas estáticas para la elaboración de adoquines de hormigón, en la cual contemplen compactaciones por presión y vibratorias (MOP-001-F, 2002).

Razón por la cual, para la realización de este trabajo de investigación y para dar cumplimiento a las normativas nacionales, se optó por el método de elaboración de adoquines semiautomático.

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

### **3.1. Diseño de la investigación.**

#### **3.1.1. Método de la investigación.**

Este trabajo de investigación se fundamenta en un método analítico-sintético desde el punto de vista cuantitativo. El método manipula la variable “plástico” en tres niveles (1%, 3% y 5%) como adición del agregado fino siendo esta dosificada en peso, además se evaluará las muestras con un (0% de plástico) y se evaluará las propiedades mecánicas de los adoquines (ensayo a tracción indirecta y compresión). Los resultados serán evaluados por niveles, para luego combinarlas y analizarlas de manera unificada y obtener una conclusión.

#### **3.1.2. Tipo de la investigación**

La investigación es explicativa dado que busca construir, conocer, modificar, interpretar y actuar a una realidad problemática. La investigación tiene propósitos prácticos, es decir interviene o contribuye a un área de estudio determinada, por lo tanto, se debe contribuir con fuentes teóricas. Por lo tanto, el trabajo de investigación sería aplicada-experimental, dado que podemos contribuir con mejoras en las propiedades de los adoquines, mejorando las propiedades mecánicas de los mismos al emplear plástico reciclado.

#### **3.1.3. Nivel investigativo.**

El nivel investigativo es explicativo, dado que se investiga el proceso que produce una variable (plástico) con respecto a las demás muestras. Para lo cual podremos observar y analizar la mejora de las características mecánicas en adoquines de hormigón con la incorporación de plástico reciclado.

#### **3.1.4. Diseño investigativo.**

Al tener cuatro grupos de control, la investigación se encuentra en el ámbito experimental, esta determinará las propiedades de un mismo grupo de estudio, en el cual se escogerán muestras aleatorias, por lo tanto, se comparan los resultados de los ensayos tanto a tracción indirecta como a compresión en adoquines con porcentajes de plástico (1%, 3% y 5%) y finalmente adoquines sin ningún porcentaje de plástico.

### **3.2. Variables de estudio**

Se le considera propiedades de una variable a una muestra la cual se le pueda medir y observar el cambio de la misma.

#### **3.2.1. Variables**

Variable Independiente: Porcentajes de plástico reciclado.

Variable Dependiente: Resistencia a la tracción indirecta y resistencia a la compresión

### **3.3. Muestra y Población**

#### **3.3.1. Población**

Es un grupo de elementos que son el objetivo de la investigación, con referencia a temas estadísticos. La población está conformada por 240 adoquines de concreto tipo cruz, entre ellos se encuentran adoquines con y sin incorporación de plástico reciclado.

### **3.3.2. Muestra**

La muestra es una parte de la población de estudio. En la cual se basa en datos que encuadren con los criterios de la población y ser características de todo el universo.

Se elegirá 48 adoquines por cada uno de los porcentajes a implementar en el estudio (0%, 1%, 3%, 5%), siendo la mitad para determinar las propiedades de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción indirecta. Estos serán ensayados a los 7, 14 y 28 días. En total se utilizará 192 muestras de adoquines de concreto “Tipo Cruz”, 96 muestras para ensayarlas a compresión simple y 96 para el ensayo a tracción indirecta.

### **3.4. Instrumentos y técnicas de recolección de datos, validez y confiabilidad.**

#### **3.4.1. Técnica aplicada a la investigación.**

La técnica empleada en la investigación fue la observación directa. Para los instrumentos se tuvo en cuenta el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y el Instituto Americano del Concreto (ACI), para el análisis de los respectivos ensayos utilizados en el presente estudio.

#### **3.4.2. Confiabilidad y Validez de la investigación.**

Se evaluará según la norma ecuatoriana cada uno de los ensayos previos a la elaboración de la mezcla de hormigón, se puede observar en el anexo 3.

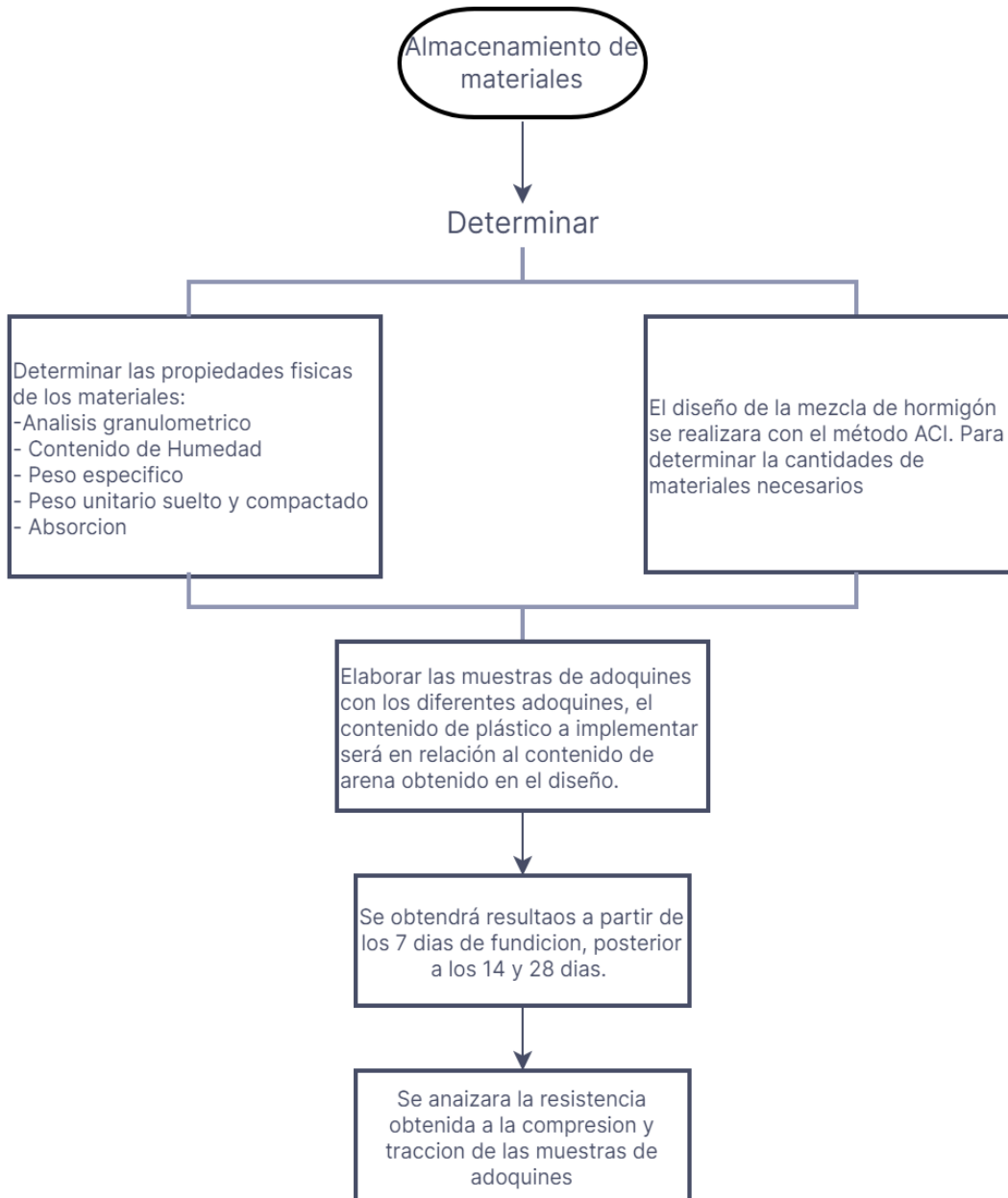
### **3.5. Metodología para el análisis de información recolectada.**

La información se procesará a partir de información recolectada de muestras ensayadas, generamos las propiedades de la población. En las investigaciones cuantitativas, los datos recolectados se describen en forma numérica.

Para el proceso de datos se utilizará EXCEL, las cuales serán interpretadas en tablas, cuadros, graficas, entre otras.

### 3.6. Procedimiento.

**Figura 11**  
Diagrama de flujo



Fuente. Propia.

#### 3.6.1. Producción de plástico reciclado.

El proceso inicia a partir de la recolección de plástico, este será seleccionado y limpiado. El tipo de plástico utilizado en la investigación es el #2 (HDPE-polietileno de

alta densidad) y #5 (PP-polipropileno) utilizando en proporciones del 20% y 80% respectivamente; el material triturado se obtendrá del acopio que posee la Universidad Católica de Cuenca en dichas proporciones respectivamente. Después ingresa a una maquina trituradora a cuchillas lo cual giran mediante un motor eléctrico, El tamaño del plástico llegan a tener hasta 1.0 mm de ancho y alto.

### **3.6.2. Diseño de hormigón empleada.**

Se aplicó la metodología del ACI; para este método se necesita conocer las características físicas de los agregados, los cuales fueron evaluados con la norma INEN. Por lo tanto, se realizaron los respectivos ensayos en Laboratorio. Los estudios realizados fueron, contenidos de humedad, límites de plasticidad, evaluación granulométrica, peso unitario compactado y suelto, pesos específicos, absorción, colorimetría. El diseño de mezcla se implementará la arena como único agregado, debido a que se necesita de superficies y acabados lisos; lo cual, con porcentajes de gravas la superficie queda rugosa y existe problemas de daños en la maquina dosificadora al momento de mezclar agregados gruesos en las tolvas (Turpo, Virgo, 2021).

Se empleará un diseño tanto con agregado fino y grueso, como un diseño aplicando solo arena como agregado. Se deseará buscar una superficie lisa para la capa de rodadura.

### **3.6.3. Fabricación de muestras de adoquines de hormigón.**

Para la elaboración de adoquines se obtendrá el porcentaje de humedad de campo para aplicar las correcciones adecuadas por humedad. Se pesarán los materiales para un adecuado control de dosificación. La tolva de la máquina para la fabricación de adoquines, admite a partir de un saco de cemento lo cual para las muestras necesarias se

dosificará con dos sacos y medio obteniendo un total de 60 muestras, por saco de cemento se obtendrá 24 adoquines de concreto; este proceso se realizará para cada porcentaje de plástico a implementar (0%, 1%, 3% y 5%). Los porcentajes implementados en el proyecto se deben a que la dosificación se realizará en relación al peso de los materiales, más no a su volumen.

Para la fabricación se inició mezclando el agregado fino, cemento y plástico en la tolva por alrededor de dos minutos, se le agrega el agua y se mezcla por 3 minutos más. Se abre la compuerta que contiene la tolva y el material empieza a caer en una banda donde el material llegara a la parte superior de la máquina de prensado. Se colocará el respectivo molde (Tipo Cruz), el material caerá y estará sobre una mesa vibratoria para que pueda ser prensada las muestras. Posterior se dejará secar durante 24 horas para ser curadas durante todo el proceso hasta su ruptura.

#### **3.6.4. Ensayo de adoquines de concreto**

Los ensayos de laboratorio para adoquines se realizarán a tracción indirecta y compresión para conocer la resistencia de cada una de ellas. En la cual se comprobará si agregar un determinado porcentaje de plástico reciclado mejora las características mecánicas de los adoquines y la correlación existente entre los dos ensayos. Para este ensayo se basará en la INEN.

#### **3.7. Aspectos éticos.**

El trabajo de investigación en todo momento se involucra con toda la responsabilidad de ética en el mismo, en la cual se considera si es necesario el levantamiento de información de toda la población.

Por lo tanto, es fundamental desarrollar la investigación con responsabilidad, honestidad, claridad y honradez, el presente estudio se desarrollará con toda la veracidad aplicada.

## **CAPÍTULO 4. ENSAYO DE AGREGADOS PÉTREOS**

### **4.1. Ensayo de materiales pétreos para la fabricación de muestras de adoquines**

El análisis previo a la fabricación de adoquines de hormigón está dado por los ensayos de laboratorio de los materiales pétreos, rigiéndose en las normas respectivas, ver anexo 4.

#### **4.1.1. Porcentaje de humedad**

El ensayo determina el porcentaje de humedad que se puede evaporar durante un proceso de secado de un agregado, tanto el correspondiente al contenido de humedad en los poros del árido como la humedad superficial del mismo.

El ensayo tiene una precisión que sirve para corregir la cantidad de agua en la mezcla de hormigón. La metodología mide confiablemente la humedad que existe en una muestra de agregado y no determinar las diferencias que se pueden presentar en el depósito. En caso de que los áridos sean alterados por factores externos, se requerirá una medición más refinada, es decir, se deberá utilizar un horno ventilado que controle la temperatura (INEN 862, 2011).

##### *4.1.1.1. Equipos.*

- Balanza: Equipo preciso, legible y con una sensibilidad de 0.1%.
- Horno: equipo que ayude a conservar una temperatura entre los  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Recipiente: De volumen suficiente para evitar riesgos de derrames o pérdidas de material.

#### 4.1.1.2. Procedimiento.

Se determinará la masa del agregado a secar con una aproximación del 0.1%.

Se secará el material en un recipiente en un horno de temperatura controlada, debido a que temperaturas altas puede afectar las propiedades del árido.

La masa se encontrará en su totalidad seca.

Luego se deja enfriar el recipiente el tiempo necesario para no afectar a la balanza y ser pesado el agregado.

#### 4.1.1.3. Resultados del contenido de humedad del agregado fino.

**Tabla 1**  
Porcentaje de humedad del agregado fino.

P. Cap. + S. H.	P. Cap. + S. S.	P. Cap.	% Humedad	Promedio
300,79	291,3	49,54	3,93	3,96
302,71	292,54	37,79	3,99	

#### 4.1.1.4. Resultados del contenido de humedad agregado grueso.

**Tabla 2**  
Porcentaje de humedad del agregado grueso.

P. Cap. + S. H.	P. Cap. + S. S.	P. Cap.	% Humedad	Promedio
345,58	334,51	61,49	4,05	4,38
316,71	305,09	58,31	4,71	

### 4.1.2. Índices de plasticidad.

#### 4.1.2.1. Limite liquido

El ensayo tiene como finalidad determinar el contenido de agua en el suelo entre su comportamiento líquido, valiéndose del equipo de casa grande, que dado por un

especifico número de golpes, se determina la fluencia de la muestra en situaciones normalizadas (INEN 691, 1982).

#### *4.1.2.2. Limite plástico*

El ensayo tiene como finalidad dar a conocer el contenido de agua de un material entre los límites sólidos y plásticos, para lo cual se aplica un proceso de enrolado para eliminar gradualmente el agua hasta que la muestra se empiece a fisurar (INEN 692, 1982).

#### *4.1.2.3. Resultados de plasticidad del agregado fino y grueso*

Debido a que los agregados no contienen materia orgánica, su índice de plasticidad es nulo, es decir, el límite líquido y su límite plástico es 0. Los agregados que se utilizaron para el análisis son de canteras donde los materiales son lavados, por lo tanto, reduce la probabilidad de que estos contengan plasticidad.

### **4.1.3. Granulometría de los agregados**

El ensayo determina la distribución granulométrica de los áridos, tanto finos como gruesos, por tamices designados. Se aplica para conocer la gradación de los agregados con la finalidad de ser utilizados como agregados para una mezcla de hormigón u otras actividades civiles. Los resultados de estos determinaran el cumplimiento de la distribución granulométrica con condiciones aplicadas para que se puede llevar a cabo un control de calidad adecuado, así como su producción (INEN 696, 2011).

Una adecuada granulometría para implementar en un diseño de hormigón es una combinación del porcentaje de agregados, cumpliendo con lo más importante, los agregados ocuparan la mayor cantidad de volumen, tratando de que los vacíos disminuyan

de la mezcla, es decir determinar una mezcla que se aproxime a un porcentaje nulo de vacíos.

En los agregados el tamaño nominal máximo afecta a los porcentajes de los agregados a utilizar, de tal forma la cantidad de agua y cementante utilizado para la mezcla de hormigón.

#### *4.1.3.1. Equipo*

- **Balanzas:** Para el agregado fino la balanza debe tener una legibilidad de 0.1gr y una precisión de 0.1gr. Para el agregado grueso se debe tener una legibilidad de 0.5gr
- **Tamices:** Deben ser montadas en marcos para evitar pedidas del árido cumpliendo para la granulometría que se aplique en función a la NTE INEN 154.
- **Tamizadora mecánica:** Consiste en que las partículas reboten y caigan de tamiz en tamiz en un tiempo determinado.
- **Horno:** Equipo con la capacidad de llegar a temperaturas entre  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

#### *4.1.3.2. Procedimiento Agregado Fino*

Se muestrea del agregado, es decir se cuartea la muestra para obtener muestras representativas del árido. Se obtendrá la masa del material y el peso de la bandeja a utilizar.

La muestra será lavada y secada al horno para después será tamizada. Se colocan los tamices en el siguiente orden: 3/8", N°. 4, N°. 8, N°. 16, N°. 30, N°. 50, N°.100, N°.

200; se procede a tamizar ya sea mecánicamente o manual, para que pueda pasar el material por los diferentes tamices y no exista pérdidas

Al ocupar cada tamiz este deberá ser limpiado con un cepillo de acero para no perder material. Una vez obtenidos los valores, será tabulados e ingresar a una hoja de cálculo para conocer las propiedades del material, se obtendrá la curva granulométrica y el módulo de finura del agregado.

#### *4.1.3.3. Procedimiento Agregado Grueso*

Se realiza el muestreo del agregado, es decir se cuarteo la muestra para obtener muestras representativas del árido.

Se pesará el material escogido de uno de los cuarteos para conocer el peso de la bandeja y del agregado.

La muestra será lavada y secada al horno para después será tamizada.

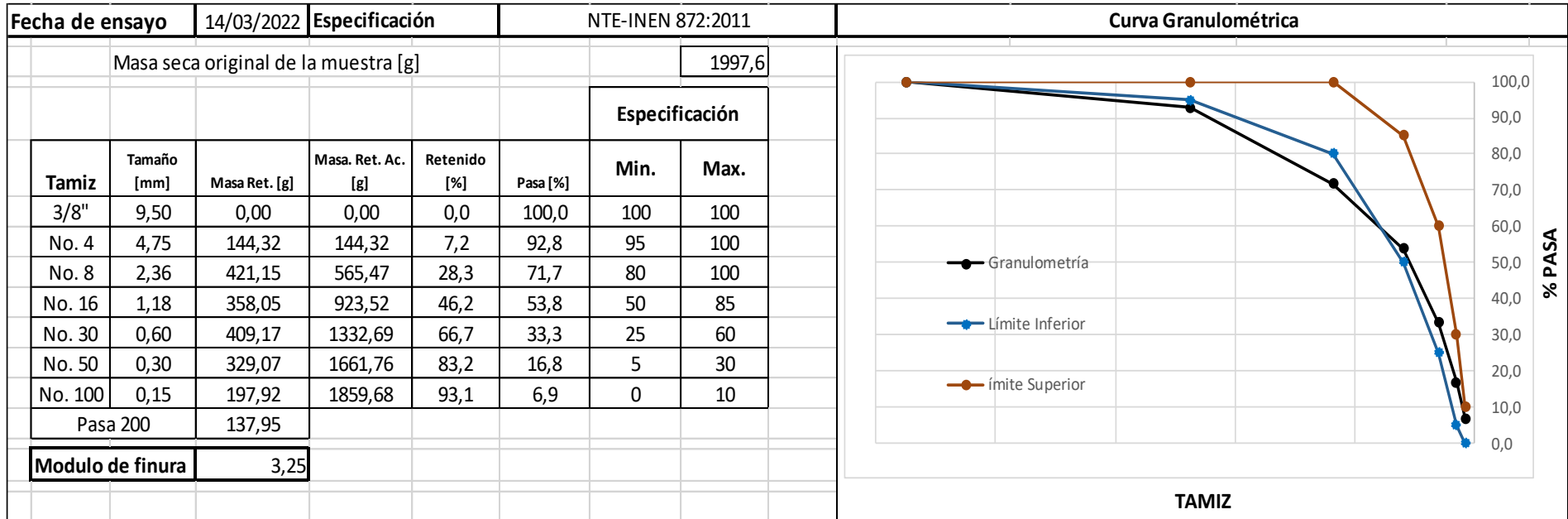
Se toma la muestra seca y se vierte en una serie de tamices, de forma que se obtenga una torre, debe contener los siguientes tamices: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4, N°. 8, N°.16, y N°. 30; se procede a tamizar ya sea mecánicamente o manual, para que pueda pasar el material por los diferentes tamices y no exista pérdidas

Una vez obtenidos los valores, será tabulados e ingresar a una hoja de cálculo para conocer las propiedades del material, se obtendrá la curva granulométrica y el módulo de finura del agregado.

#### *4.1.3.4. Resultado*

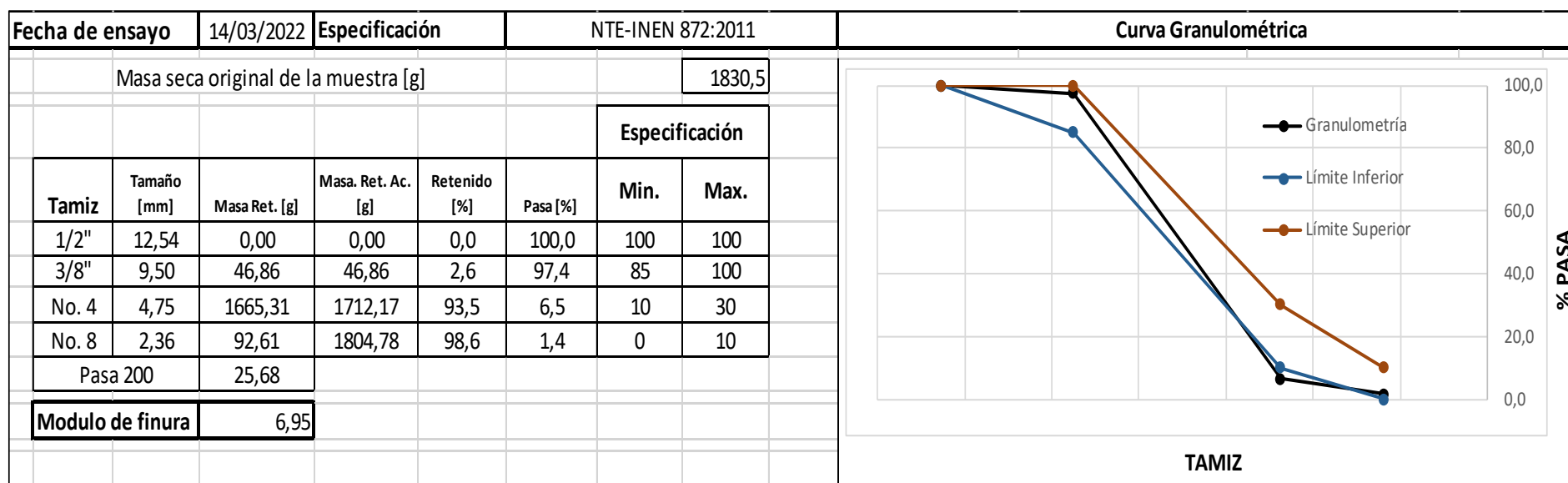
4.1.3.5. Datos de la granulometría del agregado fino

**Tabla 3**  
Granulometría del agregado fino.



4.1.3.6. Resultados de la granulométrico del agregado grueso

**Tabla 4**  
Granulometría del material grueso.



#### **4.1.4. Ensayo de degradación del agregado**

El ensayo determina el valor de la degradación de los agregados al ocupar la máquina de los ángeles, esta posee un tambor cilíndrico giratorio con una compuerta que servirá para colocar las esferas de acero y el material respectivo para el ensayo. Este se utiliza como indicador de calidad relativa que tienen composiciones mineralógicas similares. La máquina es accionada con un motor calibrado, el cual produce una rotación entre las 100 y 500 revoluciones (INEN 861, 2011).

El ensayo determina la cantidad de material que se pierde de un agregado, es el resultado de acciones de desgaste del agregado, el impacto que se produce en el tambor giratorio se da por esferas de acero, la cantidad se determina según el método de gradación. El tambor empieza a girar a determinadas revoluciones y dentro de esta se encuentran las esferas y la muestra, el material se eleva manera que caigan al otro lado del tambor creando un impacto de gradación. Luego de un número específico de revoluciones aplicados en la maquina se retira el agregado del tambor para medir la degradación como porcentaje de pérdida. El resultado viene dado por el porcentaje que pasa el tamiz N°12, respecto al peso inicial.

##### *4.1.4.1. Equipo*

- Máquina de los Ángeles: cumplir con la norma NTE INEN 860:2011
- Tamices: según la gradación se escogerán los tamices, después del ensayo se lavará el material por el tamiz N°12.
- Balanza: Una precisión del 0.1%.
- Carga: 12 esferas de acero que serán ocupadas en función al método a escoger que se basa en la granulometría.

#### *4.1.4.2. Procedimiento*

Se escogen los métodos aplicados según la granulometría. Se debe tamizar y lavar el material, obteniendo las cantidades necesarias para el ensayo.

Cuando este seco el material, ingresa el agregado y las esferas correspondientes a la máquina de los ángeles.

Después de concluidas las revoluciones aplicadas a la máquina de los ángeles se recolecta todo el material y se lava en el tamiz N°12, se saca la relación en porcentaje entre el peso total de la muestra y el material seco que paso el tamiz N°12.

4.1.4.3. Resultados de abrasión del agregado grueso

**Tabla 5**  
Abrasión para el agregado grueso tipo B.

Datos de la Muestra	
ODS	Tipo de Material Pasante 3/4" - Retenido 3/8"
Datos y Resultados del Ensayo	
GRADACIÓN TIPO: <input type="text" value="B"/>	
N° De Esferas: <input type="text" value="11"/>	
A	Peso inicial de la muestra (gr.) <input type="text" value="5008,5"/>
B	Peso Retenido en tamiz No.12 despues de 500 revoluciones (gr.) <input type="text" value="4090"/>
C	Pérdida de material después de 500 revoluciones (gr.) <input type="text" value="918,5"/>
D	% Abrasión después de 500 revoluciones (%) <input type="text" value="18,3"/>
<b>Fórmulas:</b>	
$C = A - B$	
$D \% = \frac{C}{A} \times 100$	

**Tabla 6**  
Abrasión del agregado grueso tipo C.

Datos de la Muestra		
ODS		Tipo de Material Pasante 3/8" - Retenido #4
Datos y Resultados del Ensayo		
GRADACIÓN TIPO: <input style="width: 50px;" type="text" value="C"/>		
N° De Esferas: <input style="width: 50px;" type="text" value="8"/>		
<b>A</b>	Peso inicial de la muestra (gr.)	<input style="width: 60px;" type="text" value="5001,5"/>
<b>B</b>	Peso Retenido en tamiz No.12 despues de 500 revoluciones (gr.)	<input style="width: 60px;" type="text" value="3913"/>
<b>C</b>	Pérdida de material después de 500 revoluciones (gr.)	<input style="width: 60px;" type="text" value="1088,5"/>
<b>D</b>	% Abrasión después de 500 revoluciones (%)	<input style="width: 60px;" type="text" value="21,8"/>
<b>Fórmulas:</b>		
$C = A - B$		
$D \% = \frac{C}{A} \times 100$		

#### 4.1.5. Ensayo para determinar el contenido de materia orgánica en el agregado.

Ayuda a determinar si el agregado fino contiene o no materia orgánica, si el caso fuera que contenga materia orgánica esta perjudicaría a las propiedades de resistencia del hormigón al elaborarse. Cuanto el agregado fino presenta composición orgánica el hormigón disminuye la calidad y resistencia; para evitar inconvenientes con el agregado fino es fundamental analizar si se desea utilizar para una mezcla de hormigón (INEN 855, 2011).

##### 4.1.5.1. Equipo

- Botellas de vidrio. Deberá tener medidas y transparentes un volumen nominal de 240 a 470 cm<sup>3</sup>.
- Volumen de color normalizado 75 cm<sup>3</sup>

- Volumen de árido fin 130 cm<sup>3</sup>
- Volumen de NaOH de 200 cm<sup>3</sup>
- Comparador de colores normalizados: Según la norma ASTM D 1544

#### 4.1.5.2. Procedimiento

En el recipiente transparente se vierte el árido fino hasta ocupar un volumen de 130cm<sup>3</sup>.

Se agregará el hidróxido de sodio hasta que ocupe un volumen de 200cm<sup>3</sup>.

Se tapa la botella, se agitará y reposará durante 24 horas.

Se determina el color de la botella.

#### 4.1.5.3. Resultados de la colorimetría agregado fino.

**Tabla 7**  
Colorimetría del agregado fino.

Reactivo utilizado	Solucion al 3% de Hidróxido de Sodio
<b>Color normalizado escala de Gardner No.</b>	<b>Número de orden en el comparador</b>
5	1
8	2
11	3 (Estandar)
14	4
16	5
<b>Calificación del resultado de acuerdo a la cartilla de colores</b>	1

#### 4.1.6. Gravedad específica

Es la fracción entre el peso y el volumen respectivo que ocupa, es una propiedad importante para los materiales pétreos, debido a que este permite conocer otras características que se derivan del mismo tales como: relación de vacíos, permeabilidad y el nivel de saturación. Se determina en función a la relación entre la masa y el volumen 3 tipos de densidades

**Densidad Aparente.** - Esta dada por la fracción de la masa en el ambiente de un volumen dado de un material, tomando en cuenta la saturación de los poros y la masa de un volumen de agua destilada a una temperatura constante.

**Densidad Aparente S. S. S.** - Este dado por la fracción entre una masa en el ambiente de un volumen de un material, en este proceso se incluirá los poros saturables después de haber estado sumergidos durante 24 horas, siendo estas comparadas con la masa de un volumen de agua destilada a temperatura constante.

**Densidad Aparente.** - Este dado por la fracción entre la masa en el ambiente de un volumen dado de un material, en este se incluirá los poros no saturables y la masa de agua destilada a una temperatura establecida.

**Capacidad de absorción.** – Al tener porosidades superficiales los agregados, el ingreso de agua es inminente, debido a esto es fundamental conocer su nivel o capacidad para absorber agua ara sus debidas correcciones en el diseño.

##### 4.1.6.1. Equipo para el ensayo del agregado fino

- Balanza: Precisión de 0.1 gr, la diferencia de lecturas debe estar dentro de 0.1 de rango de carga.

- Picnómetro: Este proceso gravimétrico, el equipo debe facilitar el ingreso del agregado fino y las marcas tendrán que ser legibles dentro del  $\pm 0.1\text{cm}^3$ . Su volumen deberá ser mayor en un 50% para acomodar la muestra del ensayo.

- Molde y compactador: Se utiliza un envase metálico cónico truncado de 90 mm  $\pm 3\text{mm}$  de diámetro interno inferior, 40mm  $\pm 3\text{mm}$  de diámetro interno superior, 75mm  $\pm 3\text{mm}$  de altura y un espesor de 0.8mm. El peso para compactador de 340 gr  $\pm 1$  gr y su cara de diámetro de 25 mm  $\pm 3\text{mm}$ .

- Horno: Equipo con la capacidad de perpetuar una temperatura de  $110\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ .

#### *4.1.6.2. Procedimiento para el agregado fino*

El picnómetro se llena de agua casi en su totalidad con una muestra de arena saturada superficialmente seca de 500gr  $\pm 10$  gr, después se llena hasta un noventa por ciento de capacidad del picnómetro.

Este será agitado de una manera que no altere a la muestra, con el objetivo de quitar el aire presente.

Después de eliminar el aire en la muestra, se debe aplicar una temperatura al picnómetro entre los  $23.0\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$  y llenarla hasta su nivel de calibración. Se determina el peso total del picnómetro, agua y muestra.

Se retiran el material y se mete al horno a  $110\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ , para conseguir una masa constante.

Para la absorción se utiliza una masa de  $500\text{gr} \pm 10\text{gr}$  de agregado en condiciones SSS, se seca hasta obtener un peso constante y conocer la masa seca (INEN 856, 2010).

#### *4.1.6.3. Equipo para el ensayo del agregado grueso*

- Balanza: Capacidad sensible y legible, una sensibilidad de 0.5gr.
- Recipiente para la muestra: Canastilla mallada de abertura del N°6 de un volumen de alrededor de 6 litros, para un tamaño del material de 37.5 mm.
- Tanque hermético: Se suspende debajo de la balanza
- Tamices: según sea necesario.
- Horno: Equipo para mantener constante la temperatura de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

#### *4.1.6.4. Procedimiento para el agregado grueso*

La muestra se debe secar a  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  hasta obtener una masa constante dejar enfriar de 1 a 3 horas y pesar. Sumergir el material durante 24 horas a temperatura ambiente.

Se retira la muestra del agua, y se seca superficialmente los agregados para retirar el agua visible. No se debe perder contenido de humedad.

Se determina la masa en aire e inmediatamente se coloca la muestra en un recipiente para conocer la masa aparente en agua  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ . Retirar todos los vacíos de la muestra.

Secar la muestra a  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  y dejar durante 1 a 3 horas y determinar su masa (INEN 857, 2010).

4.1.6.5. Resultados para la gravedad específica del agregado fino

**Tabla 8**  
Gravedad específica del agregado fino.

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #	#4		RETIENE EN EL TAMIZ #		
Nº DE PICNOMETRO			1	2	P R O M E D I O
MASA MUESTRA SUPERFICIE SATURADA (SSS)	S	gr.	501,08	501,43	
MASA MUESTRA SECA AL HORNO (SH)	A	gr.	489,28	488,85	
MASA DE PICNOMETRO+AGUA (CALIBRACION)	B	gr.	643,05	648,23	
MASA DE PICNOMETRO+AGUA+MUESTRA	C	gr.	955,11	960,28	
TEMPERATURA	T	°C	25° C	25° C	
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SH)			2,589	2,581	2,585
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSS)			2,651	2,648	2,649
DENSIDAD APARENTE (GRAV. ESP.APARENTE) (Ga)			2,761	2,765	2,763
FORMULAS					
$SH = \frac{A}{(B+S-C)}$			$SSS = \frac{S}{(B+S-C)}$		$Ga = \frac{A}{(B+A-C)}$
DENSIDAD SECA AL HORNO	(DSH)	Kg/m3	2,583	2,576	2,580
DENSIDAD ( SSS )	(DSSS)	Kg/m3	2,646	2,642	2,644
DENSIDAD APARENTE	(DA)	Kg/m3	2,755	2,759	2,757
ABSORCIÓN	A %		2,41	2,57	2,49
FORMULAS					
$DSH = \frac{(0,998xA)}{(B+S-C)}$			$DSSS = \frac{(0,998xS)}{(B+S-C)}$		$DA = \frac{(0,998xA)}{(B+A-C)}$
					$Abs = \frac{(S-A)}{A} \times 100$

4.1.6.6. Resultados de la gravedad específica del agregado grueso

**Tabla 9**  
Gravedad específica del agregado grueso.

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #			RETIENE EN EL TAMIZ # 4		
Nº DE ENSAYO			cno.p	con.o	P R O M E D I O
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE (SSS)	B	gr.	2071	2082	
MASA EN AGUA DE AGREGADO SATURADO	C	gr.	1256	1260	
TEMPERATURA	T	°C	25	25	
Nº DE RECIPIENTE			Z2	Z3	
MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA		gr.	2198	2197	
MASA DEL RECIPIENTE		gr.	186	172	
MASA MUESTRA SECA	A	gr.	2012	2025	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	K		0,9971	0,9973	
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA)	(SH)		2,462	2,457	2,459
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA)	(SSS)		2,534	2,526	2,530
DENSIDAD APARENTE (GRAV. ESP.APARENTE)	(Ga)		2,654	2,640	2,647
FORMULAS					
$SH = \frac{A}{(B-C)}$			$SSS = \frac{B}{(B-C)}$		$Ga = \frac{A}{(A-C)}$
DENSIDAD SECA AL HORNO	(DSH)	Kg/m3	2463	2457	2460
DENSIDAD ( SSS )	(DSSS)	Kg/m3	2535	2527	2531
DENSIDAD APARENTE	(DA)	Kg/m3	2655	2640	2648
ABSORCIÓN	A %		2,93	2,81	2,87
FORMULAS					
$DSH = \frac{(0,998xA)}{(B-C)}$		$DSSS = \frac{(0,998xB)}{(B-C)}$		$DA = \frac{(0,998xA)}{(A-C)}$	$Abs = \frac{(B-A)}{A} \times 100$

#### **4.1.7. Pesos volumétricos sueltos y compactados**

El ensayo se debe realizar en condiciones secas, en unidades de transporte se deberá corregir debido a que el contenido de agua afectará a su densidad. La densidad aparente de un material, conocer el volumen de vacíos, poros y del agregado (INEN 858, 2010).

##### *4.1.7.1. Equipos*

- Balanza: Una precisión de 0.05kg.
- Varilla para compactación: Varilla lisa de 16mm de diámetro en acero y aproximadamente 600mm, en sus extremos redondeados con una semiesférica de 16mm de diámetro.
- Molde: recipiente cilíndrico, lo más rígido posible para evitar deformaciones por uso excesivo.
- Cucharón: de tamaño adecuado para facilitar el uso y llenando del molde con el agregado.

##### *4.1.7.2. Procedimiento*

Compactado: Se llena el tercio del molde con material y se nivela la superficie, se compacta con 25 golpes con la varilla redondeada lisa repartidos uniformemente en todo el molde. Repetir el proceso para las dos capas siguientes. La compactación en el primer tercio no se debe golpear fuertemente el fondo del molde. Para las demás capas debe ser fuerte y evitando llevar a las capas anteriores.

Suelta: Llenar el molde con material a caída libre a una altura desde la parte superior del molde no superior a 50 mm, evitando que se segregue el material, se nivela la superficie con una regleta.

4.1.7.3. Resultados para el agregado fino

**Tabla 10**  
Pesos volumétricos del agregado fino.

<b>ENSAYO PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS FINOS-ARENA</b>			
<b><u>SUELTO</u></b>			
<b>DATOS</b>		<b>ENSAYOS</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>
		<b>3</b>	
Peso del Recipiente (gr)		8064	8064
Volumen del Recipiente (cm <sup>3</sup> )		3048,50	3048,50
Recipiente + Material (gr)		12571	12585
Peso del Material (gr)		4507	4521
Peso Volumétrico (gr/cm <sup>3</sup> )		1,478	1,483
			1,484
<b>Peso Volumétrico Promedio Kg</b>		<b>1482 Kg/m<sup>3</sup></b>	
<b><u>COMPACTADO</u></b>			
<b>DATOS</b>		<b>ENSAYOS</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>
		<b>3</b>	
Peso del Recipiente (gr)		8064	8064
Volumen del Recipiente (cm <sup>3</sup> )		3048,50	3048,50
Recipiente + Material (gr)		13282	13315
Peso del Material (gr)		5218	5251
Peso Volumétrico (gr/cm <sup>3</sup> )		1,712	1,722
			1,719
<b>Peso Volumétrico Promedio Kg</b>		<b>1718 Kg/m<sup>3</sup></b>	

4.1.7.4. Resultado para el agregado grueso

**Tabla 11**  
Peso volumétrico del agregado grueso.

<b><u>SUELTO</u></b>			
<b>DATOS</b>	<b>ENSAYOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente (gr)	8064	8064	8064
Volumen del Recipiente (cm <sup>3</sup> )	3048,50	3048,50	3048,50
Recipiente + Material (gr)	11642	11609	11646
Peso del Material (gr)	3578	3545	3582
Peso Volumétrico (gr/cm <sup>3</sup> )	1,174	1,163	1,175
<b>Peso Volumétrico Promedio Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1171 Kg/m<sup>3</sup></b>		
<b><u>COMPACTADO</u></b>			
<b>DATOS</b>	<b>ENSAYOS</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente (gr)	8064	8064	8064
Volumen del Recipiente (cm <sup>3</sup> )	3048,50	3048,50	3048,50
Recipiente + Material (gr)	12141	12222	12170
Peso del Material (gr)	4077	4158	4106
Peso Volumétrico (gr/cm <sup>3</sup> )	1,337	1,364	1,347
<b>Peso Volumétrico Promedio Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1349 Kg/m<sup>3</sup></b>		

## 4.2. Dosificaciones de hormigón

### 4.2.1. Mezcla inicial.

En primera instancia se diseñó una mezcla de hormigón para adoquines para una resistencia a la compresión a los 28 días de 400kg/cm<sup>2</sup>; se ocuparon los dos agregados, tanto el árido fino como el árido grueso. La resistencia a la compresión cumple con lo esperado, pero la superficie de los adoquines es rugosa y porosa, para elementos de adoquines la superficie debe ser lisa. Se puede observar los agregados a simple vista en la siguiente figura.

**Figura 12**  
Mezcla inicial de adoquines preliminar, superficie rugosa.



Fuente. Propia

### 4.2.2. Mezclas para un hormigón de un $f'c=400$ kg/cm<sup>2</sup>

Para la mezcla de hormigón óptima que se utilizó en la investigación, se ocupó un solo agregado, el árido fino. Para el diseño se calculó las cantidades que conforma un hormigón para adoquines, con la finalidad de tener resultados eficaces con mejoras en sus propiedades. La cantidad de agua se mantendrá debido a que la relación agua/cemento será la misma para todas las dosificaciones.

Se aplicaron 4 diseños para la dosificación de adoquines, la primera dosificación se aplica el árido fino, cemento y agua, para las demás dosificaciones se considera un remplazo en la arena por un porcentaje de plástico (1%, 3%,5%) en relación al peso de la arena. Es necesario conocer los parámetros de módulo de finura, gravedades específicas, pesos volumétricos de los agregados que son acopiados en la planta para posteriormente ser dosificadas.

### 1.- RESISTENCIA MEDIA DE LABORATORIO

$$f_{ck} = 400,00 \quad [\text{kg/cm}^2]$$

Como  $f_{ck} > 352$ ;  $f_{cm} = f_{ck} + 98$

$$f_{cm} = \boxed{498,9} \quad [\text{kg/cm}^2]$$

### 2.- VOLUMEN DE AGUA

$$\text{TMN} = 3/8 \text{ "} \quad \text{Asent.} = 0 \text{ [cm]}$$

$$A = \boxed{165} \quad [\text{lt/m}^3 \text{ H}^\circ]$$

$$\text{Aire incorporado} = \boxed{2,0 \%}$$

### 3.- RELACION AGUA/CEMENTO

$$f_{cm} = 498,9 \quad [\text{kg/cm}^2]$$

$$a/c = \boxed{0,331}$$

### 4.- CANTIDAD DE CEMENTO

$$C = \frac{A}{a/c} = \frac{165}{0,33} \quad C = 498,5 \text{ [kg]}$$

## 5.- CANTIDAD DE GRAVA

$$M_{\text{far}} = 3,25$$

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

$$V_G = \boxed{0,000 \text{ [m}^3\text{]}}$$

$$P_G = 0,00 \text{ [kg]}$$

## 6.- CANTIDAD DE ARENA

$$V_{\text{Ar}} = 0,643 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$P_{\text{Ar}} = 1662,432 \text{ [kg]}$$

## 7.- CORRECCION POR ABSORCION Y HUMEDAD

Debido a las propiedades de absorción de los agregados se calcula un aumento o una disminución de agua a la calculada.

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 140,562 \text{ [kg]}$$

## 8.- PESO HUMEDO

$$P_{\text{hAr}} = \frac{1728,264}{\text{[kg]}}$$

$$P_{\text{hG}} = 0,000 \text{ [kg]}$$

## 9.- TABLA DE RESUMEN

**Tabla 12**  
Resumen de dosificación.

Material	Por peso p/1 m <sup>3</sup> [H°]		Relación	Por volumen p/1 m <sup>3</sup> [H°]	Para 2,0 [lt]	Para una bolsa de cemento
	Seco	Húmedo				
Agua	165,00	140,56	0,28	0,141	0,28	14,1
Cemento	498,49	498,49	1	0,172	1,00	50,0
Grava	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,0
Arena	1662,43	1728,26	3,47	0,643	3,46	173,4

4.2.2.1. Resultado dosificación 400kg/cm<sup>2</sup> sin plástico

**Tabla 13**  
Dosificación de hormigón para un  $f_c=400\text{kg/cm}^2$ .

CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES A USAR PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO			
<b>Cantera de donde se extraen los materiales :</b>			
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO			
Resistencia a la compresión especificada del Concreto ( $f_c$ ) =	400	kg / cm <sup>2</sup>	
Desviación estándar de antiguos ensayos realizados en esta Cantera	57,5	kg / cm <sup>2</sup>	
Resistencia promedio a la compresión del Concreto	499	kg / cm <sup>2</sup>	
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES			
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Peso específico de masa	2,59	Tamaño máximo nominal ( Pulg. )	:
Absorción ( % )	2,49	Peso seco compactado ( kg / m <sup>3</sup> )	:
Contenido de Humedad ( % )	3,96	Peso específico de masa	:
Módulo de finura	3,25	Absorción ( % )	:
		Contenido de Humedad ( % )	:
CEMENTO		AGUA	
Tipo de Cemento Portland	TIPO I		
Peso Específico	2,90		
DISEÑO DE MEZCLA			
Selección del Asentamiento :		Tipo de consistencia : Seca	
		Asentamiento : 0" a 2"	
Tipo de Concreto a diseñar :		Concreto aire incorporado	
Volumen unitario de Agua :		165,00	lt / m <sup>3</sup>
Contenido de aire total :		2,00	%
Relación Agua / Cemento :		0,331	
Factor cemento :		Factor Cemento =	498,49 Kg / m <sup>3</sup>
		Factor Cemento =	10,0 Bolsas / m <sup>3</sup>
Contenido de	Agregado Grueso Seco Compactado por Unidad de Volumen del Concreto :	0	m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	Peso del Agregado Grueso :	0	Kg / m <sup>3</sup>
Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los materiales		Cemento	: 0,172 m <sup>3</sup>
		Agua	: 0,165 m <sup>3</sup>
		Aire	: 0,020 m <sup>3</sup>
		Agregado Grueso	: 0,000 m <sup>3</sup>
		Suma de Volúmenes	: 0,357 m <sup>3</sup>
Contenido de Agregado Fino		Volumen Absoluto de Agregado Fino	: 0,643 m <sup>3</sup>
		Peso del Agregado Fino seco	: 1662,43 Kg / m <sup>3</sup>
Cantidad de materiales a ser empleados como valores de diseño por m <sup>3</sup>		Cemento	: 498,49 Kg / m <sup>3</sup>
		Agua de diseño	: 140,56 lt / m <sup>3</sup>
		Agregado Fino	: 1728,00 Kg / m <sup>3</sup>
		Agregado Grueso	: 0,00 Kg / m <sup>3</sup>
Cantidad de materiales en peso que se necesitan para un saco de cemento		Cemento	: 50,00 Kg / saco
		Agua de diseño	: 14,10 lt / saco
		Agregado Fino humedad N.	173,32 Kg / saco
		Agregado Grueso Humedad N.	0,00 Kg / saco
Proporción en peso de los materiales sin ser corregidos por humedad del agregado		Cemento	: 1
		Agregado fino	: 3,47
		Agregado grueso	: 0,00
		Agua de Diseño	: 14,1 lt / saco

4.2.2.2. Resultado de dosificación 400kg/cm<sup>2</sup>, 1% de plástico

**Tabla 14**  
Dosificación para un  $f_c=400\text{kg/cm}^2$  y 1% de plástico.

<b>Cantidad de materiales en peso que se necesitan para un saco de cemento</b>	Cemento:	50,00	Kg / saco
	Agua de diseño:	14,10	lt / saco
	Agregado Fino humedad N:	171,59	Kg / saco
	Agregado Grueso Humedad N. :	0,00	
	Plástico reciclado:	1,73	Kg / saco

4.2.2.3. Resultado dosificación 400kg/cm<sup>2</sup>, 3% de plástico

**Tabla 15**  
Dosificación para un  $f_c=400\text{kg/cm}^2$  y 3% de plástico.

<b>Cantidad de materiales en peso que se necesitan para un saco de cemento</b>	Cemento:	50,00	Kg / saco
	Agua de diseño:	14,10	lt / saco
	Agregado Fino humedad N:	168,12	Kg / saco
	Agregado Grueso Humedad N. :	0,00	
	Plástico reciclado:	5,20	Kg / saco

4.2.2.4. Resultado dosificación 400kg/cm<sup>2</sup>, 5% de plástico

**Tabla 16**  
Dosificación para un  $f_c=400\text{kg/cm}^2$  y 5% de plástico.

<b>Cantidad de materiales en peso que se necesitan para un saco de cemento</b>	Cemento:	50,00	Kg / saco
	Agua de diseño:	14,10	lt / saco
	Agregado Fino humedad N:	164,66	Kg / saco
	Agregado Grueso Humedad N: :	0,00	
	Plástico reciclado:	8.67	Kg / saco

## **CAPÍTULO 5. ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA ADOQUINES CONVENCIONALES Y ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO**

El ensayo a compresión es la metodología más utilizada para determinar las características del hormigón, dado que es el inicio para determinar que la mezcla de hormigón sea el correcto y el estudio se optimo. Para obtener la resistencia a la compresión en muestras de adoquín se emplean métodos los cuales deben ser analizado e interpretados de la mejor manera, evitando presenciar resultados erróneos durante el ensayo.

### **5.1. Normas**

La norma utilizada para conocer la propiedad mecánica a la compresión de adoquines en el Ecuador es la normativa INEN 1488. Esta guía muestra el proceso, equipos, desarrollo y cálculos para tener resultados acerca de la resistencia característica de un grupo de adoquines, la resistencia promedio y desviación estándar.

La metodología del ensayo para evaluar la compresión de muestras de adoquines de hormigón, es aplicable en adoquines utilizados tanto para tránsito vehicular como peatonal. La norma describe el proceso del adoquín al ser sometido a cargas a compresión crecientes hasta que se produzca la falla, esta ocurriría cuando el adoquín no queda soportar más carga.

#### **5.1.1. Especificaciones**

Las especificaciones a seguir se encuentran descritas en la norma INEN 1485, para adoquines.

La normativa INEN 1484, explica que se debe tomar la muestra de 10 adoquines aleatoriamente, ensayadas húmedas, para lo cual las muestras de adoquines de hormigón deben

estar sumergidas 24 horas antes del ensayo. Antes de sumergirles en agua se debe tomar las dimensiones y el área de la sesión de la resistencia del adoquín. Se deberá refrentar las caras del adoquín para evitar irregularidades y posibles fallas no referentes al ensayo. Después se coloca la muestra en el equipo y los resultados será la relación entre la carga máxima aplicada y la superficie de contacto del adoquín, este valor será multiplicado por un factor de corrección de forma según la tabla de la normativa INEN 1488.

### **5.1.2. Tolerancias**

La norma INEN 1488 (INEN 1488, 1986), describe las resistencias mínimas que deberán adquirir las muestras de adoquines de hormigón al ser sometidas al ensayo a compresión. Se encuentran clasificados según el uso, tipo y lugar donde serán colocados los adoquines.

El uso de adoquines donde se utiliza en grandes cantidades, son en vías de bajo tráfico vehicular y su resistencia esperada para este uso ocupacional es de los 400kg/cm<sup>2</sup>. Las muestras no deben presentar demarcaciones o fisuras.

### **5.2. Equipos**

La máquina de ensayo será confiable, con una capacidad suficiente para efectuar el ensayo hasta que el adoquín presente la falla esperada. Se debe colocar placas de acero en sus caras planas a ensayar tipo ROCKWELL C 55.

### **5.3. Toma de muestras**

Para las muestras los adoquines deben estar sin daños en sus caras y se deberá eliminar los rebordes salientes. Si la superficie es rugosa, curvada o con textura, se deberá aplicar un refrentado mecánico o rellenarlo para conseguir superficies planas, evitando eliminar gran cantidad de material.

Los adoquines deberán estar sumergidos durante  $(24 \pm 3)$  h a una temperatura de  $(20 \pm 5)$  °C, se secan y se ensayan inmediatamente.

### **5.4. Ensayo de laboratorio – Procedimiento**

Las muestras de adoquines de hormigones se ensayarán después de haber permanecido durante 24 horas sumergidas, antes de realizar esto, se debe medir la superficie de contacto del adoquín, las placas deben estar libres de residuos o materiales en contacto con la superficie del adoquín y puedan afectar al ensayo. Se utilizarán placas de al menos 25 mm de espesor, siendo estas capaces de transmitir uniformemente las cargas a las muestras.

El adoquín deberá colocarse en el equipo de compresión con el área de desgaste hacia arriba, para que así los ejes transversales y longitudinales estén alineados con los ejes de la placa. La carga aplicada tiene que ser continua aproximadamente a 15 MPa/min, hasta que el adoquín falle y no resista más carga.

### **5.5. Cálculos de resultados a compresión.**

La resistencia a la compresión viene dada por la carga aplicada máxima entre la superficie total de la cara que se encuentra en contacto con el adoquín.

## 5.6. Resultado de las propiedades a compresión de adoquines

La resistencia característica está en función del número de adoquines a ensayar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fc - fmc)^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fc)^2 - \frac{(\sum fc)^2}{n}}{n - 1}}$$

Ecuación. Desviación estándar.

Donde (S) es la desviación estándar, fc en (MPa) es la resistencia a la compresión de cada muestra de adoquines y fmc en (MPa) es la media aritmética de la resistencia a la Compresión

La resistencia característica (fkc) se analiza con la siguiente ecuación.

$$fkc = fmc - 1.64S$$

Ecuación. Resistencia característica a la compresión.

### 5.6.1. Rotura a los 7 días sin Plástico

**Tabla 17**  
Roturas de adoquines sin plástico a los 7 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-097	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin sin Plástco	400,0	1,324	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	28014,0	396,9	333	83	9	86
TIN-098	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin sin Plástco	400,0	1,247	9,48	8,6	70,6	0,91	0,84	27460,0	389,0	327	82	3	7
TIN-099	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin sin Plástco	400,0	1,378	9,47	8,5	70,4	0,90	0,84	27436,0	389,5	327	82	3	9
TIN-100	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin sin Plástco	400,0	1,106	9,46	8,4	70,3	0,89	0,84	27360,0	389,3	327	82	3	8
TIN-101	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin sin Plástco	400,0	1,245	9,45	8,4	70,1	0,89	0,84	25697,0	366,4	308	77	-16	268
TIN-102	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin sin Plástco	400,0	1,365	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	26980,0	382,2	321	80	-3	9
TIN-103	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin sin Plástco	400,0	1,228	9,49	8,3	70,7	0,87	0,84	27221,0	384,8	323	81	-1	1
TIN-104	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin sin Plástco	400,0	1,391	9,47	8,6	70,4	0,91	0,84	27381,0	388,7	327	82	2	6
													324			394	

Desviacion estandar	7,505
$s = \sqrt{\frac{\sum(fc - fmc)^2}{n - 1}}$	

Resistencia caracteristica	311,818
$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$	

### 5.6.2. Rotura a los 14 días sin Plástico

**Tabla 18**  
Roturas de adoquines sin plástico a los 14 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-105	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin sin Plástco	400,0	1,114	9,48	8,6	70,6	0,91	0,84	34560,0	489,6	411	103	-4	13
TIN-106	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin sin Plástco	400,0	1,245	9,47	8,5	70,4	0,90	0,84	34218,0	485,8	408	102	-7	47
TIN-107	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin sin Plástco	400,0	1,331	9,46	8,5	70,3	0,90	0,84	34962,0	497,4	418	104	3	8
TIN-108	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin sin Plástco	400,0	1,056	9,45	8,4	70,1	0,89	0,84	35002,0	499,0	419	105	4	18
TIN-109	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin sin Plástco	400,0	1,347	9,46	8,3	70,3	0,88	0,84	34881,0	496,3	417	104	2	4
TIN-110	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin sin Plástco	400,0	1,451	9,48	8,1	70,6	0,85	0,84	34769,0	492,6	414	103	-1	1
TIN-111	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin sin Plástco	400,0	1,299	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	35101,0	498,3	419	105	4	13
TIN-112	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin sin Plástco	400,0	2,184	9,48	8,6	70,6	0,91	0,84	34779,0	492,7	414	103	-1	1
													415			107	
												Desviacion estandar 3,901		Resistencia caracteristica 408,545			
												$s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$			

### 5.6.3. Rotura a los 28 días sin Plástico

**Tabla 19**  
Roturas de adoquines sin plástico a los 28 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado																									
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros																							
Norma ASTM		X	C-39																								
Equipo		Máquina Compresión																									
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo																							
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2										
	Fundición	Rotura																									
TIN-113	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin sin Plástco	400,0	1,254	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	41231,0	585,4	492	123	12	137										
TIN-114	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin sin Plástco	400,0	1,321	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	39546,0	560,3	471	118	-9	88										
TIN-115	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin sin Plástco	400,0	1,324	9,47	8,3	70,4	0,88	0,84	40254,0	571,5	480	120	0	0										
TIN-116	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin sin Plástco	400,0	1,025	9,46	8,3	70,3	0,88	0,84	40874,0	581,5	488	122	8	72										
TIN-117	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin sin Plástco	400,0	1,116	9,48	8,3	70,6	0,88	0,84	39486,0	559,4	470	117	-10	102										
TIN-118	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin sin Plástco	400,0	1,261	9,45	8,4	70,1	0,89	0,84	40111,0	571,9	480	120	0	0										
TIN-119	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin sin Plástco	400,0	1,177	9,50	8,4	70,9	0,88	0,84	41003,0	578,5	486	121	6	35										
TIN-120	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin sin Plástco	400,0	1,361	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	39735,0	562,9	473	118	-7	51										
													480			485											
Desviacion estandar												8,322		Resistencia característica												466,348	
$s = \sqrt{\frac{\sum (fc - fmc)^2}{n - 1}}$												$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$															

### 5.6.4. Rotura a los 7 días, 1% Plástico

**Tabla 20**  
Roturas de adoquines con 1% de plástico a los 7 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-121	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,315	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	24580,0	348,2	293	73	-4	19
TIN-122	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,047	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	24308,0	344,4	289	72	-8	58
TIN-123	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,298	9,46	8,4	70,3	0,89	0,84	25629,0	364,6	306	77	9	89
TIN-124	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,301	9,47	8,5	70,4	0,90	0,84	25136,0	356,9	300	75	3	8
TIN-125	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,352	9,48	8,6	70,6	0,91	0,84	24887,0	352,6	296	74	-1	0
TIN-126	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,210	9,47	8,5	70,4	0,90	0,84	24966,0	354,5	298	74	1	1
TIN-127	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,188	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	24787,0	351,2	295	74	-2	4
TIN-128	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,147	9,48	8,2	70,6	0,86	0,84	25061,0	355,1	298	75	1	2
													297			180	
												Desviacion estandar 5,077		Resistencia característica 288,550			
												$s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$			

### 5.6.5. Rotura a los 14 días, 1% Plástico

**Tabla 21**  
Roturas de adoquines con 1% de plástico a los 14 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-129	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,114	9,80	8,3	75,4	0,85	0,84	33478,0	443,8	373	93	-15	221
TIN-130	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,058	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	32781,0	464,4	390	98	2	6
TIN-131	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,224	9,47	8,5	70,4	0,90	0,84	32965,0	468,0	393	98	5	30
TIN-132	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,334	9,46	8,4	70,3	0,89	0,84	32478,0	462,1	388	97	0	0
TIN-133	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,291	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	33028,0	467,9	393	98	5	29
TIN-134	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,371	9,48	8,3	70,6	0,88	0,84	32668,0	462,8	389	97	1	1
TIN-135	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,259	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	32974,0	468,1	393	98	6	31
TIN-136	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,336	9,48	8,3	70,6	0,88	0,84	32104,0	454,8	382	96	-6	31
													388			349	

<b>Desviacion estandar</b> 7,065	<b>Resistencia característica</b> 376,082
$s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$	$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$

### 5.6.6. Rotura a los 28 días, 1% Plástico

**Tabla 22**  
Roturas de adoquines con 1% de plástico a los 28 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-137	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,324	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	37950,0	537,7	452	113	14	193
TIN-138	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,142	9,46	8,6	70,3	0,91	0,84	37412,0	532,3	447	112	9	88
TIN-139	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,452	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	37142,0	527,3	443	111	5	27
TIN-140	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,398	9,47	8,3	70,4	0,88	0,84	35147,0	499,0	419	105	-19	346
TIN-141	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,201	9,46	8,5	70,3	0,90	0,84	36741,0	522,7	439	110	1	2
TIN-142	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,130	9,47	8,3	70,4	0,88	0,84	36002,0	511,1	429	107	-8	71
TIN-143	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,258	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	36347,0	514,9	433	108	-5	27
TIN-144	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 1% de Plástico	400,0	1,374	9,47	8,3	70,4	0,88	0,84	36911,0	524,0	440	110	2	6
													438			758	
													Desviacion estandar 10,408		Resistencia característica 420,687		
													$s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$		

### 5.6.7. Rotura a los 7 días, 3% Plástico

**Tabla 23**  
Roturas de adoquines con 3% de plástico a los 7 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-145	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,247	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	21020,0	297,8	250	63	-11	113
TIN-146	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,293	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	22101,0	313,8	264	66	3	8
TIN-147	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 3% de Plástico	400,0	2,199	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	21986,0	311,5	262	65	1	1
TIN-148	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,109	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	22314,0	316,1	266	66	5	23
TIN-149	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,006	9,46	8,3	70,3	0,88	0,84	21886,0	311,4	262	65	1	1
TIN-150	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,107	9,47	8,3	70,4	0,88	0,84	21020,0	298,4	251	63	-10	102
TIN-151	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,207	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	22693,0	321,5	270	68	9	86
TIN-152	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,223	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	22099,0	313,1	263	66	2	5
													261			338	
												Desviacion estandar 6,948		Resistencia característica 249,383			
												$s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$			

5.6.8. Rotura a los 14 días, 3% Plástico

**Tabla 24**  
Roturas de adoquines con 3% de plástico a los 14 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-153	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,224	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	29881,0	423,3	356	89	6	33
TIN-154	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,361	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	29145,0	412,9	347	87	-3	9
TIN-155	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,770	9,48	8,3	70,6	0,88	0,84	29850,0	422,9	355	89	5	29
TIN-156	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,116	9,47	8,3	70,4	0,88	0,84	28991,0	411,6	346	86	-4	17
TIN-157	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,254	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	29334,0	416,5	350	87	0	0
TIN-158	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,228	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	28452,0	403,1	339	85	-11	126
TIN-159	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,301	9,48	8,3	70,6	0,88	0,84	29910,0	423,8	356	89	6	37
TIN-160	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,119	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	29484,0	417,7	351	88	1	1
													350			253	

**Desviacion estandar** 6,011

$$s = \sqrt{\frac{\sum (fc - fmc)^2}{n - 1}}$$

**Resistencia característica** 339,979

$$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$$

**5.6.9. Rotura a los 28 días, 3% Plástico**

**Tabla 25**  
Roturas de adoquines con 3% de plástico a los 28 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-161	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,471	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	34215,0	484,7	407	102	-4	17
TIN-162	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,295	9,47	8,5	70,4	0,90	0,84	34010,0	482,9	406	101	-6	32
TIN-163	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,621	9,47	8,5	70,4	0,90	0,84	34225,0	485,9	408	102	-3	10
TIN-164	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,142	9,48	8,3	70,6	0,88	0,84	34684,0	491,4	413	103	1	2
TIN-165	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,279	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	34874,0	495,1	416	104	5	21
TIN-166	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,395	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	34814,0	493,2	414	104	3	9
TIN-167	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,402	9,46	8,3	70,3	0,88	0,84	34991,0	497,8	418	105	7	48
TIN-168	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 3% de Plástico	400,0	1,200	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	34214,0	485,8	408	102	-3	10
													411			150	
												Desviacion estandar 4,625		Resistencia característica 403,682			
												$s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$			

### 5.6.10. Rotura a los 7 días, 5% Plástico

**Tabla 26**  
Roturas de adoquines con 5% de plástico a los 7 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-169	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,291	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	20487,0	290,2	244	61	-8	65
TIN-170	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,069	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	21114,0	299,8	252	63	0	0
TIN-171	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,209	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	20566,0	292,0	245	61	-7	44
TIN-172	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,307	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	21229,0	300,8	253	63	1	1
TIN-173	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,219	9,48	8,3	70,6	0,88	0,84	21058,0	298,3	251	63	-1	2
TIN-174	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,263	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	21795,0	308,8	259	65	8	56
TIN-175	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,300	9,47	8,3	70,4	0,88	0,84	21697,0	308,0	259	65	7	47
TIN-176	31/03/22	07/04/22	7	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,107	9,47	8,2	70,4	0,87	0,84	21188,0	300,8	253	63	1	1
													252			215	

<b>Desviacion estandar</b>	5,544	<b>Resistencia característica</b>	242,775
$s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$	

5.6.11. Rotura a los 14 días, 5% Plástico

**Tabla 27**  
Roturas de adoquines con 5% de plástico a los 14 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado															
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros													
Norma ASTM		X	C-39														
Equipo		Máquina Compresión															
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo													
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Fundición	Rotura															
TIN-177	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,234	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	25898,0	367,7	309	77	2	3
TIN-178	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,294	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	26301,0	373,4	314	78	7	44
TIN-179	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 5% de Plástico	400,0	12,840	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	25774,0	365,2	307	77	0	0
TIN-180	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,302	9,48	8,5	70,6	0,90	0,84	25832,0	366,0	307	77	0	0
TIN-181	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,173	9,47	8,5	70,4	0,90	0,84	25098,0	356,3	299	75	-8	59
TIN-182	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,154	9,48	8,3	70,6	0,88	0,84	26334,0	373,1	313	78	6	41
TIN-183	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,247	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	25498,0	362,0	304	76	-3	9
TIN-184	31/03/22	14/04/22	14	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,098	9,48	8,3	70,6	0,88	0,84	25441,0	360,4	303	76	-4	18
													307			174	

**Desviacion estandar** 4,992

$$s = \sqrt{\frac{\sum (fc - fmc)^2}{n - 1}}$$

**Resistencia característica** 298,842

$$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$$

### 5.6.12. Rotura a los 28 días, 5% Plástico

**Tabla 28**  
Roturas de adoquines con 5% de plástico a los 28 días a compresión.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado																		
Norma NTE INEN			1485	Resistencia a la Compresión de Cilindros																
Norma ASTM		X	C-39																	
Equipo		Máquina Compresión																		
Datos de la Muestra				Datos y Resultados del Ensayo																
Codigo (Abs.)	Fecha de:		Edad (días)	Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Peso (Kg)	D (cm)	L (cm)	Area (cm2)	L/D	Factor	Carga (Kgf)	Resistencia medida (Kg/cm2)	Resistencia corregida (Kg/cm2)	% Resistencia Obtenido	(fi-fm)	(fi-fm)2			
	Fundición	Rotura																		
TIN-185	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,100	9,48	8,4	70,6	0,89	0,84	30145,0	427,1	359	90	-10	95			
TIN-186	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,021	9,49	8,4	70,7	0,89	0,84	30753,0	434,8	365	91	-3	11			
TIN-187	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,028	9,49	8,3	70,7	0,87	0,84	31920,0	451,3	379	95	11	112			
TIN-188	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,245	9,48	8,2	70,6	0,86	0,84	30785,0	436,1	366	92	-2	5			
TIN-189	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,147	9,46	8,1	70,3	0,86	0,84	31900,0	453,9	381	95	13	162			
TIN-190	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,344	9,47	8,3	70,4	0,88	0,84	30142,0	427,9	359	90	-9	81			
TIN-191	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,227	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	30841,0	437,9	368	92	-1	0			
TIN-192	31/03/22	28/04/22	28	Adoquin 5% de Plástico	400,0	1,322	9,47	8,4	70,4	0,89	0,84	31030,0	440,5	370	93	2	2			
													368			469				
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td><b>Desviacion estandar</b></td> <td>8,185</td> </tr> </table> $s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$												<b>Desviacion estandar</b>	8,185	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td><b>Resistencia característica</b></td> <td>355,072</td> </tr> </table> $f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$					<b>Resistencia característica</b>	355,072
<b>Desviacion estandar</b>	8,185																			
<b>Resistencia característica</b>	355,072																			

## 5.7. Interpretación de información generada

Los valores dispersos obtenidos al ensayar a la compresión en adoquines, se debe a la incapacidad de fabricar elementos semejantes. En la elaboración de adoquines no se puede aplicar hormigón con características similares debido a factores como:

- Cantidad de aire incluido
- Distribución del agregado en los moldes
- Proceso de vibrado
- Transporte de los elementos.

Las variaciones entre muestras podrán ser aceptables siempre y cuando el rango entre resistencia entre una con otra sea mínimo, estas alteraciones que se pueden presentar se pueden optimizar al aplicar un control en la fabricación de adoquines.

El análisis en los adoquines con y sin porcentaje de plásticos nos ha evidenciado que al agregar plástico entre mayor sea la cantidad en la mezcla de hormigón esto disminuirá la característica mecánica de los adoquines, es decir, los elementos se verán sometidos a una disminución en su compresibilidad.

El factor para corregir se basa en la altura y el diámetro de los adoquines de hormigón influyen notablemente debido a la esbeltez del elemento, debido a que los diseños de hormigón se toman como base la resistencia cilíndrica de los elementos y al momento de ser ensayos estar se verán afectadas en un 70% aproximadamente.

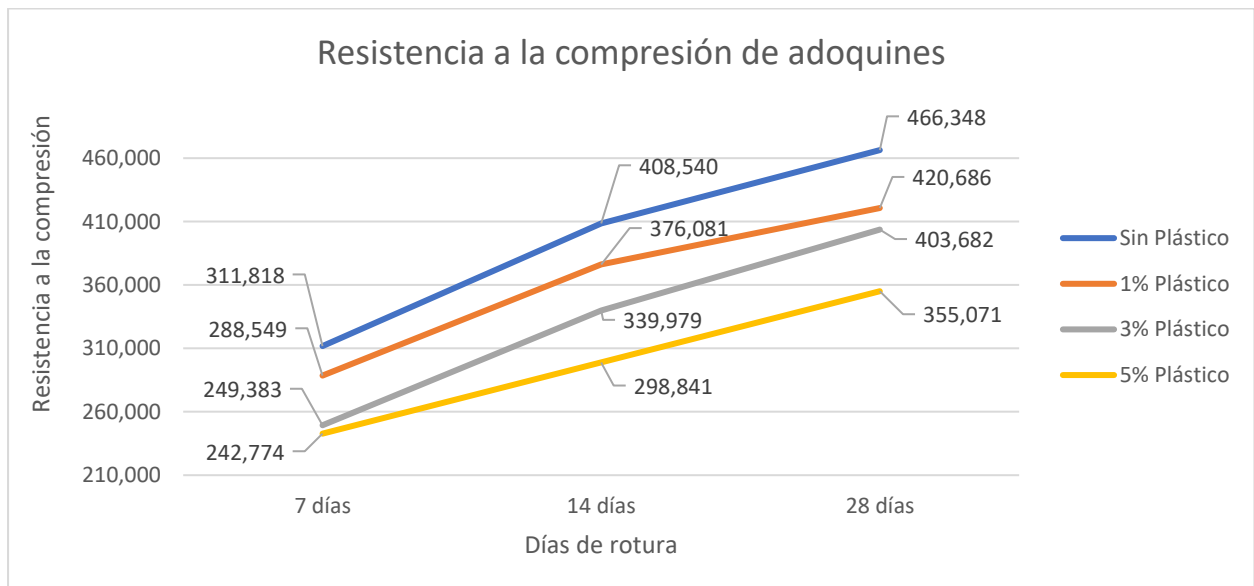
**Tabla 29**

Resumen para la resistencia característica a compresión.

Ensayos a compresión de adoquines		
Sin porcentaje de plástico	7 días	311,818 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	408,54 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	466,348 kg/cm <sup>2</sup>
1 por ciento de plástico	7 días	288,549 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	376,081 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	420,686 kg/cm <sup>2</sup>
3 por ciento de plástico	7 días	249,383 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	339,979 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	403,682 kg/cm <sup>2</sup>
5 por ciento de plástico	7 días	242,774 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	298,841 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	355,071 kg/cm <sup>2</sup>

**Gráfico 2**

Evolución de la resistencia a la compresión de adoquines.



## **CAPÍTULO 6. ENSAYO A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ADOQUINES CONVENCIONALES Y ADOQUINES INCORPORADOS PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO**

Esta sección está dirigida al estudio de momentos a tracción indirecta, el cual es un parámetro fundamental para determinar la resistencia de la capa de rodadura, la cual actúa como un elemento estructural.

El ensayo a tracción indirecta determinara los esfuerzos a los cuales están expuestos los adoquines. Este parámetro es fundamental conocerlo debido a que las mezclas de hormigón son diseñadas a compresión. El esfuerzo a tracción dará a conocer la carga a la cual los adoquines se agrietarán.

La propiedad a tracción indirecta, se fundamenta en aplicar una carga suave y progresiva, de manera que se pueda obtener la carga máxima a tracción directa antes de que esta falle.

La carga aplicada en el ensayo de tracción indirecta simula la carga real que transmiten los vehículos a los elementos que componen la capa de rodadura. Este procedimiento ayudara a precisar las propiedades de la mezcla con las cuales fueron producidas los adoquines o la posibles falla por tracción de tal manera se pueda evitar fallas prematuras en las vías asegurando un desempeño de los mismos.

## **6.1. Normas**

### **6.1.1. Especificaciones**

Para determinar la Tracción Indirecta de adoquines se encuentra normados en la (INEN 3040, 2016). En Ecuador es un requerimiento importante la aplicación de este ensayo, sin embargo, el Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTO) no especifica una prioridad o criterio sobre este ensayo. Ecuador es el único país en Latinoamérica que emite requerimientos, por lo cual la información del ensayo es limitada. La investigación buscara aportar valores limites en relación a la resistencia la compresión.

### **6.1.2. Tolerancias**

- Los adoquines no deben presentar fisuras o demarcaciones.
  
- El espesor de la capa debe ser igual o mayor a 4mm, no debe presentarse delaminaciones.
  
- La Tracción Indirecta debe ser mayor o igual a 3.6 MPa.
  
- La Tracción Indirecta no puede ser inferior a los 2.9 MPa.
  
- La aplicación de carga para el ensayo no debe ser inferior a 250 N/mm.
  
- Las tolerancias admisibles en función al espesor vienen dadas por:

Anexo 1.

## 6.2. Equipos

La máquina para el ensayo debe tener una precisión de escala del  $\pm 3\%$  sobre el rango de carga del ensayo y tener un control adecuado en la velocidad de carga especificada.

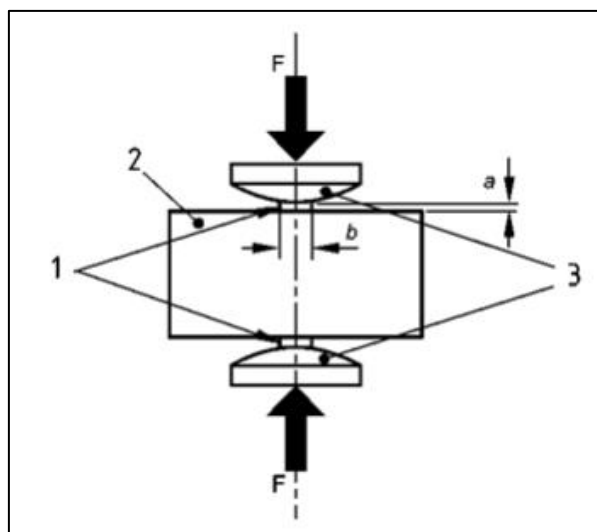
El equipo para el ensayo debe estar compuesto por dos soportes rígidos, en esta área de contacto debe tener un diámetro de  $(150 \pm 10)$  mm.

En los soportes se debe respetar el plano vertical en una tolerancia de  $\pm 1$  mm en los extremos. Estos tendrán la capacidad de rotar sobre su eje transversal.

Las piezas a utilizar a compresión deben tener  $(15 \pm 1)$  mm de ancho, con un espesor (a) de  $(4 \pm 1)$  mm y al menos 10 mm más largo que el plano de fractura.

Las piezas del equipo contemplan piezas a compresión (1), adoquín (2) y soportes rígidos (3).

**Figura 13**  
Equipo para el ensayo a Tracción Indirecta.



**Fuente:** (INEN 3040, 2016).

Los elementos a compresión deben cumplir con el criterio de dureza, es decir deberán someterse a ensayos de punzonamiento, en la cual una barra con sección circular de diámetro  $(16,0 \pm 0,5)$  mm recibirá una carga a velocidad  $(48 \pm 10)$  kN/min y su penetración de  $(1,2 \pm 0,4)$  mm al alcanzar una fuerza de  $(20 \pm 5)$  kN.

### **6.3. Toma de muestras**

Para las muestras en los adoquines deben estar sin desprendimientos y se deberá eliminar los rebordes. Si la superficie es rugosa, curvada o con textura, se deberá aplicar un refrentado mecánico o rellenarlo para conseguir superficies planas, evitando eliminar gran cantidad de material.

Los adoquines deberán estar sumergidos durante  $(24 \pm 3)$  h a una temperatura de  $(20 \pm 5)$  °C, se secan y se ensayan inmediatamente.

### **6.4. Ensayo de laboratorio – Procedimiento**

Los adoquines se colocarán en la máquina de ensayo, los elementos a compresión deben estar asentadas en la sección de apoyo vista. En los ejes de apoyo se deberá asegurar y sus piezas para compresión deben estar en el eje con el área de tracción indirecta del adoquín.

Para seleccionar el área aplicada a la tracción indirecta se debe priorizar:

- Se debe ocupar a lo largo su sección máxima a tracción indirecta, debe estar simétrica y paralela a los bordes, de tal manera satisfaga la condición que debe ser 0.5 veces el espesor del adoquín para la distancia entre la sección a tracción y una de sus caras laterales.

- Al no cumplir la condición anterior, se deberá realizar en su línea más larga de una de sus secciones a tracción, respetando la distancia que debe haber entre la sección y una de sus caras laterales.

- Al no cumplir con las condicionantes anteriores, se debe condicionar que la distancia se proporcional entre su longitud a la tracción.

- Cuando se tiene adoquines hexagonales, circulares o cuadradas, el área a tracción que se debe utilizar respetando que su longitud menor de corte pase por el centro de su área plana.

El ensayo ocupara una carga progresiva a una velocidad de  $(0,05 \pm 0,01)$  MPa/s.

Para determinar el área a la tracción del adoquín ( $S$  en  $\text{mm}^2$ ) a ensayar está en función al promedio de dos medidas de la longitud de tracción en su cara vista y dorso ( $l$  en  $\text{mm}$ ), el espesor un promedio de al menos 3 medidas ( $t$  en  $\text{mm}$ )

$$S = l \times t$$

Ecuación 1. Área de Tracción.

## 6.5. Cálculos de resultados del ensayo

Para calcular el factor de corrección en función al espesor de los adoquines a ensayar ( $k$ ).

$$k = 1.3 - 30\left(0.18 - \frac{t}{1000}\right)^2 \quad \text{sí } 140\text{mm} < t \leq 180\text{mm}$$

$$k = 1.3 \quad \text{sí } t > 180\text{mm}$$

Para un  $t \leq 140$  mm se determina mediante el anexo 5.

Para calcular la propiedad a tracción indirecta de adoquines ensayos (T) se basa en la carga (P en Newtons), en un factor para corregir el espesor variable del adoquín (k).

$$k = 0.637 \times k \times \frac{P}{S}$$

Ecuación. Tracción Indirecta en muestras de adoquines.

### 6.6. Resultado a la tracción indirecta en muestras de adoquines

La resistencia se calculará en 8 muestras de adoquines. La desviación estándar se determinará de igual forma al mismo número de muestras.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fti - fnti)^2}{n - 1}}$$

Ecuación. Desviación estándar.

Donde (S) es la desviación estándar, fti en (MPa) es la resistencia a la Tracción Indirecta de adoquines y fnti en (MPa) es la media arit. de la resistencia

La resistencia característica (fkti) se encuentra con la siguiente formula.

$$fkti = fm - 1.64S$$

Ecuación. Resistencia característica a la tracción indirecta

### 6.6.1. Rotura a los 7 días sin Plástico

**Tabla 30**  
Roturas de adoquines sin plástico a los 7 días a tracción indirecta.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado											
Norma NTE INEN		X	3040 (2016-04)	Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines									
Equipos		Máquina de Tracción Indirecta											
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Recepción	Rotura											
TIN-001	31/03/22	07/04/22	Adoquin sin Plástco	400,0	244,0	8,795	84,00	1,05	98710,00	30,6783	32,2122	-0,923	0,853
TIN-002	31/03/22	07/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	243,0	8,764	84,00	1,05	98150,00	32,1613	33,7694	0,634	0,402
TIN-003	31/03/22	07/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	242,0	8,465	84,00	1,05	98630,00	32,4521	34,0747	0,939	0,882
TIN-004	31/03/22	07/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	246,0	8,780	85,00	1,05	97890,00	31,3122	32,8778	-0,258	0,067
TIN-005	31/03/22	07/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	245,0	8,901	86,00	1,05	98030,00	31,1188	32,6748	-0,461	0,212
TIN-006	31/03/22	07/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	244,0	8,304	81,00	1,05	92340,00	31,2495	32,8120	-0,324	0,105
TIN-007	31/03/22	07/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	240,0	8,630	82,00	1,05	92280,00	31,3625	32,9307	-0,205	0,042
TIN-008	31/03/22	07/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	243,0	8,745	83,00	1,05	96880,00	32,1276	33,7340	0,598	0,358
											33,1357		2,920

Desviacion estandar	0,646	Resistencia característica	32,077
$s = \sqrt{\frac{\sum (fc - fmc)^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$	

### 6.6.2. Rotura a los 14 días sin Plástico

**Tabla 31**  
Roturas de adoquines sin plástico a los 14 días a tracción indirecta.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado											
Norma NTE INEN		X	3040 (2016-04)	Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines									
Equipos		Máquina de Tracción Indirecta											
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Recepción	Rotura											
TIN-009	31/03/22	14/04/22	Adoquin sin Plástco	400,0	245,0	8,265	83,00	1,05	112560,00	35,2598	37,0227	-0,966	0,934
TIN-010	31/03/22	14/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	246,0	8,600	84,00	1,05	114890,00	37,1875	39,0468	1,058	1,119
TIN-011	31/03/22	14/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	246,0	8,780	83,00	1,05	109580,00	35,8961	37,6909	-0,298	0,089
TIN-012	31/03/22	14/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	245,0	8,901	85,00	1,05	110100,00	35,3615	37,1296	-0,859	0,739
TIN-013	31/03/22	14/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	244,0	8,450	81,00	1,05	110070,00	37,2497	39,1122	1,123	1,262
TIN-014	31/03/22	14/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	240,0	8,781	80,00	1,05	106074,00	36,9519	38,7995	0,810	0,657
TIN-015	31/03/22	14/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	241,0	8,883	85,00	1,05	109860,00	35,8701	37,6636	-0,325	0,106
TIN-016	31/03/22	14/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	243,0	8,397	86,00	1,05	111430,00	35,6637	37,4469	-0,542	0,294
											37,9890		5,198

Desviacion estandar	0,862	Resistencia característica	36,576
$s = \sqrt{\frac{\sum(f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$	

### 6.6.3. Rotura a los 28 días sin Plástico

**Tabla 32**  
Roturas de adoquines sin plástico a los 28 días a tracción indirecta.

Proyecto			Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado											
Norma NTE INEN			X	3040 (2016-04)	Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines									
Equipos			Máquina de Tracción Indirecta											
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2	
	Recepción	Rotura												
TIN-017	31/03/22	28/04/22	Adoquin sin Plástco	400,0	241,0	8,805	88,00	1,05	148020,00	44,4590	46,6820	-2,338	5,465	
TIN-018	31/03/22	28/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	241,0	8,902	85,00	1,05	148300,00	48,4210	50,8421	1,822	3,321	
TIN-019	31/03/22	28/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	242,0	9,198	85,00	1,05	150030,00	48,7835	51,2226	2,203	4,853	
TIN-020	31/03/22	28/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	243,0	8,887	87,00	1,05	143840,00	45,5075	47,7829	-1,237	1,530	
TIN-021	31/03/22	28/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	244,0	8,793	86,00	1,05	145170,00	46,2719	48,5855	-0,434	0,189	
TIN-022	31/03/22	28/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	241,0	8,430	85,00	1,05	140050,00	45,7273	48,0137	-1,006	1,012	
TIN-023	31/03/22	28/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	244,0	8,570	86,00	1,05	146210,00	46,6034	48,9336	-0,086	0,007	
TIN-024	31/03/22	28/04/22	Adoquin sin Plástco	400,00	240,0	8,750	87,00	1,05	148940,00	47,7100	50,0955	1,076	1,157	
											49,0197		17,534	

<b>Desviacion estandar</b> 1,583 $s = \sqrt{\frac{\sum (fc - fmc)^2}{n - 1}}$	<b>Resistencia característica</b> 46,424 $f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$
--	---

### 6.6.4. Rotura a los 7 días, 1% Plástico

**Tabla 33**  
Roturas de adoquines con 1% de plástico a los 7 días a tracción indirecta.

Proyecto			Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado										
Norma NTE INEN			X	3040 (2016-04)		Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines							
Equipos			Máquina de Tracción Indirecta										
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Recepción	Rotura											
TIN-025	31/03/22	07/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,0	244,0	8,426	84,00	1,05	140360,00	43,6228	45,8040	0,298	0,089
TIN-026	31/03/22	07/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	242,0	8,415	85,00	1,05	134580,00	43,7598	45,9478	0,442	0,195
TIN-027	31/03/22	07/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	245,0	8,102	84,00	1,05	137450,00	44,6713	46,9048	1,399	1,957
TIN-028	31/03/22	07/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	243,0	8,620	85,00	1,05	134570,00	43,5764	45,7553	0,249	0,062
TIN-029	31/03/22	07/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	245,0	8,741	85,00	1,05	132210,00	42,4627	44,5859	-0,920	0,846
TIN-030	31/03/22	07/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	246,0	8,621	84,00	1,05	130590,00	42,2692	44,3827	-1,123	1,261
TIN-031	31/03/22	07/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	244,0	8,412	84,00	1,05	135120,00	44,0940	46,2987	0,793	0,629
TIN-032	31/03/22	07/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	246,0	8,513	85,00	1,05	132100,00	42,2549	44,3677	-1,138	1,295
											45,5058		6,335

Desviacion estandar 0,951 $s = \sqrt{\frac{\sum(f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$	Resistencia característica 43,946 $f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$
--	--

**6.6.5. Rotura a los 14 días, 1% Plástico**

**Tabla 34**  
Roturas de adoquines con 1% de plástico a los 14 días a tracción indirecta.

Proyecto			Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado										
Norma NTE INEN			X	3040 (2016-04)		Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines							
Equipos			Máquina de Tracción Indirecta										
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Recepción	Rotura											
TIN-033	31/03/22	14/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,0	244,0	8,625	85,00	1,05	168360,00	51,7094	54,2949	-0,961	0,923
TIN-034	31/03/22	14/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	243,0	8,542	85,00	1,05	159830,00	51,7561	54,3439	-0,912	0,831
TIN-035	31/03/22	14/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	243,0	8,354	84,00	1,05	166370,00	54,5153	57,2410	1,986	3,942
TIN-036	31/03/22	14/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	242,0	8,601	83,00	1,05	162520,00	54,1180	56,8239	1,568	2,460
TIN-037	31/03/22	14/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	241,0	8,706	81,00	1,05	162990,00	55,8454	58,6377	3,382	11,439
TIN-038	31/03/22	14/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	240,0	8,600	85,00	1,05	152340,00	49,9474	52,4447	-2,811	7,900
TIN-039	31/03/22	14/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	245,0	8,201	85,00	1,05	159280,00	51,1570	53,7148	-1,541	2,374
TIN-040	31/03/22	14/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	244,0	8,499	84,00	1,05	159180,00	51,9455	54,5428	-0,713	0,508
											55,2555		30,377

Desviacion estandar	2,083	Resistencia característica	51,839
$s = \sqrt{\frac{\sum(f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$	

6.6.6. Rotura a los 28 días, 1% Plástico

**Tabla 35**  
Roturas de adoquines con 1% de plástico a los 28 días a tracción indirecta.

Proyecto			Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado										
Norma NTE INEN			X	3040 (2016-04)		Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines							
Equipos			Máquina de Tracción Indirecta										
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Recepción	Rotura											
TIN-041	31/03/22	28/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,0	241,0	8,503	84,00	1,05	184260,00	57,9795	60,8784	-1,006	1,011
TIN-042	31/03/22	28/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	241,0	8,124	84,00	1,05	180350,00	59,5866	62,5659	0,682	0,465
TIN-043	31/03/22	28/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	242,0	8,491	85,00	1,05	187230,00	60,8793	63,9233	2,039	4,159
TIN-044	31/03/22	28/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	243,0	8,534	85,00	1,05	179620,00	58,1645	61,0728	-0,811	0,658
TIN-045	31/03/22	28/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	244,0	8,619	84,00	1,05	183620,00	59,9211	62,9171	1,033	1,067
TIN-046	31/03/22	28/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	242,0	8,565	86,00	1,05	179560,00	57,7065	60,5918	-1,292	1,670
TIN-047	31/03/22	28/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	244,0	8,641	84,00	1,05	182240,00	59,4707	62,4443	0,560	0,314
TIN-048	31/03/22	28/04/22	Adoquin 1% de Plástico	400,00	243,0	8,961	85,00	1,05	178460,00	57,7889	60,6783	-1,206	1,454
											61,8840		10,798

Desviacion estandar	1,242	Resistencia característica	59,847
$s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$		$f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$	

### 6.6.7. Rotura a los 7 días, 3% Plástico

**Tabla 36**  
Roturas de adoquines con 3% de plástico a los 7 días a tracción indirecta.

Proyecto			Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado												
Norma NTE INEN			X	3040 (2016-04)		<b>Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines</b>									
Equipos			Máquina de Tracción Indirecta												
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2		
	Recepción	Rotura													
TIN-049	31/03/22	07/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,0	244,0	8,195	85,00	1,05	170510,00	52,3698	54,9882	-0,666	0,444		
TIN-050	31/03/22	07/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	244,0	8,219	84,00	1,05	156220,00	50,9796	53,5286	-2,126	4,521		
TIN-051	31/03/22	07/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	244,0	8,274	85,00	1,05	165500,00	53,3726	56,0412	0,386	0,149		
TIN-052	31/03/22	07/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	245,0	8,330	85,00	1,05	162140,00	52,0756	54,6793	-0,975	0,951		
TIN-053	31/03/22	07/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	241,0	8,019	85,00	1,05	159980,00	52,2346	54,8464	-0,808	0,653		
TIN-054	31/03/22	07/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	243,0	8,515	86,00	1,05	168540,00	53,9420	56,6391	0,984	0,969		
TIN-055	31/03/22	07/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	246,0	7,923	81,00	1,05	159330,00	53,4818	56,1559	0,501	0,251		
TIN-056	31/03/22	07/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	245,0	8,211	83,00	1,05	168980,00	55,5802	58,3592	2,704	7,314		
											55,6547		15,253		

Desviacion estandar      1,476 $s = \sqrt{\frac{\sum (fc - fmc)^2}{n - 1}}$	Resistencia caracteristica      53,234 $f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$
--	---

**6.6.8. Rotura a los 14 días, 3% Plástico**

**Tabla 37**  
Roturas de adoquines con 3% de plástico a los 14 días a tracción indirecta.

Proyecto		Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado											
Norma NTE INEN		X	3040 (2016-04)	Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines									
Equipos		Máquina de Tracción Indirecta											
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Recepción	Rotura											
TIN-057	31/03/22	14/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,0	243,0	8,141	84,00	1,05	213650,00	66,6740	70,0077	-3,154	9,949
TIN-058	31/03/22	14/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	243,0	8,493	84,00	1,05	218950,00	71,7444	75,3316	2,170	4,707
TIN-059	31/03/22	14/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	242,0	8,762	84,00	1,05	217410,00	71,5342	75,1109	1,949	3,798
TIN-060	31/03/22	14/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	243,0	8,142	85,00	1,05	208960,00	67,6654	71,0487	-2,113	4,466
TIN-061	31/03/22	14/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	242,0	8,000	81,00	1,05	210020,00	71,6620	75,2451	2,083	4,339
TIN-062	31/03/22	14/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	242,0	8,475	81,00	1,05	204650,00	69,8297	73,3212	0,159	0,025
TIN-063	31/03/22	14/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	241,0	8,366	82,00	1,05	210350,00	71,1935	74,7532	1,591	2,532
TIN-064	31/03/22	14/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	242,0	8,102	83,00	1,05	201570,00	67,1214	70,4775	-2,684	7,206
											73,1620		37,024

Desviacion estandar 2,300 $s = \sqrt{\frac{\sum (fc - fmc)^2}{n - 1}}$	Resistencia característica 69,390 $f_{kc} = f_{mc} - 1.64s$
---	--

### 6.6.9. Rotura a los 28 días, 3% Plástico

**Tabla 38**  
Roturas de adoquines con 3% de plástico a los 28 días a tracción indirecta.

Proyecto			Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado										
Norma NTE INEN			X	3040 (2016-04)	Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines								
Equipos			Máquina de Tracción Indirecta										
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Recepción	Rotura											
TIN-065	31/03/22	28/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,0	241,0	8,290	84,00	1,05	252010,00	79,2978	83,2626	0,729	0,531
TIN-066	31/03/22	28/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	244,0	8,314	85,00	1,05	245600,00	79,2042	83,1644	0,631	0,398
TIN-067	31/03/22	28/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	243,0	8,369	85,00	1,05	239900,00	77,6844	81,5686	-0,965	0,932
TIN-068	31/03/22	28/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	244,0	8,425	86,00	1,05	241590,00	77,0051	80,8553	-1,678	2,817
TIN-069	31/03/22	28/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	244,0	8,114	85,00	1,05	250030,00	80,6329	84,6645	2,131	4,540
TIN-070	31/03/22	28/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	245,0	8,351	83,00	1,05	247140,00	81,2882	85,3526	2,819	7,946
TIN-071	31/03/22	28/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	243,0	8,611	84,00	1,05	238960,00	78,3012	82,2163	-0,318	0,101
TIN-072	31/03/22	28/04/22	Adoquin 3% de Plástico	400,00	244,0	8,018	84,00	1,05	231100,00	75,4153	79,1861	-3,348	11,207
											82,5338		28,471

Desviacion estandar 2,017 $s = \sqrt{\frac{\sum(f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$	Resistencia característica 79,226 $f_{kc} = f_{mc} - 1.64s$
--	--

### 6.6.10. Rotura a los 7 días, 5% Plástico

**Tabla 39**  
Roturas de adoquines con 5% de plástico a los 7 días a tracción indirecta.

Proyecto			Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado										
Norma NTE INEN			X	3040 (2016-04)	Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines								
Equipos			Máquina de Tracción Indirecta										
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Recepción	Rotura											
TIN-073	31/03/22	07/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,0	243,0	7,912	85,00	1,05	230014,00	70,9363	74,4831	-1,722	2,964
TIN-074	31/03/22	07/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	242,0	7,813	85,00	1,05	223100,00	72,5427	76,1699	-0,035	0,001
TIN-075	31/03/22	07/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	242,0	7,632	84,00	1,05	219870,00	72,3436	75,9608	-0,244	0,060
TIN-076	31/03/22	07/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	243,0	7,771	85,00	1,05	223001,00	72,2122	75,8228	-0,382	0,146
TIN-077	31/03/22	07/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	244,0	7,963	83,00	1,05	230300,00	76,0597	79,8627	3,658	13,381
TIN-078	31/03/22	07/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	244,0	8,003	85,00	1,05	221450,00	71,4160	74,9868	-1,218	1,483
TIN-079	31/03/22	07/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	245,0	7,521	84,00	1,05	225410,00	73,2583	76,9212	0,716	0,513
TIN-080	31/03/22	07/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	244,0	7,887	84,00	1,05	220140,00	71,8387	75,4307	-0,774	0,599
											76,2047		19,147

<b>Desviacion estandar</b> 1,654 $s = \sqrt{\frac{\sum(f_c - f_{mc})^2}{n - 1}}$	<b>Resistencia característica</b> 73,492 $f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$
---	---

### 6.6.11. Rotura a los 14 días, 5% Plástico

**Tabla 40**  
Roturas de adoquines con 5% de plástico a los 14 días a tracción indirecta.

Proyecto			Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado											
Norma NTE INEN			X	3040 (2016-04)		<b>Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines</b>								
Equipos			Máquina de Tracción Indirecta											
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2	
	Recepción	Rotura												
TIN-081	31/03/22	14/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,0	244,0	7,866	84,00	1,05	234870,00	72,9958	76,6456	-2,098	4,403	
TIN-082	31/03/22	14/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	243,0	7,421	84,00	1,05	231120,00	75,7322	79,5188	0,775	0,601	
TIN-083	31/03/22	14/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	243,0	7,984	85,00	1,05	229350,00	74,2681	77,9815	-0,762	0,581	
TIN-084	31/03/22	14/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	244,0	8,103	83,00	1,05	230030,00	75,9706	79,7691	1,025	1,051	
TIN-085	31/03/22	14/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	245,0	7,795	84,00	1,05	234780,00	76,3035	80,1187	1,375	1,890	
TIN-086	31/03/22	14/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	245,0	7,458	85,00	1,05	228760,00	73,4723	77,1459	-1,598	2,553	
TIN-087	31/03/22	14/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	246,0	7,696	84,00	1,05	238430,00	77,1748	81,0335	2,290	5,243	
TIN-088	31/03/22	14/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	242,0	7,874	86,00	1,05	230370,00	74,0356	77,7374	-1,006	1,013	
											78,7438		17,334	

Desviacion estandar      1,574 $s = \sqrt{\frac{\sum(fc - fmc)^2}{n - 1}}$	Resistencia característica      76,163 $fkc = fmc - 1.64S$
---	---

### 6.6.12. Rotura a los 28 días, 5% Plástico

**Tabla 41**  
Roturas de adoquines con 5% de plástico a los 28 días a tracción indirecta.

Proyecto			Propiedades mecánicas de adoquines con porcentajes de plástico reciclado										
Norma NTE INEN			X	3040 (2016-04)	Resistencia a la Tracción Indirecta de Adoquines								
Equipos			Máquina de Tracción Indirecta										
Codigo	Fecha de:		Elemento	Resistencia de Diseño (kg/cm2)	Longitud (mm)	Peso (Kg)	Espesor (mm)	Factor de Corrección	Carga (N)	Resistencia Medida (Kg/cm2)	Resistencia Corregida (Kg/cm2)	(fi-fm)	(fi-fm)2
	Recepción	Rotura											
TIN-089	31/03/22	28/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,0	241,0	7,815	84,00	1,05	266600,00	83,8887	88,0831	0,508	0,258
TIN-090	31/03/22	28/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	243,0	7,618	83,00	1,05	254710,00	84,4676	88,6910	1,116	1,246
TIN-091	31/03/22	28/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	243,0	7,864	82,00	1,05	246980,00	82,9030	87,0482	-0,527	0,278
TIN-092	31/03/22	28/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	245,0	7,713	84,00	1,05	250320,00	81,3540	85,4217	-2,153	4,637
TIN-093	31/03/22	28/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	240,0	7,674	84,00	1,05	257030,00	85,2751	89,5388	1,964	3,857
TIN-094	31/03/22	28/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	241,0	7,963	83,00	1,05	250350,00	83,7107	87,8963	0,321	0,103
TIN-095	31/03/22	28/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	244,0	8,003	85,00	1,05	260030,00	83,8578	88,0507	0,476	0,226
TIN-096	31/03/22	28/04/22	Adoquin 5% de Plástico	400,00	243,0	7,803	84,00	1,05	249580,00	81,7811	85,8702	-1,705	2,906
											87,5750		13,510

<b>Desviacion estandar</b> 1,389 $s = \sqrt{\frac{\sum (fc - fmc)^2}{n - 1}}$	<b>Resistencia característica</b> 85,297 $f_{kc} = f_{mc} - 1.64S$
--	---

## 6.7. Interpretación de datos generados

Por este método se determina la propiedad mecánica a tracción indirecta en los adoquines de hormigón, mediante el módulo de rotura del hormigón, además este puede ser relacionado al valor de la resistencia a la tracción.

Se puede evidenciar que, al incorporar plástico en la mezcla, la tracción en adoquines, eleva las propiedades a medida que se incorpora un porcentaje de plástico, es decir el módulo de rotura también incrementara a comparación de las muestras sin porcentaje de plástico, se nota la diferencia entre las resistencias.

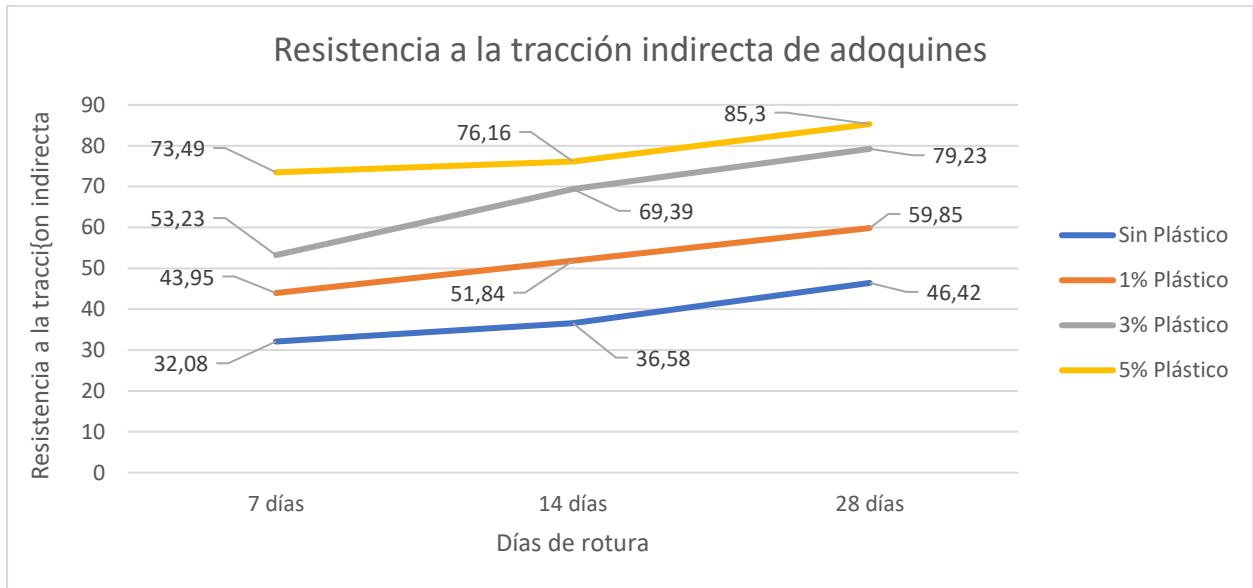
El ensayo de tracción indirecta es fundamental ya que nos ayudara a conocer la capacidad que tiene de soporte los adoquines a la tracción y que cargas producen las roturas de los mismos, el ensayo necesita de cargas menores y la capacidad de la maquina mínimas para un laboratorio de control de calidad simple, al contrario del ensayo a compresión, el cual necesita una mayor cantidad de capacidad de los equipos al momento de aplicar cargas.

**Tabla 42**  
Resumen de resistencia característica a la tracción indirecta.

<b>Ensayos a tracción indirecta de adoquines</b>		
<b>Sin porcentaje de plástico</b>	7 días	32,08 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	36,58 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	46,42 kg/cm <sup>2</sup>
<b>1 por ciento de plástico</b>	7 días	43,95 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	51,84 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	59,85 kg/cm <sup>2</sup>
<b>3 por ciento de plástico</b>	7 días	53,23 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	69,39 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	79,23 kg/cm <sup>2</sup>
<b>5 por ciento de plástico</b>	7 días	73,49 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	76,16 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	85,30 kg/cm <sup>2</sup>

### Gráfico 3

Evolución de la resistencia a la tracción indirecta de adoquines.



## CAPÍTULO 7. CORRELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES

El capítulo evaluará las correlaciones existentes entre la resistencia a compresión y tracción indirecta en adoquines convencionales y diferentes porcentajes de plástico reciclado. Es fundamental procesar las muestras cualitativas para evaluar los resultados obtenidos de los ensayos.

### 7.1. Resultados de ensayo a compresión

Se enseña los datos resultantes correspondientes a el ensayo a compresión de muestras de adoquines de hormigón.

**Tabla 43**  
Resumen de resistencia característica a compresión.

Ensayos a compresión de adoquines		
Sin porcentaje de plástico	7 días	311,818 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	408,54 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	466,348 kg/cm <sup>2</sup>
1 por ciento de plástico	7 días	288,549 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	376,081 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	420,686 kg/cm <sup>2</sup>
3 por ciento de plástico	7 días	249,383 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	339,979 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	403,682 kg/cm <sup>2</sup>
5 por ciento de plástico	7 días	242,774 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	298,841 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	355,071 kg/cm <sup>2</sup>

## 7.2. Resultados de ensayo a tracción indirecta

Se enseña los datos resultantes del ensayo a tracción indirecta de muestras de adoquines de hormigón.

**Tabla 44**

Resumen de resistencia característica a tracción indirecta.

<b>Ensayos a tracción indirecta de adoquines</b>		
<b>Sin porcentaje de plástico</b>	7 días	32,08 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	36,58 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	46,42 kg/cm <sup>2</sup>
<b>1 por ciento de plástico</b>	7 días	43,95 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	51,84 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	59,85 kg/cm <sup>2</sup>
<b>3 por ciento de plástico</b>	7 días	53,23 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	69,39 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	79,23 kg/cm <sup>2</sup>
<b>5 por ciento de plástico</b>	7 días	73,49 kg/cm <sup>2</sup>
	14 días	76,16 kg/cm <sup>2</sup>
	28 días	85,30 kg/cm <sup>2</sup>

## 7.3. Análisis correlativo de las propiedades mecánicas compresión–tracción indirecta

Los datos obtenidos se obtuvieron en el ensayo de compresión y tracción indirecta de adoquines de hormigón, estas son diferentes y presentan una dispersión en las resistencias las cuales dependen del cuidado y las etapas y procesos a la hora de ser fabricadas, se obtienen los siguientes gráficos de los ensayos.

**Tabla 45**

Resumen de resistencia característica a compresión y tracción indirecta.

<b>Sin Plástico</b>		
<b>Edad (Días)</b>	<b>Compresión kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Tracción Indirecta kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>7</b>	311,818	32,08
<b>14</b>	408,54	36,58
<b>28</b>	466,348	46,42

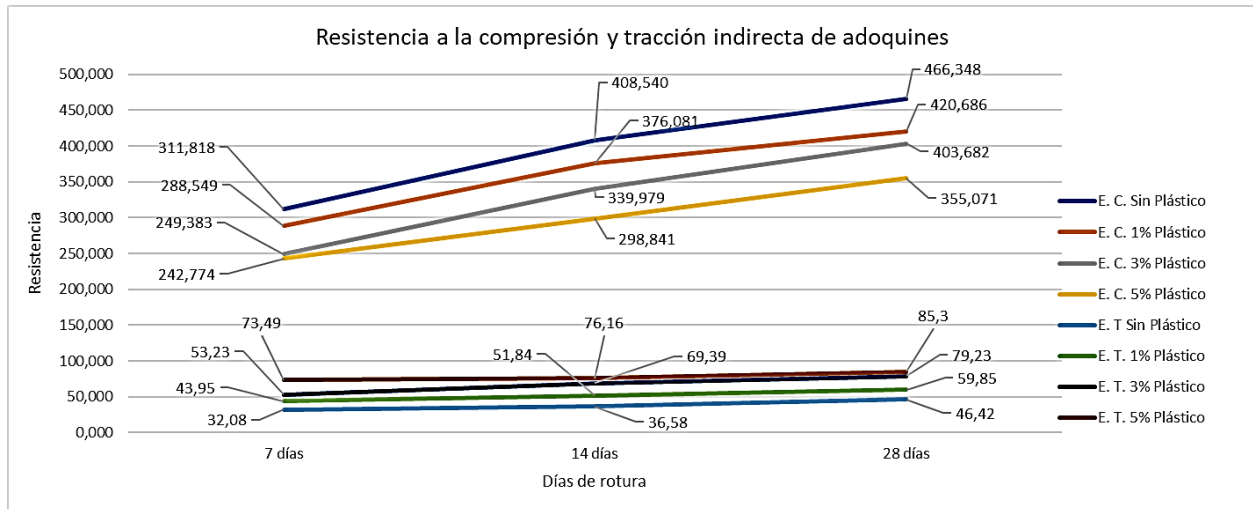
<b>1% Plástico</b>		
<b>Edad (Días)</b>	<b>Compresión kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Tracción Indirecta kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>7</b>	288,549	43,95
<b>14</b>	376,081	51,84
<b>28</b>	420,686	59,85

<b>3% Plástico</b>		
<b>Edad (Días)</b>	<b>Compresión kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Tracción Indirecta kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>7</b>	249,383	53,23
<b>14</b>	339,979	69,39
<b>28</b>	403,682	79,23

<b>5% Plástico</b>		
<b>Edad (Días)</b>	<b>Compresión kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Tracción Indirecta kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>7</b>	242,774	73,49
<b>14</b>	298,841	76,16
<b>28</b>	355,071	85,3

**Gráfico 4**

Evolución de la resistencia a la compresión y tracción indirecta de adoquines.



#### 7.4. Evaluación y correlación comparativa de resultados

Los resultados evidenciaron un rango prominente de diferencia entre los porcentajes de plástico reciclado agregados a la mezcla en los adoquines. Al considerar un porcentaje mayor de plástico en el diseño se observó que las propiedades de tracción indirecta aumentan al doble de su diseño inicial esperado, mientras que la compresión disminuye notablemente es sus propiedades mecánicas.

Para la investigación se optó conocer los módulos de rotura a los 7, 14 y 28 días de fabricado el adoquín, con el objetivo de conocer el avance de sus características mecánicas, de igual forma, se pueden ensayar a edades tempranas debido a su uso y comercialización de los mismos, siempre y cuando se conozcan que los adoquines cumplan con las especificaciones necesarias en cuanto a resistencia para ser implementadas en obra.

El hormigón a utilizar debe ser controlada y elaboradas con toda la rigurosidad pertinente de tal manera estas puedan alcanzar las propiedades esperadas, como se aplica en el diseño de la investigación.

Se elaboró una tabla de equivalencias numéricas donde intervienen las dos propiedades evaluadas, la resistencia a la tracción y compresión, para conocer la resistencia a la compresión mediante el ensayo a la tracción indirecta y viceversa. Los adoquines deben tener un control de calidad adecuado para que puedan ser evaluadas únicamente a través de los valores del módulo de rotura.

**Tabla 46**

Resumen de correlación característica a compresión y tracción indirecta.

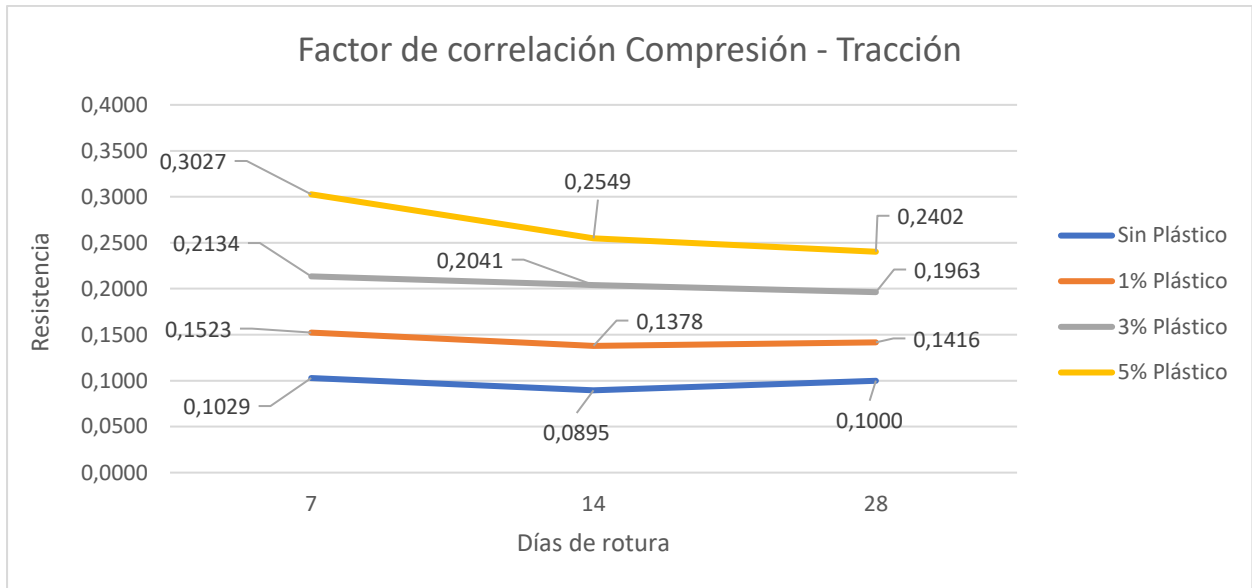
<b>7 DIAS</b>				
	<b>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Factor de correlación Compresión - Tracción</b>	<b>Factor de correlación Tracción - Compresión</b>
<b>Sin Plástico</b>	311,818	32,08	0,102880526	9,720012469
<b>1% Plástico</b>	288,549	43,95	0,152313818	6,565392491
<b>3% Plástico</b>	249,383	53,23	0,213446787	4,685008454
<b>5% Plástico</b>	242,774	73,49	0,302709516	3,303497074

<b>14 DIAS</b>				
	<b>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Factor de correlación Compresión - Tracción</b>	<b>Factor de correlación Tracción - Compresión</b>
<b>Sin Plástico</b>	408,54	36,58	0,089538356	11,16839803
<b>1% Plástico</b>	376,081	51,84	0,137842646	7,25464892
<b>3% Plástico</b>	339,979	69,39	0,204100842	4,899538838
<b>5% Plástico</b>	298,841	76,16	0,254851242	3,923857668

<b>28 DIAS</b>				
	<b>Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Factor de correlación Compresión - Tracción</b>	<b>Factor de correlación Tracción - Compresión</b>
<b>Sin Plástico</b>	466,348	46,642	0,100015439	9,998456327
<b>1% Plástico</b>	420,686	59,58	0,141625821	7,060859349
<b>3% Plástico</b>	403,682	79,23	0,19626835	5,095065001
<b>5% Plástico</b>	355,071	85,3	0,240233643	4,162614302

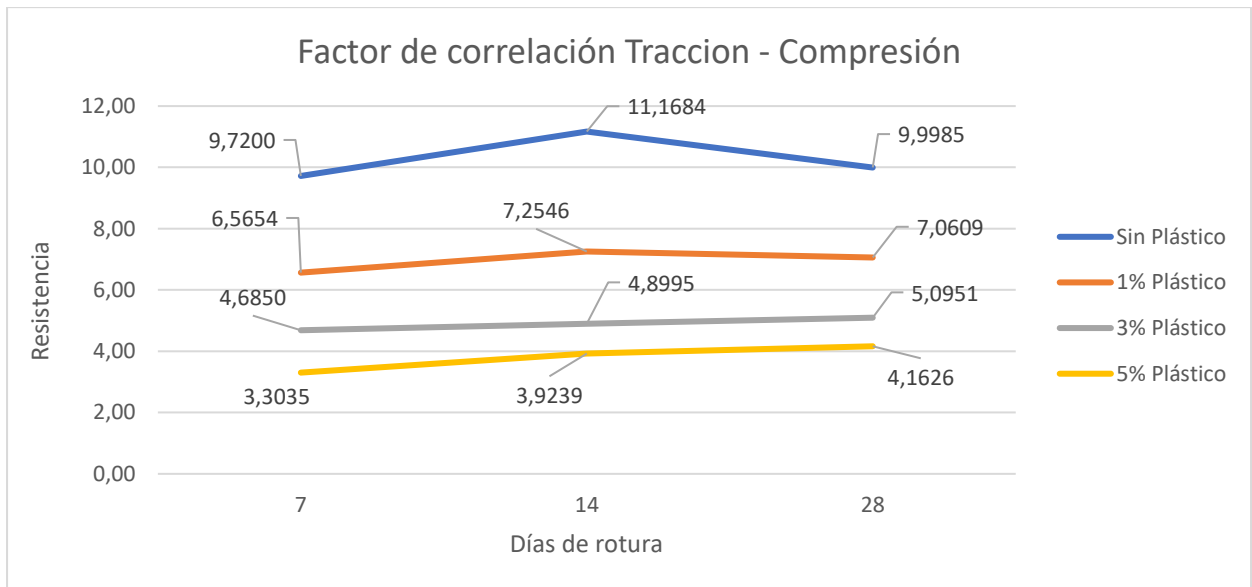
**Gráfico 5**

Factor de correlación para adoquines entre la resistencia compresión - tracción indirecta.



**Gráfico 6**

Factor de correlación para adoquines entre la resistencia tracción indirecta - compresión.



### 7.5. Interpretación de resultados

Los resultados dan a conocer los factores de correlación entre las magnitudes de resistencia a la tracción indirecta y compresión, esto se podrá expresar para cada uno de los casos estudiados.

$$f_{c-C-sin\ plastico} = 9.998 * f_{c-T-sin\ plastico}$$

$$f_{c-T-sin\ plastico} = 0.100 * f_{c-C-sin\ plastico}$$

$$f_{c-C-1\% \ plastico} = 7.060 * f_{c-T-1\% \ plastico}$$

$$f_{c-T-1\% \ plastico} = 0.1416 * f_{c-C-1\% \ plastico}$$

$$f_{c-C-3\% \ plastico} = 5.0951 * f_{c-T-3\% \ plastico}$$

$$f_{c-T-3\% \ plastico} = 0.1963 * f_{c-C-3\% \ plastico}$$

$$f_{c-C-5\% \ plastico} = 4.1626 * f_{c-T-5\% \ plastico}$$

$$f_{c-T-5\% \ plastico} = 0.2402 * f_{c-C-5\% \ plastico}$$

Fc-C = Resistencia característica a la Compresión de muestras ensayadas.

Fc-T = Resistencia característica a la Tracción Indirecta de muestras ensayadas.

Por este método se obtiene un control de calidad adecuado de las muestras de adoquines y una metodología alternativa de conocer las propiedades en muestras de adoquines. Se establece que no será necesario tener capacidades de cargas altas en los equipos de rotura debido a su relación entre la altura y diámetro de las muestras. Debido al control en diferentes días esto ayudara a determinar la resistencia de los adoquines a cualquier edad dentro del rango estudiado.

## CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. Conclusiones

La implementación de plástico reciclado (HDPE Y PP) en mezcla de hormigón para muestras de adoquines demostró que la propiedad mecánica de resistencia a la compresión se redujo a medida que se implementa un mayor porcentaje de plástico reciclado, mientras que la propiedad a tracción indirecta aumenta su capacidad para admitir carga.

Los adoquines de hormigón necesitan tener una superficie de rodadura que garantice una circulación libre y segura, por lo cual, debido a esto se optó no utilizar un agregado grueso, en muestras preliminares se obtuvo superficies rugosas las cuales no benefician a una circulación estable y segura.

El objetivo de implementar plástico reciclado en mezclas para adoquines es reducir los desechos producidos en el medio ambiente, reduciendo la contaminación en el mismo, las alternativas para mejorar las propiedades mecánicas de las muestras de adoquines y colaboren con el medio ambiente es incluyendo a la mezcla un porcentaje del 3% de plástico reciclado.

La resistencia a la compresión de adoquines de hormigón tanto en muestras normales como adoquines con plástico reciclado en la mezcla de hormigón se mantienen en el rango cercano a los 400 kg/cm<sup>2</sup> se debe a que el diseño de hormigón según el ACI se diseña para un incremento en su resistencia ( $f'_{cm}$ ), es decir si se cumple con el control adecuado de la relación agua/cemento y las humedades naturales de los materiales se alcanzara una resistencia de 499 kg/cm<sup>2</sup>.

Para un control de calidad adecuado de adoquines de hormigón se puede implementar las correlaciones entre las propiedades mecánicas evaluadas en la investigación; al momento

de ensayar a tracción indirecta no se necesita máquinas de alta capacidades de carga, se necesitaría correlacionar con el factor para obtener la resistencia a la compresión y compararlo con la normativa vigente en el Ecuador (MTOPE).

En muestras de adoquines al aplicar un 5% de plástico reciclado, la característica de resistencia a la compresión disminuye, también la resistencia a la tracción indirecta se ve afectada en comparación con las muestras de un 3 % de plástico reciclado; estas muestras no benefician a la capa de rodadura ya que no cumple con los requerimientos de diseño.

Al aplicar un 3% de plástico reciclado es lo más factible a lo que se puede inferir según los datos analizados, debido a que el deterioro de la propiedades de resistencia a la compresión sigue cumpliendo con lo requerido a los 28 días de rotura, es decir la resistencia adquirida es de más de 400 kg/cm<sup>2</sup>, además, la resistencia a tracción indirecta que adquieren superan los valores de los adoquines normales es decir sin implementar plástico reciclado en la mezcla, obteniendo resultados favorables en las dos propiedades evaluadas.

## 8.2. Recomendaciones

Se recomienda utilizar estos tipos de adoquines en zonas de bajo tráfico hasta que puedan ser evaluados otros ensayos que garanticen una circulación segura y un periodo de vida útil adecuado según el diseño a implementar para las capas de rodadura.

Se recomienda utilizar este tipo de adoquines con plástico reciclado (3% y 5%) en zonas donde las cargas aplicadas no sean altas y no afecten a la capa de rodadura, siempre y cuando se tenga un control de calidad adecuado, teniendo en cuenta una corrección adecuada de humedad del agregado.

Se recomienda realizar una investigación complementaria donde la resistencia a la tracción indirecta se vea afectada al implementar plástico reciclado, además, se pueda implementar algún agregado que ayude a estabilizar o superar las propiedades a la compresión de los adoquines

Se debe controlar el proceso de trituración del plástico para así obtener tamaños estándares en sus medidas.

Se recomienda que para próximos estudios se pueda implementar plástico reciclado con anchos y largos más pequeños a los implementados en esta investigación, es decir conseguir polvo de plástico reciclado y se pueda unificar con el agregado fino y comparar las propiedades físicas de los agregados como las propiedades mecánicas de los adoquines.

Se recomienda para futuras investigaciones se implementen ensayos que ayuden obtener mayor información de las propiedades mecánicas tales como, el ensayo de abrasión, absorción de los adoquines.

Se debería implementar un control de calidad en cuanto a ensayos a tracción indirecta en la norma vigente de movilidad MTOP del Ecuador, debido a que el ensayo ayudara a disminuir costos a la hora de avaluar y ejecutar los ensayos.

## BIBLIOGRAFÍA

Charro Ángel Mauricio, C. (2012). *RELACIONES DE COMPRESIÓN Y TENSIÓN EN ADOQUINES FABRICADOS CON MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA DE PESILLO, UBICADA EN EL CANTÓN CAYAMBE, PROVINCIA DE PICHINCHA.*

Charles Cabeza Cruz Alan Jordan Morillo Baldeon, J., & María Ysabel García Álvarez Mg Jaime Espinoza Sandoval, D. (2018). *DISEÑO DE ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTO TIPO II CON INCORPORACIÓN DE CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ, LIMA - 2018.*

Eduardo, O., & López, Q. (2020). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BLOQUERA PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO CON MATERIALES RECICLADOS Autor (es): DAVID ALEJANDRO ANDRADE GÓMEZ.*

Valbuena Guevara Shirley, I. (2021). *DISEÑO Y PROTOTIPAJE DE ADOQUÍN DE BAJO TRAFICO VEHICULAR TIPO GRAMADOQUIN USANDO PLASTICO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO TIPO HDPE SHIRLEY ISGRENDY VALBUENA GUEVARA UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL GIRARDOT-CUNDINAMARCA.*

Vigo Rivera, J. E., & Turpo Mamani, S. M. (2021). Uso de reciclado de plástico Tereftalato de Polietileno (PET) para la elaboración de adoquín de construcción. *UNACIENCIA*, 14(26), 68–79. <https://doi.org/10.35997/unaciencia.v14i26.617>

Luzmila, M., Criollo, C., López Chávez, D. E., Cabrera Vallejo, I., & Vicente, M. (2018). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA CREAR UNA EMPRESA PRODUCTORA DE ADOQUINES APROVECHANDO LOS RECURSOS DE LA PARROQUIA SEVILLA DEL CANTÓN ALAUSI”.*

Alejandra, L., Montealegre, G., Jimena, K., Hortua, T., Andrés, C., & Vargas, C. (2020). *Caracterización mecánica del plástico reciclado compuesto de polietileno de alta densidad y polipropileno, para la construcción de adoquines INGENIERÍA SOSTENIBLE. ENERGÍA, GESTIÓN AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO.*

De Jesús, E., & Tello, G. (2020). *Desarrollo de prototipo de adoquín de concreto con adición de Polietileno de Alta Densidad para pavimentos con bajos volúmenes de tránsito.*

Javier, F., Quintanilla, E., Por, A., Darío, I., Lucas, F., Al, M., El, C., & De, T. (2017). *USO DE MATERIAL RECICLADO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO, PET, COMO*

*AGREGADO FINO PARA MEZCLAS DE CONCRETO, PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES*

Yoisi, Meza Domínguez. (2017). *PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE ADOQUINES ELABORADOS CON PLÁSTICO RECICLADO PARA PAVIMENTO PEATONAL EN EL CENTRO COMERCIAL TAMBO PLAZA, LURÍN - 2017.*

Luis Aníbal, M., Rondón, C., D. de, Bazan, C., Alfredo, C., Calvay, R., & Marcos, J. (2020). *EFFECTO DEL CAUCHO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN ADOQUINES DE CONCRETO DISEÑADOS PARA PAVIMENTOS ARTICULADOS.*

Socorro, C. el, el Municipio De Matagalpa, U. E., & por Br Edwing José González Torrez Br Mario Josué Poveda Guillén Tutor Ing Jimmy Sierra Mercado, E. (2020). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA "DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL METODO AASHTO-93 Y DRENAJE MENOR DE 1.4 KM DEL TRAMO SALIDA APANTE HACIA LA.*

*NTE INEN 3040. (2016). ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO.*

*GPE INEN 44. (1996). GUÍA DE, PRÁCTICA DE ADOQUINES DE HORMIGÓN PARA TRÁNSITO LIGERO.*

Por, E., Hamilton, B., Espino, J., Br, G., Franklin, B., Benavides, G., José, F., & Bustamante, A. (2017). *DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO ADOQUIN DE 1365 METROS LINEALES DEL TRAMO DE CALLE QUE UNE A LOS BARRIOS LUCIDIA MANTILLA Y SOR MARIA ROMERO.*

De Jaén, C. (2018). *LA REVALORACIÓN DE LA PERFORMANCE FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS ARTICULADOS EN LA CIUDAD DE JAÉN.*

Ledezma, F., Yauri, W. (2018). *DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PARA ELABORACIÓN DE ADOQUINES CON MATERIAL RECICLADO DE NEUMÁTICOS EN LA PROVINCIA DE HUANCVELICA.*

Jorge, Sinchi G. (2018). *EXPERIMENTACION DE LOS PLASTICOS HDPE Y PP RECICLADOS COMO MATERIA PRIMA PARA LA GENERACION DE MOBILIARIO.*

Ponce, Denisse B. (2020). *ADISEÑO DE UN MANUAL DE PROCESOS PARA MEJORAR LA RENTABILIDAD EN LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES EN LA EMPRESA COMUNITARIA LASTUNAS.* <https://secure.arkund.com/view/62930465-751717-558613#/>

Wilson, P., Miguel, T. (2018). *CORRELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES FABRICADOS A BASE DE LODO PAPELERO Y ADOQUINES CONVENCIONALES SEGÚN LA NORMA INEN 3040.*

Obras Publicas, M. de. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES.*

NTE INEN 862. (2011). *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD.*

NTE INEN 691. (1982). *MECÁNICA DE SUELOS. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LIQUIDO MÉTODO DE CASA GRANDE.*

NTE INEN 692. (1982). *MECÁNICA DE SUELOS. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO.*

NTE INEN 696. (2011). *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO.*

NTE INEN 861. (2011). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MAYORES A 19 MM MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.*

NTE INEN 855. (2011). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN.*

NTE INEN 856. (2010). *DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO.*

NTE INEN 857. (2010). *DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO.*

NTE INEN 858. (2010). *DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS.*

NTE INEN 1488. (1986). *Adoquines requisitos.*

## **ANEXOS 1: TOLERANCIAS ADMISIBLES PARA ADOQUINES**

### Tolerancias admisibles

Espeor del adoquín	Longitud	Ancho	Espeor
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
< 100	$\pm 2$	$\pm 2$	$\pm 3$
$\geq 100$	$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 4$

Fuente: elaboración propia con base en datos de INEN (INEN 3040, 2016).

**ANEXOS 2: DESVIACIONES SOBRE PLANEIDAD Y CURVATURA  
PARA ADOQUINES**

### Desviaciones sobre planeidad y curvatura

Longitud del dispositivo de medida	Convexidad máxima	Concavidad máxima
[mm]	[mm]	[mm]
300	1.5	1.0
400	2.0	1.5

Nota. Para aplicaciones especiales tales como aeropuertos pueden ser requeridas otras desviaciones. Fuente: elaboración propia con base en datos de INEN (INEN 3040, 2016).

## **ANEXOS 3: ENSAYOS PARA EL ANÁLISIS DE MATERIALES**

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo.	NTE INEN 3040-2016-0
Áridos para hormigón. Determinación del contenido de humedad.	NTE INEN 862:2011
Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19mm mediante el uso de la máquina de los ángeles	NTE INEN 861:2011
Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.	NTE INEN 858:2010
Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.	NTE INEN 587:2010
Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.	NTE INEN 856:2010
Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.	NTE INEN 855:2010
Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso	NTE INEN 696:2011
Áridos. Muestreo.	NTE INEN 695:2010
Hormigón y áridos para elaborar hormigón.	NTE INEN 694:2010
Mecánica de suelos. Determinación del límite plástico.	NTE INEN 692
Mecánica de suelos. Determinación del límite líquido.	NTE INEN 691
Mecánica de suelos. Determinación del contenido de agua. Método secado al horno.	NTE INEN 690

Fuente: Propia

**ANEXOS 4: ENSAYOS PARA EL ANÁLISIS DE MATERIALES  
SEGÚN LA INEN Y ASTM**

Normas de los ensayos a realizar en los agregados.

<b>Ensayo</b>	<b>Norma INEN</b>	<b>Norma ASTM</b>
Contenido de Humedad	NTE INEN 862:2011	ASTM C-566
Índices de plasticidad	NTE INEN 691:1982-05 NTE INEN 692:1982-05	ASTM D-4318
Granulometría	NTE INEN 696:2011	ASTM C71, C-136, C-33, C-125
Abrasión	NTE INEN 861:2011	ASTM C-131
Colorimetría	NTE INEN 855:2010	ASTM C-40
Gravedad específica	NTE INEN 856:2010 NTE INEN 857:2010	ASTM C-127 ASTM C-128
Peso unitario	NTE INEN 858:2010	ASTM C-29

Fuente: Propia.

**ANEXOS 5: FACTOR DE CORRECCIÓN K PARA TRACCIÓN  
INDIRECTA.**

Factor de corrección k para tracción indirecta.

<b>Factor de Corrección</b>											
<b>t (mm)</b>	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
<b>k</b>	0,71	0,79	0,87	0,94	1	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

**Fuente:** NTE INEN 3040 (INEN 3040, 2016).

## **ANEXOS 6: ENSAYOS DE LABORATORIO**

# GEOTECNIA - ESTUDIO DE SUELOS

<b>PROYECTO</b>	<b>PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO</b>
-----------------	---

Norma AASHTO			Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos
Norma ASTM	D 4318	X	

<b>&gt;</b>	<b>MATERIAL</b>			
	Tipo de Material:	Arena		
	Fecha de Muestreo:	01/02/2022	Fecha de Ensayo:	01/02/2022

<b>&gt;</b>	<b>Datos y resultados del ensayo</b>
-------------	--------------------------------------

**1.- Contenido de Humedad**

P.Cap. + S.H.	P.Cap. + S.S.	P. Cap.	% Humedad	Promedio
300,79	291,3	49,54	3,93	3,96
302,71	292,54	37,79	3,99	

**1.- Límite Plástico**

P.Cap. + S.H.	P.Cap. + S.S.	P. Cap.	% Humedad	Promedio
			0,0	0,0
			0,0	

**2.- Límite Líquido**

No. Golpes	P.Cap. + S.H.	P.Cap. + S.S.	P. Cap.	% Humedad	Promedio
				0	0
				0	0
				0	0

**3.- Índice de Plasticidad**

IP = LL-LP

IP = NP

**Observaciones:**

El material no tiene plasticidad

\_\_\_\_\_  
Teodoro Patiño Tenesaca  
RESPONSABLE DEL ENSAYO

# GEOTECNIA - ESTUDIO DE SUELOS

<b>PROYECTO</b>	<b>PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO</b>		
Norma AASHTO			Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos
Norma ASTM	D 4318	X	

<b>&gt;</b>	<b>MATERIAL</b>		
	Tipo de Material:	Ripio	
	Fecha de Muestreo:	01/02/2022	Fecha de Ensayo: 02/02/2022

<b>&gt;</b>	<b>Datos y resultados del ensayo</b>
-------------	--------------------------------------

**1.- Contenido de Humedad**

P.Cap. + S.H.	P.Cap. + S.S.	P. Cap.	% Humedad	Promedio
345,58	334,51	61,49	4,05	4,38
316,71	305,09	58,31	4,71	

**1.- Límite Plástico**

P.Cap. + S.H.	P.Cap. + S.S.	P. Cap.	% Humedad	Promedio
			0,0	0,0
			0,0	

**2.- Límite Líquido**

No. Golpes	P.Cap. + S.H.	P.Cap. + S.S.	P. Cap.	% Humedad	Promedio
				0	0
				0	0
				0	0

**3.- Índice de Plasticidad**

IP = LL-LP

IP = NP

**Observaciones:**

El material no tiene plasticidad

\_\_\_\_\_  
Teodoro Patiño Tenesaca  
RESPONSABLE DEL ENSAYO

# GRANULOMETRIA DE AGREGADOS

Norma AASHTO			<b>Análisis Granulométrico de un Agregado</b>
Norma ASTM	X	C-136	

**PROYECTO** PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO

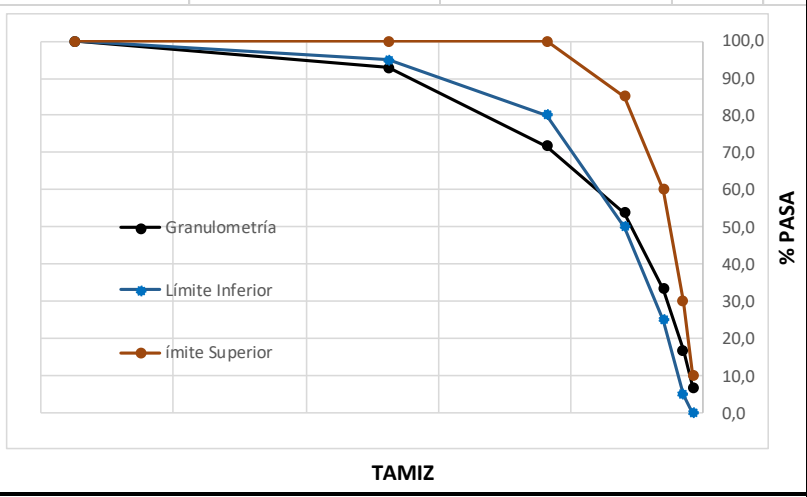
**Equipos** o Balanza o Tamices Normalizados

<b>Datos de la Muestra</b>	ODS	Planta	Adoquines Suscal	Mina/Cantera	Cochancay	
	Tipo de Material	Arena			Código Muestra	EAS001

### Datos y Resultados del Ensayo

<b>Fecha de ensayo</b>	14/03/2022	<b>Especificación</b>	NTE-INEN 872:2011	<b>Curva Granulométrica</b>
------------------------	------------	-----------------------	-------------------	-----------------------------

Masa seca original de la muestra [g]					1997,6		
<b>Especificación</b>							
Tamiz	Tamaño [mm]	Masa Ret. [g]	Masa Ret. Ac. [g]	Retenido [%]	Pasa [%]	Min.	Max.
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,0	100,0	100	100
No. 4	4,75	144,32	144,32	7,2	92,8	95	100
No. 8	2,36	421,15	565,47	28,3	71,7	80	100
No. 16	1,18	358,05	923,52	46,2	53,8	50	85
No. 30	0,60	409,17	1332,69	66,7	33,3	25	60
No. 50	0,30	329,07	1661,76	83,2	16,8	5	30
No. 100	0,15	197,92	1859,68	93,1	6,9	0	10
Pasa 200		137,95					
<b>Modulo de finura</b>		3,25					



**Responsable de Ensayo:** Teodoro Patiño Tenesaca

# GRANULOMETRIA DE AGREGADOS

Norma AASHTO			<b>Análisis Granulométrico de un Agregado</b>
Norma ASTM	X	C-136	

**PROYECTO** PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO

**Equipos** o Balanza o Tamices Normalizados

<b>Datos de la Muestra</b>	<b>ODS</b>	<b>Planta</b>	Adoquines Suscal	<b>Mina/Cantera</b>	<b>CADME</b>	
	<b>Tipo de Material</b>	Triturado 3/8"			<b>Código Muestra</b>	EAS002

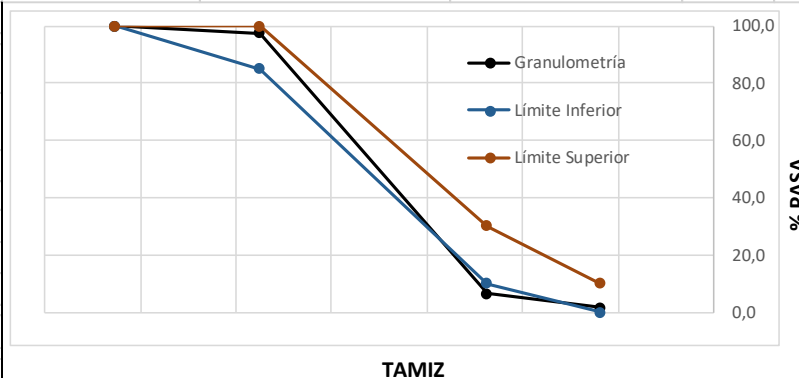
## Datos y Resultados del Ensayo

<b>Fecha de ensayo</b>	14/03/2022	<b>Especificación</b>	NTE-INEN 872:2011	<b>Curva Granulométrica</b>
------------------------	------------	-----------------------	-------------------	-----------------------------

Masa seca original de la muestra [g] 1830,5

Tamiz	Tamaño [mm]	Masa Ret. [g]	Masa Ret. Ac. [g]	Retenido [%]	Pasa [%]	Especificación	
						Min.	Max.
1/2"	12,54	0,00	0,00	0,0	100,0	100	100
3/8"	9,50	46,86	46,86	2,6	97,4	85	100
No. 4	4,75	1665,31	1712,17	93,5	6,5	10	30
No. 8	2,36	92,61	1804,78	98,6	1,4	0	10
Pasa 200		25,68					

**Modulo de finura** 6,95



**Responsable de Ensayo:** Teodoro Patiño Tenesaca



# LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

## GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

<b>PROYECTO:</b>	PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO					
		<b>CANTERA</b>		<b>F. ENSAYO</b>	16/3/2022	
		<b>T. MATERIAL:</b>	Triturado 3/8"	<b>MUESTRA #</b>	EAS002	
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #		RETIENE EN EL TAMIZ # 4				
<b>Nº DE ENSAYO</b>				cno.p	con.o	
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE (SSS)	B	gr.	2071	2082	P R O M E D I O	
MASA EN AGUA DE AGREGADO SATURADO	C	gr.	1256	1260		
TEMPERATURA	T	°C	25	25		
Nº DE RECIPIENTE			Z2	Z3		
MASA DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA		gr.	2198	2197		
MASA DEL RECIPIENTE		gr.	186	172		
MASA MUESTRA SECA	A	gr.	2012	2025		
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	K		0,9971	0,9973		
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA)	(SH)		2,462	2,457		2,459
DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA)	(SSS)		2,534	2,526		2,530
DENSIDAD APARENTE (GRAV. ESP.APARENTE)	(Ga)		2,654	2,640	2,647	
<b>FORMULAS</b>						
$SH = \frac{A}{(B-C)}$			$SSS = \frac{B}{(B-C)}$		$Ga = \frac{A}{(A-C)}$	
DENSIDAD SECA AL HORNO	(DSH)	Kg/m3	2463	2457	2460	
DENSIDAD ( SSS )	(DSSS)	Kg/m3	2535	2527	2531	
DENSIDAD APARENTE	(DA)	Kg/m3	2655	2640	2648	
ABSORCIÓN	A %		2,93	2,81	2,87	
<b>FORMULAS</b>						
$DSH = \frac{(0,998xA)}{(B-C)}$		$DSSS = \frac{(0,998xB)}{(B-C)}$		$DA = \frac{(0,998xA)}{(A-C)}$	$Abs = \frac{(B-A)}{A} \times 100$	
Observaciones:						
Teodoro Patiño Tenesaca						
RESONSABLE DEL ENSAYO						

## LABORATORIO DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES

<b>Proyecto</b>	<b>PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO</b>		
<b>Sector</b>	Cantón Suscal		
<b>Uso</b>	Diseño de Hormigón		
<b>Fecha:</b>	15/3/2022	<b>Resp.</b>	Teodoro Patiño Tenesaca

### ENSAYO PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS GRUESO-RIPIO

#### SUELTO

DATOS	ENSAYOS		
	1	2	3
Peso del Recipiente (gr)	8064	8064	8064
Volumen del Recipiente (cm <sup>3</sup> )	3048,50	3048,50	3048,50
Recipiente + Material (gr)	11642	11609	11646
Peso del Material (gr)	3578	3545	3582
Peso Volumétrico (gr/cm <sup>3</sup> )	1,174	1,163	1,175

**Peso Volumétrico Promedio Kg/m<sup>3</sup>      1171 Kg/m<sup>3</sup>**

#### COMPACTADO

DATOS	ENSAYOS		
	1	2	3
Peso del Recipiente (gr)	8064	8064	8064
Volumen del Recipiente (cm <sup>3</sup> )	3048,50	3048,50	3048,50
Recipiente + Material (gr)	12141	12222	12170
Peso del Material (gr)	4077	4158	4106
Peso Volumétrico (gr/cm <sup>3</sup> )	1,337	1,364	1,347

**Peso Volumétrico Promedio Kg/m<sup>3</sup>      1349 Kg/m<sup>3</sup>**

**Teodoro Patiño Tenesaca**  
RESPONSABLE DEL ENSAYO

## LABORATORIO DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES

<b>Proyecto</b>	PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO		
<b>Sector</b>	Cantón Suscal		
<b>Uso</b>	Diseño de Hormigón		
<b>Fecha:</b>	15/3/2022	<b>Resp.</b>	Teodoro Patiño Tenesaca

### ENSAYO PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS FINOS-ARENA

#### SUELTO

DATOS	ENSAYOS		
	1	2	3
Peso del Recipiente (gr)	8064	8064	8064
Volumen del Recipiente (cm <sup>3</sup> )	3048,50	3048,50	3048,50
Recipiente + Material (gr)	12571	12585	12588
Peso del Material (gr)	4507	4521	4524
Peso Volumétrico (gr/cm <sup>3</sup> )	1,478	1,483	1,484

**Peso Volumétrico Promedio Kg.      1482 Kg/m<sup>3</sup>**

#### COMPACTADO

DATOS	ENSAYOS		
	1	2	3
Peso del Recipiente (gr)	8064	8064	8064
Volumen del Recipiente (cm <sup>3</sup> )	3048,50	3048,50	3048,50
Recipiente + Material (gr)	13282	13315	13303
Peso del Material (gr)	5218	5251	5239
Peso Volumétrico (gr/cm <sup>3</sup> )	1,712	1,722	1,719

**Peso Volumétrico Promedio Kg.      1718 Kg/m<sup>3</sup>**

\_\_\_\_\_  
**Teodoro Patiño Tenesaca**  
 RESPONSABLE DEL ENSAYO



## **ANEXOS 7: REGISTRO FOTOGRÁFICO**

## TOMA DE MUESTRAS DE MATERIALES

**Figura 14**

Toma de muestra del agregado fino de la zona de almacenaje de la planta de adoquines.



**Figura 15**

Toma de muestra del agregado grueso de la zona de almacenaje de la planta de adoquines.



## ENSAYOS DE LABORATORIO

**Figura 16**

Ensayo de colorimetría - segundo día.



**Figura 17**

Ensayo de colorimetría - quinto día.



**Figura 18**

Saturación del agregado grueso para el contenido de absorción.

**Figura 19**

Saturación del agregado grueso para el



contenido de absorción y muestra de la arena.



**Figura 20**  
Secado de los agregados al horno.

**Figura 21**  
Ensayo de peso volumétrico suelto.



**Figura 22**  
Ensayo de peso volumétrico compactado de la arena.

**Figura 23**  
Muestras del agregado grueso.



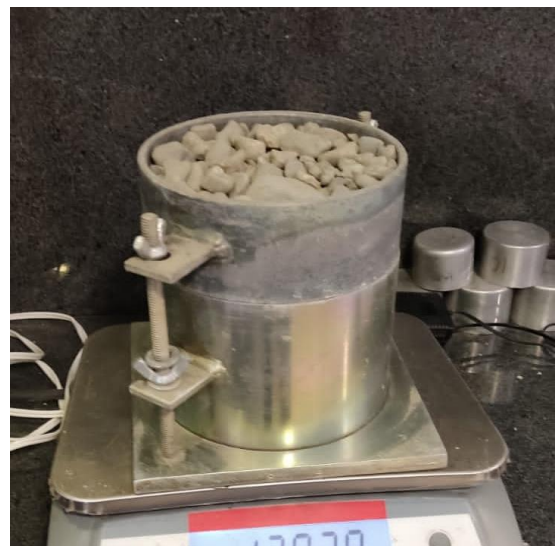
**Figura 24**  
Ensayo de peso volumétrico compactado.



**Figura 25**  
Ensayo de peso volumétrico suelto del agregado grueso.



**Figura 26**  
Ensayo de peso volumétrico compactado del agregado grueso.



**Figura 27**  
Ensayo de peso específico de la arena.



**Figura 28**  
Ensayo de peso específico del agregado grueso.



**Figura 29**  
Ensayo de peso específico.



**Figura 30**  
Ensayo de peso específico



**Figura 31**  
Ensayo de peso específico



**Figura 32**  
Ensayo de peso específico



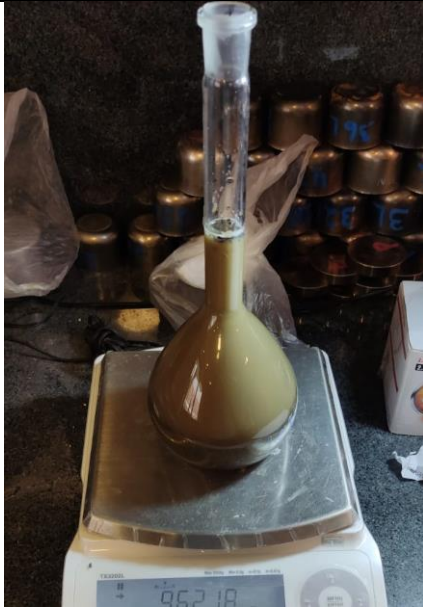
**Figura 33**  
Ensayo de peso específico



**Figura 34**  
Ensayo de peso específico



**Figura 35**  
Granulometría.



**DOSIFICACIÓN**

**Figura 36**  
Planta de adoquines.



**Figura 37**  
Pesaje del agregado fino para mezcla.



**Figura 38**  
Peso de plástico a implementar en la dosificación.

**Figura 39**  
Implementación de plástico reciclado en la mezcla de hormigón.



**Figura 40**  
Pesaje del agregado fino.



**Figura 41**  
Mezcla para adoquines



**Figura 42**  
Agregado fino en la tolva mezcladora.



**Figura 43**  
Planta de adoquines.



**Figura 44**  
Banda transportadora de mezcla.



**Figura 45**  
Banda transportadora de mezcla.



**Figura 46**  
Vibrado y sacado de las muestras de  
adoquines.



**Figura 47**  
Acopio de las muestras resultantes de los  
ensayos.



**Figura 48**  
Implementación del cementante en la mezcla.



**Figura 49**  
Acopio de las muestras resultantes de los ensayos.



**ENSAYO A COMPRESIÓN Y TRACCIÓN**

**Figura 50**  
Curado de las muestras de adoquines un día antes de la rotura

**Figura 51**  
Extracción de núcleos de adoquines



**Figura 52**  
Núcleos de los adoquines.



**Figura 53**  
Almacenaje para roturas.



**Figura 54**  
Pesos de las muestras de adoquines.



**Figura 55**  
Núcleos de adoquines a romper a compresión



**Figura 56**

Rotura a compresión de adoquines sin porcentaje de plástico



**Figura 57**

Rotura a compresión de adoquines con 3% de plástico



**Figura 58**

Rotura a compresión de núcleos a los 7 días sin porcentaje de plástico.

**Figura 59**

Muetsra rota a la compresion de nucleos de 5% de plastico.



**Figura 60**

Rotura de adoquines a tracción indirecta sin porcentaje de plástico.



**Figura 61**

Rotura de adoquines a tracción indirecta con 1% de plástico.



**Figura 62**

Muestra rota a tracción indirecta con un 5 % de plástico.



**Figura 63**

Muestras de adoquines rotas a tracción indirecta.



## **ANEXOS 8: LÁMINAS**

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Teodoro Natanael Patiño Tenesaca portador de la cédula de ciudadanía N.º 0302656202. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES CON PORCENTAJES DE PLÁSTICO RECICLADO” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de agosto de 2022



F: .....

Teodoro Natanael Patiño Tenesaca

0302656202