



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE ADOQUINES
CON POLIPROPILENO Y CAUCHO AL 10% Y 15% DE
REEMPLAZO DEL AGREGADO GRUESO, PARA SU
UTILIZACIÓN EN TRÁNSITO LIVIANO EN PAVIMENTOS
ARTICULADOS.**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Erick Daniel Rey Angulo

Asesor:

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga

Cajamarca – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Erick Daniel Rey Angulo**, denominada:

**“PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE ADOQUINES CON
POLIPROPILENO Y CAUCHO AL 10% Y 15% DE REEMPLAZO DEL
AGREGADO GRUESO, PARA SU UTILIZACIÓN EN TRÁNSITO LIVIANO EN
PAVIMENTOS ARTICULADOS”**

Ing. Orlando Aguilar Aliaga
ASESOR

Ing. Alejandro Cubas Becerra
**JURADO
PRESIDENTE**

Ing. Gabriel Cachi Cerna
JURADO

Ing. Fabián Sebastián Sánchez Portal
JURADO

DEDICATORIA

Dedico a este trabajo a mi familia, y a todas esas personas que formaron parte de esta etapa de mi vida y a las personas que fueron constantes conmigo y confiaron en mí.

Este trabajo va dedicado a Dios por darme la existencia, por acompañarme, protegerme siempre y que guía mis pasos para ser una persona de bien.

A mi padre y mi madre, que me demostraron que salir adelante solo se logra con esfuerzo, empeño, dedicación, decisión y sobre todo la unión, gracias a ellos esta investigación se realizó con éxito apoyándome en cada momento, ellos cuidaron de mí desde pequeño y me enseñaron el significado de los valores, la perseverancia y sobre todo me brindaron amor y comprensión.

A cada profesor e ingeniero que día a día compartían su sabiduría para formar los mejores profesionales de calidad y ética profesional.

AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores que me ha inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir, con sencillez, honradez y mucha humildad.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores, por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

Gracias a mi director de carrera y asesor, Ing. Orlando Aguilar Aliaga por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mi investigación con éxito y por creer en mí, y haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis profesional.

A la Universidad Privada del Norte – Cajamarca y por todo el apoyo y facilidades que nos fueron otorgadas para darnos la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas innovadoras en esta etapa de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Justificación.....	16
1.4. Limitaciones	16
1.5. Objetivos	16
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	16
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Bases Teóricas	19
2.2.1. <i>Elaboración de pavimentos articulados</i>	19
2.2.2. <i>Comportamiento de los pavimentos articulados</i>	19
2.2.3. <i>Estructura de un pavimento articulado</i>	21
2.2.4. <i>Comportamiento estructural de un pavimento articulado</i>	22
2.2.4.1. <i>Transmisión de esfuerzos</i>	22
2.2.4.2. <i>Mecanismos de Transmisión de Esfuerzos entre Adoquines y “Trabazón”</i>	22
2.2.5. <i>Fabricación de los adoquines</i>	23
2.2.6. <i>Características de los adoquines</i>	24
2.2.6.1. <i>Composición de los Adoquines</i>	24
2.2.6.2. <i>Ventajas del adoquín de concreto</i>	24
2.2.6.3. <i>Usos del Adoquín de Concreto</i>	24
2.2.7. <i>Tipos y requisitos mínimos de los adoquines</i>	25
2.2.8. <i>Polímeros</i>	26
2.2.8.1. <i>Características generales de los polímeros</i>	26
2.2.8.2. <i>Clasificación de los polímeros</i>	26
2.2.9. <i>El polímero en la construcción</i>	27
2.2.10. <i>Compatibilidad adoquín-polímero</i>	27

2.2.11.	<i>Polipropileno</i>	28
2.2.11.1.	<i>Definición fibra de polipropileno</i>	28
2.2.11.2.	<i>Características y propiedades del polipropileno</i>	29
2.2.11.3.	<i>Características y propiedades del polipropileno en el concreto</i>	31
2.2.11.4.	<i>Características del propopileno en adoquin de concreto</i>	32
2.2.12.	<i>Caucho</i>	32
2.2.12.1.	<i>Definición de caucho</i>	32
2.2.12.2.	<i>Clasificación y componentes del caucho</i>	33
2.2.12.3.	<i>Proceso de reciclaje y producción del caucho</i>	35
2.2.12.4.	<i>Características del caucho</i>	37
2.2.12.5.	<i>Propiedades del caucho</i>	38
2.2.12.6.	<i>Caucho de llanta triturada</i>	39
2.2.12.7.	<i>Propiedades mecánicas del concreto modificado con caucho</i>	39
2.2.13.	<i>Agua de diseño (NTP 339.088)</i>	40
2.2.14.	<i>Fabricación de adoquines con polipropileno, y adoquines con caucho</i>	40
2.2.15.	<i>Requerimientos mínimos para elaboración</i>	40
2.2.16.	<i>Ventajas y desventajas del adoquín</i>	42
2.3.	<i>Definición de términos básicos</i>	43
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS		45
3.1.	<i>Formulación de la hipótesis</i>	45
3.2.	<i>Operacionalización de variables</i>	45
CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS		47
4.1.	<i>Tipo de diseño de investigación</i>	47
4.2.	<i>Material</i>	47
4.2.1.	<i>Unidad de estudio</i>	47
4.2.2.	<i>Población</i>	47
4.2.3.	<i>Muestra</i>	47
4.3.	<i>Métodos</i>	47
4.3.1.	<i>Técnicas de recolección de datos y análisis de datos</i>	47
4.3.1.1.	<i>La Cantera</i>	47
4.3.1.2.	<i>Determinación de las propiedades físicas del agregado grueso</i>	48
4.3.1.3.	<i>Determinación de propiedades físicas de agregado fino</i>	53
4.3.1.4.	<i>Elaboración de adoquines</i>	56
4.3.2.	<i>Procedimientos</i>	57
4.3.2.1.	<i>Procedimiento para el estudio del agregado grueso de la cantera</i>	58
4.3.2.2.	<i>Procedimiento para el estudio del agregado fino de la cantera</i>	62
4.3.2.3.	<i>Procedimiento para el diseño de mezclas (Método ACI)</i>	65
CAPÍTULO 5. DESARROLLO		68
5.1.1.	<i>Recolección de agregados de la cantera</i>	68
5.1.2.	<i>Estudio del agregado grueso para diseño de Adoquines</i>	69
5.1.2.1.	<i>Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad - ensayo granulométrico ASTM C 136 – NTP 400.012</i>	69

5.1.2.2.	<i>Determinación del peso específico aparente y real del agregado grueso. Peso específico de masa. (ASTM C 127 y C 128)</i>	71
5.1.2.3.	<i>Determinación del contenido de humedad</i>	72
5.1.2.4.	<i>Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado grueso y vacío en los agregados. (ASTM C29 – NTP 400.017)</i>	73
5.1.2.5.	<i>Resistencia a la abrasión de los ángeles. (ASTM C 131).</i>	74
5.1.3.	<i>Estudio del agregado grueso para diseño de adoquines</i>	74
5.1.3.1.	<i>Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad – ensayo granulométrico ASTM C 136 – NTP 400.012</i>	74
5.1.3.2.	<i>Determinación del contenido de humedad natural del agregado fino</i>	75
5.1.3.3.	<i>Determinación del peso específico aparente y real del agregado fino y absorción</i>	75
5.1.3.4.	<i>Determinación cantidad de material que pasa por la MALLA N° 200.</i>	77
5.1.4.	<i>Elaboración de adoquines</i>	78
5.1.4.1.	<i>Elaboración de adoquines patrones</i>	78
5.1.4.2.	<i>Elaboración de adoquines con polipropileno</i>	80
5.1.4.3.	<i>Elaboración de adoquines con caucho</i>	81
5.1.5.	<i>Ensayos para determinar las propiedades físicas mecánicas de los adoquines.</i>	82
CAPÍTULO 6.	RESULTADOS	85
6.1.	Resultados del estudio del agregado grueso de la cantera.	85
6.2.	Resultados del estudio del agregado fino de la cantera.....	87
6.3.	Resultado del diseño de mezcla a utilizar.....	89
6.4.	Resultados de ensayos de adoquines.	91
6.4.1.	<i>Propiedades Físicas de los Adoquines</i>	91
6.4.2.	<i>Propiedades mecánicas de los adoquines</i>	92
CAPÍTULO 7.	DISCUSIÓN	95
CAPÍTULO 8.	REFERENCIAS	99
CAPÍTULO 9.	ANEXOS	104
9.1.	Estudio y ensayos del agregado grueso.....	104
9.2.	Estudio y ensayos del agregado fino	106
9.3.	Diseño de mezcla.....	109
9.4.	Ensayos de los adoquines	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01. Adoquines – requisitos	pág.30
Tabla N° 02: Resistencia a la compresión	pág.30
Tabla N° 03: Resistencia a la flexión	pág.30
Tabla N° 04: Descripción de la fibra de polipropileno	pág.34
Tabla N° 05: Propiedades del Polipropileno	pág.36
Tabla N° 06: Ficha técnica del caucho.	pág.44
Tabla N° 07: Absorción Permisible.	pág.45
Tabla N° 08: Adoquín 8 - Tipo II	pág.46
Tabla N° 09: Espesor nominal y resistencia a la compresión	pág.46
Tabla N°10: Volumen unitario de agua	pág.72
Tabla N°11: Contenido de aire atrapado	pág.72
Tabla N°12: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto	pág.73
Tabla N°13: Relación agua/cemento por resistencia	pág.73
Tabla N°14: Análisis granulométrico de agregado grueso	pág.91
Tabla N° 15: Contenido de humedad	pág.92
Tabla N° 16: Determinación del peso específico aparente y real del A.G	pág.92
Tabla N° 17: Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del A.G	pág.92
Tabla N° 18: Determinación de la Resistencia de Abrasión de los Ángeles	pág.92
Tabla N° 19: Análisis granulométrico de agregado fino	pág.93
Tabla N° 20: Contenido de humedad del agregado fino	pág.94
Tabla N° 21: Determinación del peso específico aparente y real del agregado fino	pág.94
Tabla N° 22: Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado fino	pág.94
Tabla N° 23: Cantidad de Material que Pasa por la Malla N°200	pág.94
Tabla N° 24: Diseño de mezcla para adoquines patrón	pág.95
Tabla N° 25: Diseño de mezcla para 3 adoquines patrón	pág.95
Tabla N° 26: Diseño de mezcla para 9 adoquines patrón	pág.95
Tabla N° 27: Diseño de mezcla para 9 adoquines con polipropileno al 10%	pág.96
Tabla N° 28: Diseño de mezcla para 9 adoquines con polipropileno al 15%	pág.96
Tabla N° 29: Diseño de mezcla para 9 adoquines con caucho al 10%	pág.96
Tabla N° 30: Diseño de mezcla para 9 adoquines con caucho al 15%	pág.96
Tabla N° 31: Características de los adoquines	pág.97
Tabla N° 32: Ensayo de Compresión – Adoquines	pág.98
Tabla N° 33: Ensayo de tensión – Adoquines	pág.98
Tabla N° 34: Ensayo de Absorción – Adoquines	pág.99
Tabla N° 35: Resultado de Ensayos Realizados	pág.101
Tabla N° 36: Requisitos mínimos de los adoquines	pág.102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Pavimento Articulado en Cajamarca – Qapac Ñan	pág.15
Figura N° 02. Fuerzas actuantes en pavimentos articulados	pág.19
Figura N° 03. Patrones de colocación más comunes para adoquines rectangulares	pág.20
Figura N° 04. Patrones de colocación más comunes para adoquines rectangulares	pág.20
Figura N° 05. Estructura típica de un pavimento de adoquines.	pág.21
Figura N° 06. Espesores recomendados según su aplicación	pág.23
Figura N° 07. Síntesis del Polipropileno	pág.29
Figura N° 08. Cuadro de propiedades de Polipropileno	pág.30
Figura N° 09. Fibras de Polipropileno	pág.31
Figura N° 10. Reciclaje y modificación de Caucho en forma Primaria	pág.33
Figura N° 11. Proceso del reciclado del neumático.	pág.36
Figura N° 14: Máquina de los Ángeles	pág.52
Figura N° 15: Cantera de los Ingenieros Chávez	pág.66
Figura N° 16 y 17: Agregado grueso y fino respectivamente	pág.66
Figura N° 18: Agregado de cantera río, preparación para ensayos	pág.69
Figura N° 19 y 20: Tamizado del agregado grueso	pág.69
Figura N° 21, 22 y 23: Pesado de los mallas del ensayo granulométrica	pág.70
Figura N° 24 y 25: Agregado Retenido en las mallas de, ½” y 3/8” respectivamente.	pág.70
Figura N° 26 y 27: Agregado Retenido en las mallas de N°04 y cazoleta	pág.70
Figura N° 28: Lavado y preparación de la Muestra	pág.71
Figura N° 29, 30 y 31: Proceso de secado y pesado en aire a condición	pág.71
Figura N° 32 y 33: Proceso de secado y pesado en aire a condición	pág.72
Figura N° 34 y 35: Pesado del agregado y secado en el horno	pág.72
Figura N° 36, 37 y 38: Pesado del molde vacío, y peso con muestra	pág.73
Figura N° 39, 40 y 41: Compactación y pesado del molde con muestra	pág.73
Figura N° 42, 43, 44 y 45: Preparación para Ensayo de abrasión de los ángeles	pág.74
Figura N° 46, 47 y 48: Colocación, agitación y pesado de agregado fino	pág.74
Figura N° 49, 50 y 51: Pesado de las mallas con agregado fino	pág.75
Figura N° 52, 53 y 54: Pesado y puesta en horno por 24 horas	pág.75
Figura N° 55, 56 y 57: Preparación de muestra y compactación de material	pág.76
Figura N° 58, 59 y 60: Pesado de la fiola, con y sin muestra	pág.76
Figura N° 61, 62 y 63: Proceso final de ensayo y colocación en horno	pág.76
Figura N° 64 y 65: Preparación de muestra para lavado de material	pág.77
Figura N° 66 y 67: Colocación en horno después de lavado	pág.77

Figura N° 68 y 69: Proporcione a utilizar para la elaboración de Adoquines	pág.78
Figura N° 69 y 70: Elaboración de adoquines Patrón f'c = 7 días	pág.78
Figura N° 71 y 72: Proporcione para la elaboración de Adoquines Patrón f'c = 28 días	pág.79
Figura N° 73 y 74: Realización de adoquines patrón f'c = 28 días	pág.79
Figura N° 75 y 76: Preparación para Compresión a los 3 Adoquín patrón F'c = 7 días	pág.79
Figura N° 77 y 78: Proporcione a utilizar para elaboración de adoquín con Polipropileno	pág.80
Figura N° 79 y 80: Pesado del polipropileno con recipiente	pág.80
Figura N° 81 y 82: Proporciones a utilizar para adoquines con caucho	pág.81
Figura N° 83 y 84: Mezcla y colocación en moldes para adoquines	pág.81
Figura N° 85 y 86: Ensayo a compresión de adoquines Patrón f'c = 07 días	pág.82
Figura N° 87, 88 y 89: Resultados de ensayo a compresión de adoquines	pág.82
Figura N° 90 y 91: Ensayo de Compresión a los 3 Adoquín patrón F'c = 7 días	pág.82
Figura N° 92 y 93: Preparación y medición de adoquines	pág.83
Figura N° 94, 95 y 96: Ensayo a Compresión realizados	pág.83
Figura N° 97 y 98: Ensayo a flexión realizada	pág.83
Figura N° 99 y 100: Ensayo a flexión realizada	pág.84
Figura N° 101, 102 y 103: Ensayo de absorción de los adoquines	pág.84
Figura N° 104, 105 y 106: Ensayo de absorción de los adoquines	pág.84
Figura N° 107: Curva Granulométrica de agregado grueso	pág.85
Figura N° 108: Curva granulométrica de agregado fino.	pág.87
Figura N° 109: Comparación de la absorción de los adoquines	pág.93
Figura N° 110: Comparación de la compresión de los adoquines	pág.94
Figura N° 111: Comparación de la tensión de los adoquines	pág.94

RESUMEN

Este proyecto de tesis consiste en la comparación de las propiedades físico-mecánicas de adoquines elaborados con reemplazo de su agregado grueso al 10% y 15% de polipropileno y caucho, siendo una posible solución para los desechos plásticos y llantas en desuso en la ciudad de Cajamarca.

Primero se realizó los ensayos necesarios de los agregados para el diseño según NTP 399.604, el cual se utilizó para la elaboración de los adoquines, luego se realizó el diseño de mezcla a utilizar para los adoquines, por consiguiente se elaboró los tres tipos de adoquines: convencional, con reemplazo del 10% y 15% del volumen del agregado grueso con polipropileno y con caucho, para luego someterlos a los ensayos, donde se evaluó la resistencia a compresión, resistencia a flexión y la absorción.

Luego los resultados obtenidos demostraron que las propiedades del adoquín con 10% de polipropileno superan en un 5.84% las propiedades establecidas en la NTP. 399.611 y tanto del adoquín con 15% de polipropileno y 10% de caucho, tienen similares propiedades al adoquín tipo II según la NTP 399.611, mientras con reemplazo del 15% de caucho se reduce en un 11.47% sus propiedades.

En conclusión Las propiedades físico – mecánicas de los adoquines con polipropileno al 10% son mejores a los adoquines convencionales. Mientras que los adoquines con polipropileno al 15% con los adoquines con caucho al 10%, son similares a la de los adoquines convencionales; así mismo se determinó que los adoquines de caucho al 10% no cumplen con las propiedades establecidas en la norma.

ABSTRACT

This thesis project consists in the comparison of the physical-mechanical properties of paving stones made with the replacement of its coarse aggregate at 10% and 15% polypropylene and rubber, being a possible solution for plastic waste and disused tires in the city of Cajamarca

First, the necessary tests of the aggregates were carried out for the design according to NTP 399.604, which was used for the elaboration of the paving stones, then the mixing design to be used for the paving stones was carried out, therefore the three types of paving stones were elaborated: conventional, with replacement of 10% and 15% of the volume of the coarse aggregate with polypropylene and with rubber, to then submit them to the tests, where the resistance to compression, resistance to flexion and absorption was evaluated.

Then the results obtained showed that the properties of the paving stone with 10% polypropylene surpass in 5.84% the properties established in the NTP. 399,611 and both of the paving stones with 15% polypropylene and 10% rubber, have similar properties to type II pavers according to NTP 399,611, while with 15% rubber replacement their properties are reduced by 11.47%.

In conclusion The physical-mechanical properties of paving stones with 10% polypropylene are better than conventional pavers. While paving stones with 15% polypropylene with 10% rubber pavers are similar to that of conventional pavers, it was determined that 10% rubber pavers do not comply with the properties established in the standard.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente las pistas de muchas calles y avenidas de nuestra ciudad de Cajamarca, se deterioran de manera alarmante, situación repetitiva en nuestra ciudad debido a diversos factores como deficiencias en la elaboración y ejecución de proyectos viales, así mismo el mal uso de estas pistas, ya que se ven sometidas a cargas superiores a las de su resistencia, este deterioro conlleva a una insatisfacción y molestia de la población para desplazarse de un lugar a otro. (Monteza, 2018)

En la actualidad los pavimentos con adoquines de concreto, tienen un uso muy limitado, se los ve en áreas como avenidas, caminos peatonales, zonas de parqueo, en áreas internas de muchas urbanizaciones, los adoquines son elementos prefabricados que tienen una fácil colocación, se puede reemplazar en caso de deterioro, su fácil aparejo y confinamiento, lo que conlleva a que la pavimentación articulada sea considerada la alternativa más económica.

Los pavimentos articulados han sido indiferentemente puestos de lado, tal vez, porque hace algún tiempo eran menos usados y no se veía la necesidad de hacer una caracterización de los daños, sus posibles causas y reparaciones. Sin embargo, este tipo de pavimento está siendo cada vez más utilizado en las vías principales de las ciudades significativas, en las demás zonas urbanas y rurales del país, lo que hace evidente la necesidad de investigar en este tema. En el mundo es muy escasa la literatura sobre métodos para la determinación del índice de condición de los pavimentos articulados (Sandoval, 2010).

Los pavimentos articulados trabajan bajo el principio de la fricción y trabazón entre ellos en la superficie de rodadura, los esfuerzos que se producen en las capas de los pavimentos articulados son básicamente de compresión y tracción en las capas granulares y de rodadura. (Chango, Zambrano , & Loayza, 2006).

Se optimizó dichos adoquines colocando fibra de polipropileno en la cual han dado como resultado valores efectivos, es decir ha permitido desarrollar adoquines de superiores propiedades mecánicas, físicas y climatológicas ya que presenta grandes resistencias, por lo que es de mucha ventaja la utilización de fibras para la fabricación de concretos. (Issa & Salem, 2013)

En el presente se reciclan residuos plásticos procedentes de envases descartables de bebidas y envoltorios fallados de alimentos (Polipropileno). Estos residuos son incorporados en mezclas de concreto en reemplazo de los áridos de un concreto común, obteniendo productos ecológicos, como los adoquines para pavimentos articulados, logrando que sean más livianos y de menor costo (Morales, 2015).

Solarte, (2010), diseñó una mezcla de concreto y caucho, un material, que colabora al cuidado del medio ambiente, y disminuye los costos del agregado, dicho adoquín ecológico fue sometido a pruebas, siendo apto para el uso, los resultados arrojados demuestran que el diseño propuesto es compatible para el flujo vehicular liviano, Contando con gran acogida y un bajo presupuesto.

Según el estudio de Reyes, Madrid y Salas (2017), se experimentó para mezclas de concreto modificadas (bien con caucho o bien con plástico), a medida que el porcentaje de caucho y plástico aumenta, otro tanto hace el porcentaje de vacíos en la mezcla, lo que implica la dificultad de unión entre el agregado y el concreto.

Al formular la fabricación de adoquín, caucho entre otros productos con reciclado de llantas usadas como una solución ambiental, se propone una nueva forma de suprimir este tipo de desperdicios, ya que se tardan al menos 500 años en degradarse y si son quemadas, desprenden grandes cantidades de metano, un gas de efecto invernadero CO₂ (Armas y Baño, 2013).

Administrador del PEARRSI, declaró que las cantidades de desechos plásticos se modifican en los meses del año, habiendo meses en que se reúne más cantidad de un u otro material “Gracias al trabajo en conjunto que realiza la Municipalidad Provincial de Cajamarca con la Asociación de Recicladores Formales de Cajamarca, podemos tener una cifra exacta de lo que se recolecta en cada material reciclable. Nuestro pico más alto se dio en octubre del año pasado, cuando llegamos a 39451 kg.”, enfatizó (Abanto, 2014).

Parte de esta problemática, la expansión urbana y sub-urbana que actualmente está teniendo la ciudad de Cajamarca, existen muchas calles sin pavimentar y por reparar, lo cual con esta investigación promueve la utilización de un pavimento articulado para tránsito liviano, modificando el diseño del concreto para incrementar o igualar sus propiedades físico - mecánicas con productos reciclables, de tal manera que se logre el adecuado comportamiento estructural y un cuidado al medio ambiente.

Cada día que transcurre los desechos reciclables aumentan, y vistos estos los que más abundan son las fibras plásticas con un porcentaje elevado de biodegradación, con el fin de aprovechar estos recursos se los desea implementar en la elaboración de adoquines que actualmente en Cajamarca sufren de una escasa utilización en tránsito liviano en lo que se refiere a pavimentos articulados, con esto se logrará reemplazar el agregado grueso de fabricación del adoquín con fibra, para lograr tener un producto que cumpla o supere con las propiedades físico y mecánicas de un adoquín convencional para tránsito liviano, cumpliendo con todo lo estipulado en las normas técnicas peruanas y el reglamento nacional de edificaciones.

Figura N° 01. Pavimento Articulado en Cajamarca – Qapac Ñan



Fuente: Cemento Peruano Pacasmayo (Pacasmayo, 2014)

1.2. Formulación del problema

¿CUALES SON LAS DIFERENCIAS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE ADOQUINES CONVENCIONALES Y ADOQUINES CON POLIPROPILENO Y CAUCHO AL 10% Y 15% DE REEMPLAZO DE SU AGREGADO GRUESO, PARA SU UTILIZACIÓN EN PAVIMENTOS ARTICULADOS?.

1.3. Justificación

En el trabajo de tesis de Plazas, (2015), se concluye que el uso del caucho triturado producto de llantas recicladas demostró ser compatible en el desarrollo de la propiedad de resistencia a la flexo – tracción, y estos cumplen los requisitos mínimos establecidos por las normas técnicas en lo que respecta al adición del 5% y 10% de caucho.

Salguero (2013) menciona en su investigación que la utilización adecuada de fibra de polipropileno da como efecto un elevado aumento de resistencia a los ensayos de flexión, y en los ensayos de compresión es de mucha ayuda, ya que si se utiliza un porcentaje de esta fibra de polipropileno aumentará la resistencia, concluyendo que la utilización de la fibra de polipropileno en el hormigón nos permite obtener características desarrolladas de los adoquines frente a los adoquines convencionales.

La investigación se desarrollará con el fin de proponer una nueva alternativa de adoquín para la utilización en los pavimentos articulados, logrando obtener productos ecológicos, ayudando a la disminución de desechos de llantas o productos de caucho, y polímeros.

Esta investigación ayudará a muchos estudiantes como un trabajo base motivándolos para que quieran realizar nuevos y diferentes métodos de diseño de composición estructural de adoquines no convencionales.

1.4. Limitaciones

- Escasa información sobre investigaciones de tecnologías aplicables de los adoquines de pavimentos de concreto.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Comparar las propiedades físico – mecánica de adoquines con polipropileno y caucho al 10% y 15% de reemplazo del agregado grueso para su utilización en tránsito liviano en pavimentos articulados en la ciudad de Cajamarca.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines con polipropileno y caucho.
- Diseñar las proporciones correspondientes para la elaboración de adoquines convencionales, adoquines con polipropileno y adoquines con caucho.
- Determinar las características en laboratorio de los agregados a utilizar para el diseño de mezclas para los adoquines.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Reyes, Madrid y Salas (2007) experimentaron una mezcla de concreto modificada con caucho de llantas y plástico de bolsas. La caracterización dinámica de la composición con las cantidades óptimas de cada modificador presentó una disminución del ahuellamiento del 8% y un aumento en el módulo dinámico del 14%, lo que conlleva un incremento en la durabilidad del 25%. Los porcentajes óptimos de caucho, plástico y la mezcla de los dos materiales se obtuvieron a partir de un análisis de relación estabilidad-flujo. Los porcentajes utilizados para la modificación de pavimento fueron: caucho: 0,10%, y tiras de plástico: 0,70%. Para la combinación de los dos materiales: caucho: 75% y tiras de plástico: 25%. En general, para mezclas modificadas (bien con caucho o bien con plástico), a medida que el porcentaje de caucho y plástico aumenta, otro tanto hace el porcentaje de vacíos en la mezcla, lo que implica la dificultad de unión entre el agregado y el concreto.

Uno de los trabajos sobre pavimentos modificados con polímeros es el de Collins et al. (1991), en el que los autores demostraron la efectividad de los polímeros en el perfeccionamiento de las propiedades de los pavimentos, a altas y bajas temperaturas. La elección apropiada del asfalto, el grado del asfalto, el tipo de polímero y la concentración del polímero determinan su forma y composición.

En la presente tesis nos muestra el comportamiento del concreto con diferentes plásticos y la compara con el concreto convencional, viendo como los contenidos de aire, peso específico y absorción, trabajabilidad, temperatura y las propiedades físicas; así como las propiedades mecánicas como compresión, tracción, flexión, módulo de elasticidad, resistencia al fuego, con el propósito de observar las características, propiedades, las ventajas y desventajas de los dos productos (Chacón y Lema, 2012).

La realización de un estudio por la empresa ECO-TEC, inventó una práctica única que permite prescindir al máximo el cemento y la disminución de los costos de la construcción hasta en un 40% de los costos habituales, mediante manejo y aprovechamiento de Residuos Domiciliarios Locales, alcanzando así, una mirada positiva de lo comúnmente denominado "basura". Además, el Centro Experimental de la Vivienda Económica - Argentina ha venido investigando y presentando los últimos avances de una tecnología, en la cual se reciclan residuos plásticos procedentes de envases descartables de bebidas y envoltorios fallados de alimentos (PP). Estos residuos son incorporados en mezclas de concreto en reemplazo de los áridos de un concreto común, con el objetivo de obtener productos ecológicos, logrando que sean más livianos y de menor costo (Morales, 2015).

La presente investigación es del proyecto de factibilidad para la elaboración de Eco-adoquines peatonales mediante desechos plásticos, lo que significa una gran oportunidad de inversión en Ecuador. Se concluyó que este proyecto es de vital importancia debido a la contribución que hace a la conservación de la naturaleza; ya que se muestra un proceso de elaboración limpio con los más altos modelos de calidad y funcionales. (Quevedo, 2013, p. 21).

La utilización de fibra de polipropileno en el concreto es de vital importancia si se pretende obtener concretos de mejor calidad, el análisis de los adoquines utilizando fibra de polipropileno nos permitió establecer parámetros óptimos para los adoquines, el cual se obtuvo valores positivos con respecto a los diferentes tipos de ensayos de los adoquines, además gana durabilidad y resistencia con el paso del tiempo (Salguero, 2013).

Issa & Salem (2013) en su investigación determina las características existentes en los adoquines que se comercializan en nuestro medio. Por lo que se ha desarrollado un estudio en el que consiste en optimizar dichos adoquines colocando fibra de polipropileno en la cual han dado como resultado valores efectivos, es decir ha permitido desarrollar adoquines de superiores propiedades mecánicas, físicas y climatológicas ya que presenta grandes resistencias, por lo que es de mucha ventaja la utilización de fibras para la fabricación de hormigones.

En la presente investigación fueron diseñados entre una mezcla de concreto y caucho, un material, que colabora al cuidado del medio ambiente, y disminuye los costos del agregado, dicho adoquín ecológico fue sometido a pruebas, siendo apto para el uso, los resultados arrojados demuestran que el diseño propuesto es compatible para el flujo vehicular liviano, Contando con gran acogida y un bajo presupuesto (Solarte, 2010).

Pelisser, Zavarise, Longo, y Bernardín (2011) desarrollaron un estudio en Brasil, donde se estudió la viabilidad técnica del cambio de la arena en concreto por la adición de cauchos sometidos a procesos químicos, y a la adición de humo de sílice para recuperar la resistencia, específicamente para una resistencia a la compresión de 50MPa. Observaron que el concreto con caucho presenta una reducción significativa en la fuerza. Sin embargo, el concreto al que se adicionó caucho tratado químicamente presentó la reparación excepcional de la fuerza a compresión perdida. Concluyendo que el caucho de neumático reciclado demuestra ser un excelente agregado para ser empleado en mezclas de concreto.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Elaboración de pavimentos articulados

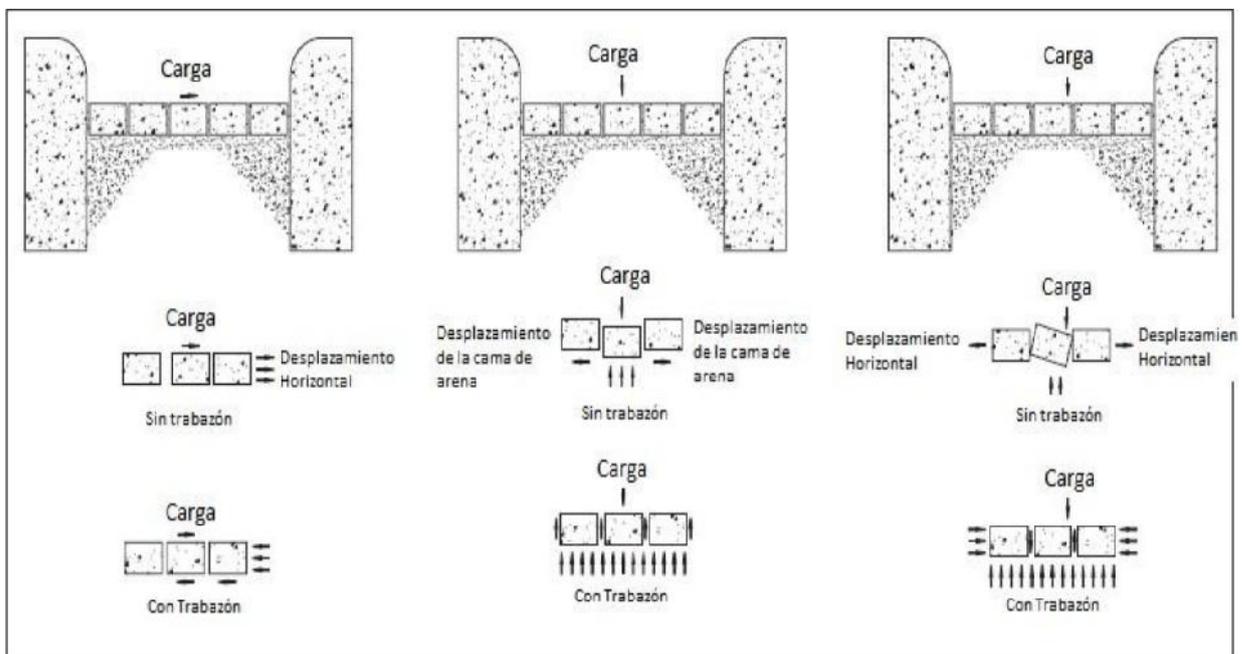
Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre la capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas. (Monsalve, Giraldo, y Maya, 2012).

2.2.2. Comportamiento de los pavimentos articulados

Los pavimentos articulados trabajan bajo el principio de la fricción y la trabazón entre ellos en la superficie de rodadura, esta conexión debe imposibilitar el movimiento vertical, horizontal y rotacional de un elemento individual lo que quiere decir que las fuerzas aplicadas a este se transmiten en conjunto en un área de acción que dependerá de la forma y el patrón en que estén distribuidos los adoquines (Chango, Zambrano, y Loayza, 2006).

En La figura N° 02, se muestra esquemáticamente la acción de las cargas cuando hay, y cuando no existe trabazón.

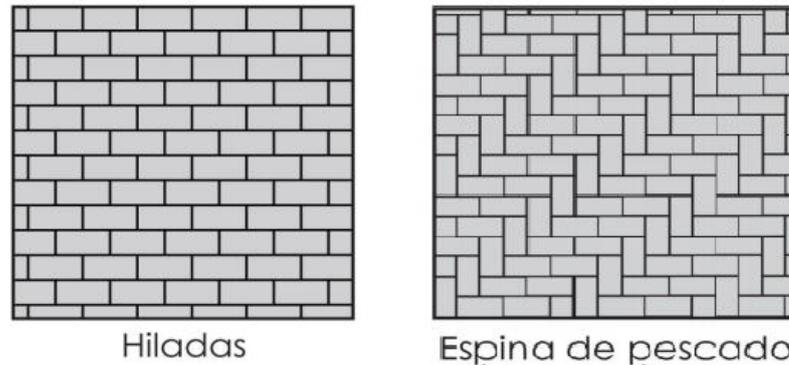
Figura N° 02. Fuerzas actuantes en pavimentos articulados



Fuente: (ICPI, 2003)

Ahora se muestra como el patrón y forma de los adoquines afectan la distribución de las fuerzas.

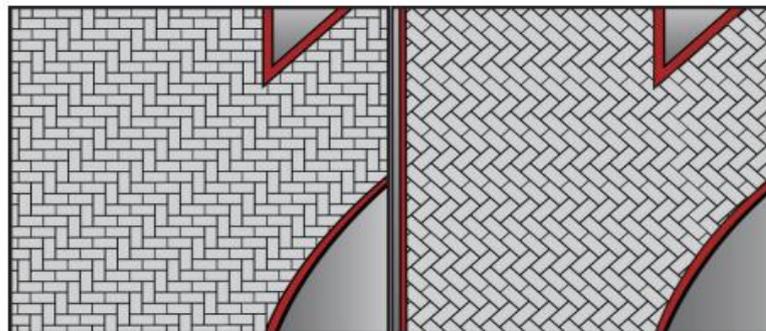
Figura N° 03. Patrones de colocación más comunes para adoquines rectangulares



Fuente: (ICCG, 2014)

Espina de pescado - Para tránsito vehicular, se utiliza el patrón en espina de pescado con adoquines rectangulares, ya sea a 45° o 90° (ver figura 9), esto reduce la incidencia de arrastre del adoquín y distribuye mejor las cargas de los neumáticos a las capas de la estructura del pavimento, por lo que no se debe cambiar de alineamiento cuando se llegue a las curvas o a las esquinas.

Figura N° 04. Patrones de colocación más comunes para adoquines rectangulares



Fuente: (ICCG, 2014)

Hiladas - Si los adoquines rectangulares se colocan en hiladas deben ir en sentido transversal al de la vía, al llegar a curvas o esquinas, hay que girar el patrón de colocación y el cambio se debe hacer con ajustes bien partidos. (No se deben colocar las hiladas en el sentido longitudinal de la vía. a. Este patrón de colocación se recomienda para ser utilizado en áreas con tránsito liviano ya que este tipo de patrón ayuda a movimientos bruscos o frecuentes aceleraciones y paradas.

Los esfuerzos que se producen en las capas de los pavimentos articulados, son similares a los pavimentos flexibles, excepto por la carpeta de rodadura cuyo comportamiento ya se ha estudiado. Estos esfuerzos son esencialmente de compresión y tracción en las capas granulares.

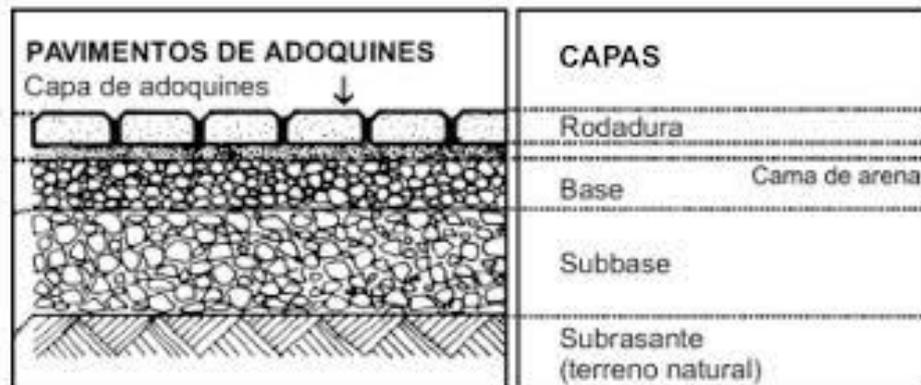
Los esfuerzos de compresión son aquellos que se originan por las cargas verticales generadas por el tráfico y que provocan las deformaciones verticales en cualquier punto del pavimento.

2.2.3. Estructura de un pavimento articulado

Aunque no todos estos elementos deben estar presentes en un pavimento de adoquín, ya que esto depende del diseño, a continuación se detalla la estructura típica (ver Figura N° 08).

1. Subrasante
2. Subbase
3. Base
4. Capa de rodadura, que incluye:
 - a. Cama de arena de asiento
 - b. Adoquines de concreto
 - c. Sello de arena

Figura N° 05. Estructura típica de un pavimento de adoquines.



Fuente: (NORMA CE.010, 2010)

2.2.4. Comportamiento estructural de un pavimento articulado

Los adoquines, arena de juntas y cama de arena generan un mecanismo de trabazón mecánica entre los adoquines mediante el cual son capaces de disipar tensiones, transfiriendo la carga entre adoquines adjuntos (Shackel y Lim, 2003).

Los pavimentos de adoquines se comportan de forma similar a los pavimentos asfálticos, fundamentalmente en lo que se refiere a las propiedades de distribución de tensiones y desarrollo de deformaciones.

2.2.4.1. Transmisión de esfuerzos

La capacidad estructural de la superficie de rodado se da por la transmisión de esfuerzos entre elementos continuos.

Se ha mostrado que por efecto de la transmisión de esfuerzos verticales entre adoquines, las presiones aplicadas sobre la superficie del pavimento pueden llegar a reducirse en un 40% a nivel de cimiento, haciendo evidente la capacidad estructural de esta capa (Quiñonez, 2006).

2.2.4.2. Mecanismos de Transmisión de Esfuerzos entre Adoquines y “Trabazón”:

Según el estudio realizado por Mora (2006), dice que existen tres mecanismos de transmisión de esfuerzos: el vertical, rotacional y horizontal.

a) Vertical: Se consigue mediante las transferencias de las cargas a las unidades circundantes, por Cortante, a través de la arena que se rellena en las juntas entre adoquines. La carga de un adoquín puede transmitirse por esfuerzos de corte a los demás adoquines.

b) Rotacional: Se mantiene, si las unidades tienen un espesor suficiente y están separados y restringidos por un bordillo, que evite, cualquier desplazamiento lateral debido a las fuerzas de las llantas de los vehículos. Las cargas verticales asimétricamente, tienden a hacerlo rotar.

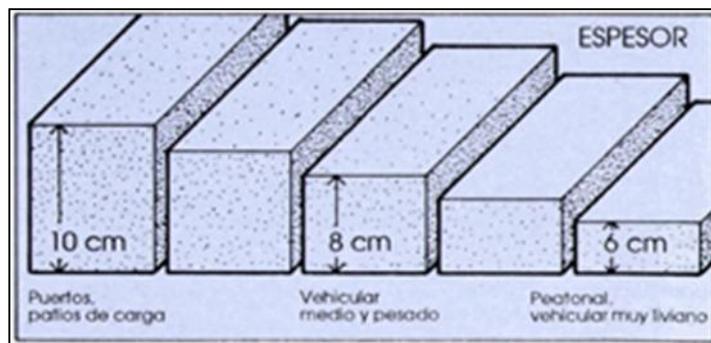
c) Horizontal: Las fuerzas horizontales de frenado, giro y aceleración, pueden producir un lento desplazamiento horizontal de los adoquines a lo largo de la huella principal de la vía, pueden llegar a romper las esquinas de los adoquines. Este fenómeno puede reducirse aparejando los adoquines en "espina de pescado"

2.2.5. Fabricación de los adoquines

Estos adoquines de concreto son productos premoldeados, en lo que se refiere a la dosificación de los materiales como al proceso de curado, generalmente a vapor, lo que permite obtener un producto de óptima calidad. Los adoquines pueden ser fabricados, además, agregando pigmentos al hormigón obteniendo elementos de distintos colores, alternativa a la que se recurre en el caso de veredas, sendas peatonales, plazas, accesos vehiculares y otros (PCR, 2004).

Los espesores más comunes de los adoquines están comprendidos normalmente entre 6 y 8 cm, llegando a 10 cm para tránsito muy pesado. Debe cuidarse la uniformidad en las dimensiones de los bloques, porque variaciones apreciables, además de perjudicar el aspecto del pavimento, afectan la transferencias de cargas a través de las juntas. En general se aceptan variaciones de +/- 2 mm en el largo y ancho de los adoquines y de +/- 5 mm en el espesor. Todos los bloques de un mismo tipo tienen la misma forma y dimensiones y pueden ser destrabados o desmontados individualmente. La variación de formas, dimensiones y colores permite obtener superficies de agradable aspecto estético (Abanto, 2014).

Figura N° 06. Espesores recomendados según su aplicación



Fuente: (ICCG, 2014)

2.2.6. Características de los adoquines

2.2.6.1. Composición de los Adoquines

El concreto con el que fabrican un adoquín están compuestos de una mezcla de: Cemento, agua, áridos y/o aditivos, esto se realiza con la ayuda de diseño de mezclas según las normas ACI. Pueden ser fabricados con un sólo tipo de concreto o con varios, cuando el adoquín está fabricado para tener una cara vista, bien sea con una textura o color especial, el concreto de la pieza será estándar y el hormigón de la capa que estará a la vista tendrá el pigmento o material que se desea en la superficie (Canal Construcción, 2015).

2.2.6.2. Ventajas del adoquín de concreto

- Diseños adaptables según el tipo de Pavimento a utilizar
- Bajo costo al momento de Adquisición
- Si se hace la correcta instalación no necesita mantenimiento o muy poco.
- Más de cincuenta años de esperanza de vida
- Debido a sus materiales no se agrieta
- Es tres veces más fuerte que el hormigón concreto vertido.
- Se adapta a las ciclos de hielo, deshielo y soporta grandes temperaturas,
- Los adoquines se adaptan a las condiciones del suelo.
- Debido a su geometría es de fácil instalación.
- Fácil sustitución debido a que son bloques
- Se pueden reutilizar en un alto porcentaje.

2.2.6.3. Usos del Adoquín de Concreto

Los pavimentos de adoquines de concreto tienen un rango de aplicación casi tan amplio como el de otros tipos de pavimentos. Se pueden utilizar en andenes, zonas peatonales y plazas, donde el tráfico es básicamente peatonal; en vías internas de urbanizaciones, calles y avenidas, con tráfico vehicular que puede ir desde unos cuantos vehículos livianos, hasta un gran número de vehículos pesados; en zonas de carga, patios de puertos, plataformas de aeropuertos y zonas donde se tienen cargas muy altas e inclusive tráfico de vehículos montados sobre orugas.

Este rango amplio de aplicaciones implica la necesidad de formular diseños diferentes para la estructura del pavimento según el tipo de tráfico que va a soportar y las características del suelo sobre el cual se va a construir (Bunny, 2009).

2.2.7. Tipos y requisitos mínimos de los adoquines

Tabla N° 01: Adoquines – requisitos

TIPO	USO
I	Adoquines para pavimentos de uso peatonal
II	Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero
III	Adoquines para tránsito vehicular pesado, patios industriales y de contenedores

Fuente: (RNE - CE.010, 2010)

Tabla N° 02: Resistencia a la compresión

TIPO	ESPESOR (mm)	PROMEDIO* (MPa)	MÍNIMO* (MPa)
I	40	31	28
	60	31	28
II	60	41	37
	80	37	33
III	100	35	32
	80	55	50

Fuente: (RNE - CE.010, 2010)

Tabla N° 03: Resistencia a la flexión

TIPO	ESPESOR MÍNIMO DEL ADOQUÍN (MM)	RESISTENCIA MÍNIMA A FLEXIÓN DEL ADOQUÍN MPA (KG/CM ²)	
		Promedio 3 Adoquines	Mínimo de un adoquín individual
I	60	5.4 (55)	4.6 (46.8)
II	80	4.1 (42)	3.5 (35.7)
III	≥80	4.1 (42)	3.5 (35.7)

Fuente: (RNE - CE.010, 2010)

2.2.8. Polímeros

Según Wulf R. (2008) los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la asociación de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se constituyen así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.

Según Chacón G. (2012) nos dice que el polímero es un material de sólido sintético o semisintético, disponible en una diversa variedad, muy utilizado en la elaboración de productos industriales. La palabra plástico puede definir, de manera general, a todas las sustancias sin punto fijo de ebullición, que en un intervalo de temperaturas, son flexibles y elásticas y, por lo tanto, moldeables y adaptables a diversas formas y aplicaciones.

2.2.8.1. Características generales de los polímeros

En la tesis de Moreno, C. (2011) nos detalle las características de los polímeros.

Un polímero es de uso común en la industria, es uno de las materias primas más reciclables y de posible accesibilidad, su comportamiento físico son adaptables como material de construcción ya que presentan características confiables, lo más importantes son:

- Alta estabilidad dimensional al calor
- Alta rigidez, dureza y resistencia al desgaste por fricción
- Buena resistencia al agrietamiento por esfuerzos
- Buenas propiedades de aislamiento eléctrico
- Buen comportamiento frente a esfuerzos
- Excelentes propiedades mecánicas
- Buen coeficiente de deslizamiento
- Baja absorción de agua
- Buena ductilidad
- Es ligero

2.2.8.2. Clasificación de los polímeros

Según Ruge (2006) dice que generalmente, los plásticos se clasifican de acuerdo con las propiedades físicas y químicas por las que están constituido, existen tres grupos principales: termoplásticos, termoestables, y elastómeros.

Elastómeros: Esta clase de plásticos presenta moléculas distribuidas sin orden, con pocos entrecruzamientos. Se caracterizan por un grado de reticulación baja. A temperatura ambiente los elastómeros se comportan como el caucho. Como consecuencia de los entrecruzamientos entre las diversas cadenas moleculares disponen de movilidad limitada y configuran puentes que únicamente pueden liberarse por medio de temperaturas muy altas, pero por sus características no vuelven a formarse una vez desciende la temperatura.

En el presente estudio de investigación de tesis, trataremos dos polímeros específicamente. Diseñaremos adoquín de concreto con polipropileno, lo cual es muy abundante en el mercado, obteniéndoles de bolsas reciclables utilizados en centro comerciales y tiendas industriales, luego diseñaremos adoquines de concreto con caucho, lo cual la materia se obtendrá del reciclaje de los neumáticos y un proceso de trituración. En cada uno de los casos los polímeros a utilizar reemplazarán un cierto porcentaje del agregado grueso, respetando la granulometría a utilizar.

2.2.9. El polímero en la construcción

El crecimiento constante de población ocasiona diferentes problemáticas, siendo dos las principales relacionadas con la industria de la construcción: la falta infraestructuras para la población de bajos recursos y el creciente deterioro ambiental producido por la generación de desechos no biodegradables. Entre las soluciones se encuentra el desarrollo y mejora en la calidad de los elementos de construcción, empleando nuevas tecnologías y materiales que disminuyan el impacto ambiental, que sean de bajo costo en su elaboración y de procesamiento sencillo; y en este rango se considera el plástico (Zavala ,2015).

2.2.10. Compatibilidad adoquín-polímero

Se debe hacer una estimación a priori de la compatibilidad para el caso de polímeros termoplásticos y cauchos sin vulcanizar, comparando los parámetros de solubilidad del polímero y del ligante, o bien mediante la relación hidrofílica/lipofílica si el polímero es termoendurecible; pero el control de la dispersión del polímero en el ligante se realiza con técnicas microscópicas. En los ligantes modificados con polímeros a elevadas temperaturas es posible ocasionar fenómenos de cremado y sedimentación que enriquecen el ligante, dependiendo de la densidad del polímero respecto al ligante. Esta desestabilización se puede producir por falta de compatibilidad entre ambos o por la dispersión incorrecta del polímero, porque el sistema y las condiciones de mezclado son deficientes.

En la presente investigación hablaremos y utilizaremos dos polímeros específicamente para la elaboración de los nuevos adoquines ecológicos, el primero es el polipropileno y el otro es el caucho, donde buscaremos el máximo aprovechamiento de los desechos producidos tanto por los plásticos, y los neumáticos.

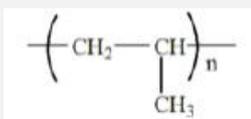
2.2.11. Polipropileno

2.2.11.1. Definición fibra de polipropileno

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.

La fibra de polipropileno se distribuye multidimensionalmente en forma uniforme en el hormigón. La enorme cantidad de fibras en la matriz fresca del concreto proporciona un alto grado de refuerzo secundario. Este refuerzo reduce la formación de todo tipo de fisuras incipientes y protege al concreto cuando su resistencia a la tracción está en su punto más bajo. La incorporación disminuye la permeabilidad, aumenta la resistencia a la fatiga, a los impactos y a la abrasión. Las fibras utilizadas como refuerzo, se distribuyen en forma uniforme en la mezcla (Salguero, 2013).

Tabla N° 04: Descripción de la fibra de polipropileno

Polipropileno	
	
Nombre químico	poli (1-metiletileno)
Sinónimo	Polipropileno: Polipropeno
Formula química	$-(C_3H_6)_n-$
Monómero	Propileno (Propeno)
Densidad	Amorfo: 0.85 g/cm ³
Temperatura de fusión	173 °C
Temperatura de degradación	286 °C

Fuente: (Cárdenas, 2011)

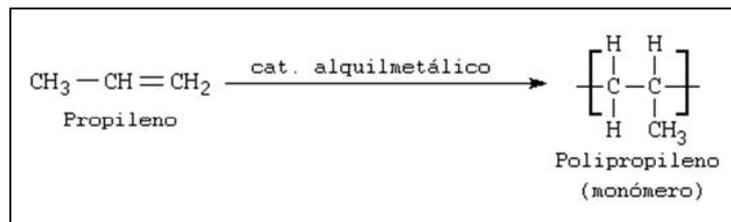
Las técnicas de producción avanzadas hacen que sea una fibra de larga vida y que virtualmente sea invisible en el hormigón fresco. Esto reduce las objeciones respecto al aspecto del producto terminado y provee al mismo tiempo un producto con el más alto grado de protección contra las grietas (Collins, 1991). Puede agregarse al concreto en cualquier etapa del amasado o del proceso de mezcla. Puede adicionarse a los agregados durante el pesaje o carga de la mezcla en la central o al camión antes, durante o después de la carga. El concreto debe ser mezclado durante 5 minutos, o en su defecto 70 vueltas después de agregar la fibra para asegurar que la distribución sea uniforme.

2.2.11.2. Características y propiedades del polipropileno

Este polímero se obtiene por polimerización. Es un polímero termoplástico semi cristalino de la familia de las poliolefinas. Estructuralmente es un polímero vinílico (su cadena principal está formada exclusivamente por átomos de carbono), es un polímero lineal cuya base es una cadena de hidrocarburos saturados. (Ebeling, Huberth, Schirber, & Schlor, 2002).

A partir de esto se obtienen tres formas isómeras de polipropileno, que dependiendo de la distribución de los metilos en el espacio pueden resultar productos con diversas propiedades:

Figura N° 7. Síntesis del Polipropileno



Fuente: (Schwarz, 2002)

El polipropileno es el polímero comercial de más baja densidad y facilidad de moldeo. Se utiliza en una gran cantidad de láminas, fibras y filamentos. Entre sus propiedades cabe destacar su alto punto de fusión (no funde por debajo de los 160° C), una gran rigidez, alta resistencia a la rotura y a la abrasión, propiedades dieléctricas, bajo rozamiento, superficie brillante y flotación en agua. Es resistente a los ácidos, a los álcalis y a muchos disolventes orgánicos. Se recalienta cerca de los 100° C.

PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO:

Según (Wasiak, 1999).se consolidan todas las propiedades del polipropileno virgen; las cuales se describen a continuación:

PROPIEDADES FISICAS Este polímero posee baja densidad entre 0.90 y 0.93 gr/cm², esto permite la elaboración de productos ligeros, además posee gran capacidad para recuperarse elásticamente. Tiene alta resistencia al impacto, su rigidez es alta.

PROPIEDADES MECÁNICAS Las propiedades mecánicas más importantes que destacan al Polipropileno se resumen en que posee gran dureza y estabilidad dimensional, alta resistencia superficial y buena resistencia química a la humedad y al calor.

PROPIEDADES QUIMICAS El Polipropileno presenta gran resistencia química, absorbe poca agua por esto es un material q presenta poca humedad, es de naturaleza polar por eso tiene alta resistencia a agentes químicos, su punto de ebullición es a 160 °C y de fusión más de 160 °C

Figura N° 8. Cuadro de propiedades de Polipropileno

Polipropileno			
Propiedades reológicas	Valor	Unidades	Método de ensayo
Índice de fluidez volumétrico, MVR	60	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperatura	230	°C	ISO 1133
Carga	2.16	Kg	ISO 1133
Propiedades mecánicas	Valor	Unidades	Método de ensayo
Módulo de elasticidad	1746	MPa	ISO 527-1/-2
Resistencia a la tracción	38	MPa	ISO 527-1/-2
Alargamiento a rotura	7	%	ISO 527-1/-2
Resistencia al impacto Charpy, +23°C	34	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Res. impacto Charpy c/entalla, +23°C	3	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Propiedades térmicas	Valor	Unidades	Método de ensayo
Estabilidad al calor, 1.80 MPa	73	°C	ISO 75-1/-2
Temp. reblandecimiento Vicat, 50°C/h 50N	97	°C	ISO 306
Otras propiedades	Valor	Unidades	Método de ensayo
Densidad	0,93	gr/cm ²	ISO 1183

Fuente: (Campus Plastic, 2014)

2.2.11.3. Características y propiedades del polipropileno en el concreto

En el estudio previo de Cárdenas (2011) nos dice que para la construcción se utiliza las fibras del plástico de Polipropileno (PP), que es uno de los materiales utilizados como refuerzo para la elaboración del hormigón.

Estas fibras están diseñadas en forma de monofilamentos, que sirven para la reducción de grietas producidas por retracciones, temperatura y asentamiento del concreto. Este plástico (PP) no afecta el revenimiento del concreto, debido a que es un material liviano, proporciona mejor durabilidad, tenacidad al concreto endurecido y no se degrada a la exposición al sol. La dosificación del Polipropileno en un metro cúbico de concreto por lo general es: 900gr. / m³ de concreto.

La principal utilidad de los monofilamentos de polipropileno es evitar las fisuras microscópicas del concreto.

Figura N° 09. Fibras de Polipropileno



Fuente: (Morales, 2015)

Tabla N° 05: Propiedades del Polipropileno

DATOS TÉCNICOS DEL POLIPROPILENO (PP)		
PROPIEDADES MECÁNICAS A 23°C		
Peso Específico	gr/cm ³	0,91 – 0,93
Resistencia a la Tracción (Fluencia / Rotura)	kg/cm ²	300
Resistencia a la Flexión	kg/cm ²	230
Alargamiento a la Rotura		600
Módulo de elasticidad (Tracción)	kg/cm ²	11 500
Resistencia al Desgaste por Roce		Regular
PROPIEDADES ELÉCTRICAS		
Absorción de Humedad	%	< 0,01

Fuente: (Cárdenas, 2011)

2.2.11.4. Características del propopileno en adoquin de concreto

En la tesis presentada por Salguero (2013) menciona que las fibras trabajan sin alterar la hidratación del cemento. Su acción es meramente mecánica y es compatible con todo tipo de aditivos para el concreto; al mismo tiempo tiene resistencia química a los álcalis. Son de realizable manejo e incorporación al concreto, mejora las propiedades del concreto, ya que millones de fibras actúan en este en todas direcciones, impidiendo que desde su origen las microgrietas se propaguen formando un refuerzo dentro de la maza del concreto, ya que afectan la durabilidad del concreto, disminuyendo el agrietamiento y la corrosión del refuerzo, ya que al eliminar las grietas y fisuras, no permite la penetración de líquidos ni gases en el concreto.

- Sustituye a la malla electro-soldada cuando se usa como refuerzo secundario en concreto (control de grietas).
- No afecta el revenimiento del concreto por ser un material inerte.
- Proporciona una mejor durabilidad en el concreto.
- Inhibe y controla la formación de grietas intrínsecas en el concreto.
- Da tenacidad al concreto endurecido.
- Reduce las grietas por retracciones plásticas y asentamiento.

2.2.12. Caucho

2.2.12.1. Definición de caucho

El caucho natural es una sustancia orgánica formada por moléculas gigantes que están entrelazadas entre sí. Dichas moléculas son gigantes porque el caucho se va formando a través de monómeros, los cuales representan eslabones que están enlazados por cadenas moleculares. Dependiendo de la fuerza de enlace de los monómeros, el caucho puede adquirir distintos grados de resistencia al estiramiento o deformación, característica que se conoce mayormente. Además el caucho, sea natural o sintético, se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. Generalmente el caucho posee altas fuerzas de atracción intermoleculares, donde dichas moléculas, se orientan en la dirección del esfuerzo.

Fases de Resistencia al estiramiento

Fase elástica: Se da cuando las fuerzas de atracción entre sus moléculas son grandes y no permiten la deformación del caucho. Por el contrario, ante una fuerza de estiramiento, el caucho vuelve a su configuración inicial.

Fase plástica: El resbalamiento de las moléculas de caucho, producto de la aplicación de una fuerza, genera una deformación que permite moldear, mezclar o extrusionar al caucho.

Figura N° 10. Reciclaje y modificación de Caucho en forma Primaria



Fuente: (Guillen, 2015)

2.2.12.2. Clasificación y componentes del caucho

a) Caucho natural

El caucho natural es un hidrocarburo que se encuentra en el látex de ciertas variedades de árboles de las familias: Moráceas, Euforbiáceas y Asclepiadáceas. Mayormente el caucho es extraído de la especie *Hevea Brasiliensis*, perteneciente a la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas (ANAYA, 2008).

b) Caucho sintético

Es una sustancia obtenida artificialmente por reacciones químicas conocidas como condensación o polimerización a partir de determinados hidrocarburos insaturados, el caucho sintético tiene como compuesto básico al monómero, el cual forma moléculas grandes al ir entrelazándose con monómeros de su tipo. (ANAYA, 2008).

CLASIFICACIÓN DEL CAUCHO SINTÉTICO

Según en la investigación de Armas Cárdenas y Baño Calle (2013), hacen una pequeña clasificación de los principales tipos de caucho sintéticos:

Caucho butílico: es un copolímero de bajo nivel de instauración que está formado por isobutileno e isopreno (aproximadamente 3% del contenido total). Este copolímero es plástico, no tan flexible como el caucho natural, resistente a la oxidación y a la acción de productos corrosivos.

Neopreno: es un polímero formado por el monómero cloropreno que tiene como materias primas al etino y al ácido clorhídrico. Tiene como principal propiedad a la resistencia al calor y a productos químicos como aceites y petróleos. Actúa como aislante en cables y maquinarias.

Coroseal: es un polímero formado por monómeros de cloruro de vinilo. Es un tipo de caucho que no se puede vulcanizar, pero tiene más resistencia a la abrasión que el caucho natural siempre y cuando no se le someta a altas temperaturas, es resistente al calor, la corrosión y la electricidad.

Otros cauchos sintéticos han sido formados con métodos de polimerización parecidos a los anteriores, la única diferencia es que se han reducido los costos y se ha mejorado la calidad del polímero al utilizar el petróleo como aditivo durante la etapa de polimerización.

Polímeros de Butadieno: es un gas incoloro de olor parecido al de la gasolina, producido en la destilación del petróleo y usado para la fabricación de caucho sintético SBS. El caucho fabricado por la polimerización de butadieno es duro y a temperatura ambiente tiene un comportamiento elastomérico.

Caucho SBR: Este tipo de caucho fue preparado por primera vez en Alemania en 1929. El SBR es un copolímero de butadieno y estireno en el cual un 25% de las unidades de estireno están distribuidas al azar entre el 75% de las unidades de butadieno en las cadenas moleculares.

Al rededor del 70% del SBR es utilizado por la industria llantera, este tipo de caucho es el que más se emplea, suponiendo algo así como el 60% de la producción de caucho consumido ya sea natural o sintético.

Caucho BR: Todas las formas de polibutadieno grados, comparten ciertas características importantes. En primer lugar tienen una flexibilidad muy alta, de hecho, el polibutadieno es el único caucho sintético con una flexibilidad mayor incluso que al del hule natural, al mismo tiempo, la resistencia a la abrasión es sobresaliente y la flexibilidad a baja temperatura es excelente.

2.2.12.3. Proceso de reciclaje y producción del caucho

En la tesis elaborada por Carrasco (2006) demuestra el proceso de reciclaje que consta de cinco etapas para la obtención de la materia prima a utilizar en la investigación.

DESMENUZAMIENTO: Los neumáticos se desmenuzan hasta un tamaño aceptable para la zona de trituración principal. Unos pulverizadores de agua lubrican, limpian y conservan el polvo a las mínimas cantidades.

ZONA DE TRITURACIÓN PRINCIPAL: Los fragmentos de neumático se trituran entre las herramientas del rotor dentado y el estator. Los fragmentos contienen alambre de acero, que apresura el proceso de trituración. Esta máquina única convierte los fragmentos en polvo fino y gránulos de modo económico y sin constituir un peligro para el medio ambiente. Una vez finalizada la etapa de trituración principal se habrá separado más del 95% del alambre de acero.

GRANULACIÓN: Las partículas gruesas de elastómero son transportadas al granulador. El deterioro de las cuchillas del granulador es relativamente bajo, ya que más del 95% del alambre de acero de los fragmentos se eliminó.

TRITURACIÓN SECUNDARIA: La zona de trituración secundaria consta de uno o más sistemas de prensa a rotor. La prensa trabaja a gran velocidad con el fin de reducir de modo efectivo el tamaño de las partículas flexibles de caucho. En esta etapa se separa toda la fibra residual.

TAMIZADO Y LIMPIEZA: Durante todo el proceso las partículas de caucho son tamizadas y clasificadas por diferentes tamaños, listas para la consecutiva acción de producción o para el almacenamiento.

- Los contaminantes como fibra, polvo, acero y suciedad que se liberan durante los diferentes procesos de trituración y granulación se aíslan mediante dispositivos que funcionan por gravedad y circulación de aire. Esto avala un producto final de gran calidad.

Figura N° 11. Proceso del reciclado del neumático.



Fuente: (Ecconex, 2012, en Naranjo, 2015)

2.2.12.4. Características del caucho

Las características básicas es que posee excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad. Se disuelve con facilidad ante petrolatos, bencenos y algunos hidrocarburos.

El caucho natural es transparente, inodoro y mal conductor de la electricidad y el calor, por eso utilizado como aislante eléctrico. A bajas temperaturas es duro y consistente, y a altas temperaturas es pegajoso y blando.

Se lo somete a la vulcanización para eliminar su plasticidad. Tiene excelentes propiedades de resiliencia y baja histéresis (medida de la energía que absorbe el caucho cuando se lo deforma).

Las propiedades del caucho son:

- Muy buenas propiedades para soportar cargas y tensiones mecánicas elevadas.
- Gran elasticidad que posibilita deformaciones importantes del material.
- Resistente al desgaste por proyección de partículas de granulometría fina.
- Buenas propiedades eléctricas.
- Buena resistencia a ácidos, bases y sales.
- Buena relación calidad/precio.

Figura N° 12. Cuadro de propiedades de Polipropileno Virgen

PROPIEDADES	Métodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color			Beige
Densidad		g/cm ³	1,00 ± 0.05
PROPIEDADES TÉRMICAS			
Temperatura de Trabajo		°C	-40/+80
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Dureza	ASTM D2240	Shore A	43 ± 5
Tensión de rotura	ISO 37	MPa	≥ 20
Elongación a la rotura	ISO 37	%	≥ 650
Resistencia al desgarro	ISO 34-1	N/mm	≥ 30
Resistencia a la abrasión (5N)	ISO 4649	mm ²	≤ 80
Deformación remanente después de 22 h a 70°C	ISO 815-1	%	≤ 30
ENVEJECIMIENTO			
Δ Dureza después de 70 h a 70°C	ASTM D573	Shore A	≤ 5
Δ Tensión de rotura después de 70 h a 70°C	ASTM D574	%	≤ -15
Δ Elongación a la rotura después de 70 h a 70°C	ASTM D575	%	≤ -25

Fuente: (Campus Plastic, 2014)

2.2.12.5. Propiedades del caucho

Ramírez (2011, p.28) detalla que existen varias propiedades del Caucho, presentan las siguientes propiedades:

- a) Tienen alta resistencia al agrietamiento por fatiga.
- b) Bajas resistencia a la ruptura.
- c) Posee alta resistencia al ozono, envejecimiento por oxidación, por esto se considera un material apto para estar a la intemperie.
- d) Repelente al agua
- e) Aislante eléctrico
- f) Presenta resistencia ante ácidos y sustancias alcalinas.
- g) Goza de una buena resistencia al desgaste, especialmente a aquel que responda principalmente a mecanismos de fatiga por rozamiento

Según Armas Cárdenas y Baño Calle (2013) menciona las tres principales propiedades del caucho para

- Es resistente a climas extremos y evita la congelación (-40 a + 80 °C).
- Antideslizantes, adherentes y permeables
- Es un pavimento resistente a líquidos

El caucho a utilizar en la presente investigación tendrá una granulometría de 2,5 a 4mm estos son los que se utilizan para la construcción de losetas para parques o en lugares donde se necesite un suelo que soporte altas cargas.

Figura N° 13: Granulometría 2,5 a 4 mm a utilizar en investigación



Fuente: (Naranjo, 2015)

2.2.12.6. Caucho de llanta triturada

La contextura del producto es caucho vulcanizado granulado derivado del equipo estratégico orientada al reciclaje, aprovechamiento y apreciación de las llantas en desuso. Se consigue a través de pasos que se efectúa por trituración mecánica y separación de los materiales que conforman las ruedas.

Tabla N° 06: Ficha técnica del caucho.

FICHA TÉCNICA	
Descripción	Caucho Granulado
Densidad	1 109 gr/cm ³ a 25°C (según norma ASTM D792)
Forma Física	Gránulos de forma irregular
Rango de dimensión	2,5 – 4,0 mm
% de presencia de acero	Menos de 0,1%
% de presencia de textiles	Menos de 0,1%

Fuente: (Mundo Limpio S.A., 2008)

2.2.12.7. Propiedades mecánicas del concreto modificado con caucho.

Resistencia a la compresión.

Esta es la propiedad más común de desempeño que utilizan los especialistas para diseñar incomparables tipos de estructuras. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se utilizan fundamentalmente para comprobar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con la resistencia especificada de los proyectos y además admite estimar otros parámetros de diseño tales como módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, resistencia al corte, etc. (Ospina, 2014)

Resistencia a la flexión.

La resistencia a la flexión se ve disminuida con el aumento en porcentaje de adición de caucho, para un concreto con adición de caucho del 3,5% y 5%, la resistencia a la flexión disminuye en un 27,8% y 11,8% respectivamente, siendo mayor la disminución de resistencia para las muestras con el 3,5% contradictorio a lo que se esperaba (Schultz, y otros, 2004).

2.2.13. Agua de diseño (NTP 339.088)

El agua a utilizar en el diseño, debe cumplir ciertos requisitos, para que pueda ser considerable en esta investigación.

- El contenido máximo de materia orgánica será 3 ppm.
- El contenido de residuo sólido no será mayor de 5 000 ppm.
- El PH estará comprendido entre 5,5 y 8.
- El contenido de sulfatos expresados será menor de 600 ppm.
- El contenido de cloruros será menor de 1 000 ppm
- El contenido de carbonatos y bicarbonatos alcalinos será mayor de 1 000 ppm.

2.2.14. Fabricación de adoquines con polipropileno, y adoquines con caucho

Los adoquines que desarrollaremos emplean polipropileno y caucho respectivamente. Estos dos materiales se procesan, hasta tener las granulometrías requeridas, para poder utilizarlo como cierto porcentaje del agregado grueso.

El porcentaje y dosificación que se pueda dar a las muestras debe ser corregidas a fin de producir adoquines con una resistencia de compresión y flexión que cumpla con los requisitos establecidos por la norma nacional.

Con el caucho que se elaboró los adoquines serán el producto de pequeñas llantas recicladas, y la materia del polipropileno será reciclado de bolsas y plásticos existentes.

2.2.15. Requerimientos mínimos para elaboración

Tabla N° 07: Absorción Permisible.

TIPO DE ADOQUÍN	Absorción Permisible	
	Promedio de 3 unidades	Unidad Individual
I y II	6	7,5
III	5	7

Fuente: NTP 399.611, 2010

Tabla N° 08: Adoquín 8 - Tipo II

ENSAYO	REQUISITO	NORMA DE REFERENCIA	NORMA DE ENSAYO
DIMENSIONES	largo: 20 cm	NTP 399.611	NTP 399.604
	Ancho: 10 cm		
	Alto: 8 cm		
ABSORCIÓN % (Promedio 3 unidades) Unidad Individual	6 % del peso seco	NTP 399.611	NTP 399.604
	7 % del peso seco		
Resistencia a la Compresión, Min., Mpa Respecto al área bruta promedio	37 MPa (380 Kg/ cm ²)	NTP 399.611	NTP 399.604
	33 Mpa (340 kg/ cm ²)		
Resistencia mínima a flexión del adoquín MPa (kg/ cm ²)	4.1 Mpa (42 kg/ cm ²)	NTP 399.611	NTP 399.604
Usos		Color y textura	
Adoquines de concreto, para pavimento vehicular y peatonal		Conforme a muestra establecida	

Fuente: Cementos Pacasmayo (2007) - NTP 399.611.

Tabla N° 09: Espesor nominal y resistencia a la compresión

Tipo	Espesor Nominal (mm)	Resistencia a la compresión mín. Mpa (kg/cm ²)	
		Promedio 3 Unidades	Unidad Individual
I (peatonal) Tipo B,C y D	40	31 (320)	31 (320)
	60	31 (320)	31 (320)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o contenedores)	80	55 (561)	50 (510)

Fuente: NTP 399.611, 2010

2.2.16. Ventajas y desventajas del adoquín.

Ventajas:

1. La materia prima para la fabricación es muy fácil de conseguir.
2. Al tener dimensiones exactas logran un mayor rendimiento en la instalación
3. Como tienen un control más estricto en lo que es la fabricación son más durables, entonces se los puede reutilizar.
4. Para la colocación no se necesita de mano de obra especializada.
5. El adoquín al ser un material que podemos poner y quitar fácilmente.
6. Poseen los espesores que exigen las normas.
7. Se puede instalar en cualquier lugar garantizando la homogeneidad del producto.
8. Por la diversidad de colores que existe en el mercado nos permite hacer demarcaciones y señalizaciones integradas.
9. Tiene una vida útil larga.
10. Para su instalación requiere la utilización de poca maquinaria.
11. Económicos.
12. Facilidad en su adquisición.

Desventajas:

1. Si no se tiene un adecuado control en lo que es la fabricación se puede obtener un adoquín poroso, cuya resistencia no va a cumplir según lo que exige la norma.
2. En lo que respecta al momento de transportarlos por el contacto uno con el otro pueden generarse fisuras, o en muchos de los casos el deterioro total del producto.
3. No se puede someter a acciones fuertes de agua porque existe la probabilidad de perder el sello de las juntas.
4. Al ser piezas que se colocan individualmente en la vía provoca ruido y mayor vibración al automóvil que circule sobre esta.

2.3. Definición de términos básicos

PAVIMENTOS ARTICULADOS: Según el instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (ICCG I. d., 98) define como pavimento articulado a la capa de rodamiento conformada por elementos uniformes compactos de concreto, denominados adoquines, que se colocan ensamblados y que debido a su entrelazado y a la conformación de sus caras laterales, permiten una transferencia de cargas desde el elemento que las recibe hacia varios de sus adyacentes, trabajando sólidamente y sin posibilidad de desmontaje individual.

ADOQUINES DE CONCRETO: Según Ojeda (2010) nos dice que los adoquines son elementos consistentes de concreto o mortero, prefabricados, con paredes verticales, que ajustan bien unos contra otros, para formar una superficie completa, dejándose una pequeña junta entre ellas, y que sirven como capa de rodadura o superficie para los pavimentos que llevan su nombre.

POLÍMERO: Los polímeros son sustancias de alto peso molecular hecha por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas (Wulf, 2008).

PET: Es un polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol, con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección (Quevedo y Guamán, 2013).

POLIPROPILENO: Es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso. El Polipropileno es el termoplástico de baja densidad. Es un plástico de alta rigidez, alta cristalinidad y excelente resistencia química (Quevedo y Guamán, 2013).

CAUCHO: El caucho natural es una sustancia orgánica formada por moléculas gigantes que están entrelazadas entre sí. Dichas moléculas son gigantes porque el caucho se va formando a través de monómeros (Espinoza, 2008).

CAUCHO SINTÉTICO: Es una sustancia obtenida artificialmente por reacciones químicas conocidas como condensación o polimerización a partir de determinados hidrocarburos insaturados, el caucho sintético tiene como compuesto básico al monómero, el cual forma moléculas grandes al ir entrelazándose con monómeros de su mismo tipo (Espinoza, 2008).

RESISTENCIA A COMPRESIÓN: a resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm²), megapascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg² o psi) a una edad de 28 días (Herford, 2009).

RESISTENCIA A FLEXIÓN: Medida de la resistencia de un elemento o miembro estructural a las fuerzas flectoras (Herford, 2009).

Según la Norma Técnica de Edificaciones Peruana E.060 Concreto (NTE.0.60 ,2009) define los siguientes términos:

AGREGADO: Material granular, de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.

AGREGADO FINO: Agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz 9,5 mm (3/8").

AGREGADO GRUESO: Agregado retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas.

AFIRMADO: Capa compactada de material granular natural ó procesado con gradación que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables (Cuenca, 2011).

DISEÑO DE MEZCLAS: Material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con agregados (grava, gravilla y arena) y agua. El cemento, mezclado con agua se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo (ITDT, 2012).

TRABAZÓN: Recurso constructivo empleado para conseguir un buen enlace del conjunto de adoquines que forman el pavimento. La trabazón evita la posible separación de piezas bajo cargas excesivas o no previstas. (Juntura, 2016).

AHUELLAMIENTO: Depresión que se presenta a lo largo del sentido el tráfico, bajo las huellas de los neumáticos.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

Las propiedades físico-mecánicas del adoquín con reemplazo de su agregado grueso con 10 y 15 % con polipropileno y caucho, alcanza una mayor resistencia en un 8%, en cuanto a su absorción disminuye en un 10%.

3.2. Operacionalización de variables

Variables Dependientes:

- Propiedades físico – mecánicas

Variables Independientes:

- % reemplazo de polipropileno
- % reemplazo de caucho

TÍTULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE ADOQUINES CON POLIPROPILENO Y CAUCHO AL 10% Y 15% DE REEMPLAZO DEL AGREGADO GRUESO, PARA SU UTILIZACIÓN EN TRÁNSITO LIVIANO EN PAVIMENTOS ARTICULADOS.	¿CUALES SON LAS DIFERENCIAS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE ADOQUINES CONVENCIONALES Y ADOQUINES CON POLIPROPILENO Y CAUCHO AL 10% Y 15% DE REEMPLAZO DE SU AGREGADO GRUESO, PARA SU UTILIZACIÓN EN PAVIMENTOS ARTICULADOS?.	Las propiedades físico-mecánicas del adoquín con reemplazo de su agregado grueso con 10 y 15 % con polipropileno y caucho, alcanza una mayor resistencia en un 8%, en cuanto a su absorción disminuye en un 10%.	<u>V.D</u> Propiedades Físico – Mecánicas	Las propiedades físico – mecánicas son las características de la estructura y composición de las partículas del agregado o mezcla del producto final que influye sobre la resistencia, comportamiento, las propiedades mecánicas se manifiestan cuando aplicamos una fuerza, en cambio las propiedades físicas son aquellas que logran cambiar la materia sin alterar su composición.	Resistencia a la compresión	Carga	Compresómetro, (NTP. 399.604) guía y protocolos.
						Deformación	
						Deformación Unitaria	
						Esfuerzo	
					Resistencia a la flexión	Carga	Compresómetro, (MTC.E 709) guía y protocolos.
						Deformación unitaria	
						Módulo de ruptura	
					Absorción	Peso Saturado	Balanza, horno, (NTP. 399.604) guía y protocolos
						Peso Seco	
						Peso Sumergido	
Propiedades de los materiales	Granulometría	Tamices, (NTP. 400.012) guía y protocolos					
	Peso Específico	Balanza, canastilla metálica (NTP. 400.022) guía y protocolos					
	Peso Volumétrico Suelto y Compactado	Balanza, horno, Pipeta, (NTP. 400.017) guía y protocolos					
	Contenido de Humedad	Balanza, Horno (NTP. 339.127) guía y protocolos					
	- Abrasión	Máquina de los ángeles, Tamiz N°12. (NTP. 400.019), guía y protocolos					
10% y 15% de caucho		Peso	Balanza				
10% y 15% de polipropileno		Peso	Balanza				

CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación.

- Experimental

4.2. Material.

4.2.1. Unidad de estudio.

Se analizará el adoquín convencional de concreto, el adoquín elaborado con un porcentaje de polipropileno y el adoquín elaborado con un porcentaje de caucho.

4.2.2. Población.

Conjunto de adoquines convencionales de concreto, conjunto de adoquines elaborados con 10% y 15% polipropileno y conjuntos de adoquines elaborados con 10% y 15% de caucho.

4.2.3. Muestra.

La muestra que se tomó son 12 adoquines de concreto convencional, además 18 adoquines con adiciones 10% y 15% de polipropileno y 18 adoquines con 10% y 15% adiciones de caucho.

4.3. Métodos.

4.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos

4.3.1.1. La Cantera.

La cantera Chávez está ubicada al noreste de la ciudad de Cajamarca, en el Centro Poblado Huambocancha Baja, a la altura del km 3, carretera Cajamarca -Bambamarca. Con un área de 500 m² y con un tiempo de servicio de 45 años, tiene una producción de 25 m³ de gravilla y 25 m³ de arena. El material de esta cantera, se caracteriza por su fitología consistente en cantos rodados de forma ovoide, demostrando haber recorrido una gran distancia y haberse sujetado al fenómeno de atracción, que, generalmente favorece la forma redondeada de los fragmentos rocosos.

El agregado fino está constituido de las rocas ya enunciadas anteriormente y de una granulometría bastante homogénea, con muy pocas impurezas y presenta forma de grano angular.

4.3.1.2. Determinación de las propiedades físicas del agregado grueso

I. Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad - ensayo granulométrico ASTM C 136 – NTP 400.012

1. Objetivos

- ✓ Determinar el módulo de finura y coeficiente de uniformidad.
- ✓ Realizar el ensayo granulométrico del agregado grueso.
- ✓ Realizar el análisis físico y estadístico de los resultados obtenidos.

2. Generalidades

Ensayo granulométrico: Sirve para conocer como está distribuido por tamaño el material recolectado en la cantera. Se tamiza el material y se pesa lo retenido en cada tamiz.

Módulo de Finura: Esto es la sumatoria de todo e los porcentajes retenidos en las mallas dividido entre 100.

$$MF = (\sum \text{retenido en las mallas } 3'', 2\ 1/2'', 2'', 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'', N^{\circ}4)/100 ,$$

Coefficiente de uniformidad: La relación del diámetro de las partículas que pasan la ordenada del 60%, al diámetro de las partículas que pasen la ordenada del 10% que según lo que acabamos de escribir y nos permite clasificar según el valor que tenga este parámetro.

3. Equipos

- ✓ Balanza.
- ✓ Horno, temperatura.
- ✓ Juego de tamices estándar.

4. Herramientas

- ✓ Hoja de reporte.
- ✓ Bolígrafo.
- ✓ Cámara fotográfica.

5. Materiales

- 3 Kg de agregado grueso de río

A. Contenido de humedad. (ASTM C 70 – NTP 339.185, 2013)

1. Objetivos

- ✓ Determinar el contenido de humedad del agregado grueso.
- ✓ Realizar el análisis físico y estadístico de los resultados obtenidos.

2. Generalidades

Contenido de humedad: es la propiedad que tiene los materiales, que relaciona el peso del agua presente en una muestra y el peso seco de la misma. Su unidad es el porcentaje.

$$W\% = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco}} * 100 = \frac{Wh - Ws}{WS} * 100 \text{ ----- (1)}$$

Wh: Peso la muestra en estado natural

Ws: Peso de la muestra seca

W%: Contenido de Humedad

3. Herramientas.

- ✓ Hoja de reporte.
- ✓ Bolígrafo.
- ✓ Cámara fotográfica.

4. Equipos

- ✓ Balanza
- ✓ Horno Eléctrico. Temperatura 100 ±5°C

5. Materiales

- 5 kg de agregado grueso.

B. Determinación del Peso Específico Aparente y Real del Agregado Grueso. Peso Específico de Masa. (ASTM C 127 y C 128)

1. Objetivos

- ✓ Determinar el peso específico del agregado grueso.
- ✓ Realizar el análisis físico y estadístico de los resultados obtenidos.

2. Generalidades

$$P_{em} = \frac{A}{(B-C)} \text{ ----- (1)}$$

$$P_{msss} = \frac{B}{(B-C)} \text{ ----- (2)}$$

$$P_{ea} = \frac{A}{(A-C)} \text{ ----- (3)}$$

$$\%Abs = \frac{(B-A)}{A} \text{ ----- (4)}$$

A = peso en el aire, de la muestra seca al horno (gr)

B = peso en el agua, de la muestra (gr)

C = peso en el agua de la muestra. (gr)

Peso Específico: se define como la relación entre la masa de un volumen unitario del material y la masa igual al volumen de agua destilada.

Peso Específico Aparente (Peap): es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el agua.

Peso Específico de Masa (Pem): viene a ser la relación entre la masa en el agua de un volumen unitario del material permeable a la masa en el agua de un volumen igual de agua.

Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente (Pmss): es similar que P.E.M., con la salvedad de que la masa incluye el agua en los poros permeables.

3. Equipos

- ✓ Balanza, capacidad 80kg
- ✓ Horno, temperatura 100° C
- ✓ Canastilla metálica.

4. MATERIALES

- 5 kg de agregado grueso, tamaño máximo nominal 1" o 1½"

C. Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado grueso y vacíos en los agregados (ASTM C29 – NTP 400.017)

1. Objetivos

- ✓ Determinar el peso seco volumétrico y compactado del agregado grueso

2. Generalidades

- ✓ Peso Volumétrico: el peso que ocupa un material en una unidad volumétrica.
- ✓ Peso Volumétrico Suelto: el peso que ocupa un material en una unidad volumétrica, donde el material esta suelto.
- ✓ Peso Volumétrico Compactado: el peso que ocupa un material en una unidad volumétrica, donde el material esta compactado.

3. Equipos

- ✓ Balanza.
- ✓ Horno, temperatura.
- ✓ Recipiente metálico estándar.
- ✓ Varilla compactadora de 5/8".
- ✓ Pipeta.

4. Materiales

- 30 kg de agregado grueso de río.

D. Resistencia a la Abrasion. Los Angeles (Standard Test Method for Resistance to Degradation of Size coarse Aggregate by and impacting the los Angeles Machine ASTM C 131)

1. Objetivos

Este método incluye los procedimientos para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados. La carga abrasiva y la muestra para ensayo, depende del tamaño de los agregados y su graduación.

2. Generalidades

Consiste en colocar cierta cantidad de material junto a una determinada cantidad de esferas de acero. Se inicia la rotación del tambor (500 revoluciones). Luego de la rotación se extrae el material y se tamiza con la malla N° 12.

3. Herramientas y Materiales

El equipo para el ensayo está compuesto por los siguientes implementos:

- ✓ Horno.
- ✓ Balanza
- ✓ Tamiz N°12
- ✓ Bandeja
- ✓ 5 kg agregado grueso

Máquina de los Ángeles

La máquina a utilizar para el ensayo de abrasión Los Ángeles, debe estar conforme, en todas sus características esenciales, con una longitud interior de 5085 mm, cerrado en ambos extremos, de forma tal que puede rotar sobre su eje en una posición horizontal dentro de una tolerancia en desnivel del 1%. El tambor debe tener una cubierta hermética adecuada que, mediante tornillos, protege el entorno contra el polvo.

La cubierta está diseñada para mantener el control cilíndrico de la superficie interior a menos que el entrepaño este tan bien emplazado que la carga no caiga sobre la cubierta o entre en contacto con esta durante el ensayo. El tambor está protegido por un entrepaño de acero removible que cubre completamente su longitud y se proyecta hacia el interior de 892 mm sobre su superficie interior, o sobre la superficie interior de la cubierta de forma tal que un plano centrado entre las grandes caras conocidas con un plano axial. El entrepaño debe tener un espesor suficiente y debe estar montada mediante tornillos u otros medios apropiados, para garantizar su firmeza y rigidez. La posición del entrepaño debe ser tal que se distancie a la dirección de rotación, no sea menor a 1,27 m. el entrepaño debe ser confeccionado de acero resistente al desgaste y debe ser sección transversal regular (ASTM C131, 2006).

Figura N°14: Máquina de los Ángeles



Fuente: (ASTM C131, 2006)

4.3.1.3. Determinación de propiedades físicas de agregado fino

A. Determinación del Módulo de Finura y coeficiente de uniformidad – ensayo granulométrico (ASTM -- C136 – NTP 400.012)

1. Objetivos

- ✓ Determinar el módulo de finura y coeficiente de uniformidad.
- ✓ Realizar el análisis físico y estadístico de los resultados obtenidos.

2. Equipos

- ✓ Balanza.
- ✓ Horno.
- ✓ Juego de tamices estándar.

3. Herramientas.

- ✓ Hoja de reporte.
- ✓ Bolígrafo.
- ✓ Cámara fotográfica.

4. Materiales.

- 3 kg de agregado fino de río.

B. Determinación del Contenido de Humedad natural del agregado fino

1. Objetivo

- ✓ Determinar el contenido de humedad agregado fino.
- ✓ Realizar el análisis físico y estadístico de los resultados obtenidos.

2. Equipo

- ✓ Balanza
- ✓ Horno
- ✓ Tara
- ✓ Material

3. Generalidades

Contenido de Humedad: propiedad que tienen los materiales, que relaciona el peso del agua presente en un espécimen y el peso seco de la misma.

4. Materiales.

- 2 kg de agregado fino

C. Determinación del Peso Específico Aparente y Real, y la Absorción

1. Objetivos

- ✓ Determinar el peso específico del agregado fino.
- ✓ Experimentar y conocer técnicas de control de error.
- ✓ Comparar resultados con otros equipos.
- ✓ Realizar el análisis físico y estadístico de los resultados obtenidos.

2. Generalidades

Peso específico: Es la relación entre la masa de un volumen unitario del material y la masa igual al volumen de agua destilada, libre de gas a una temperatura especificada.

3. Equipos

- ✓ Balanza, capacidad 300 gr
- ✓ Horno de Temperatura 100°
- ✓ Cono y pisón.
- ✓ Fiola de 500 ml

4. Materiales

- 1 kg de agregado fino

D. Determinación del Peso Volumétrico Suelto y Compactado del agregado fino – (ASTM C29 –NTP 400.017)

1. Objetivos

- ✓ Determinar el peso seco volumétrico y compactado del agregado fino.

2. Equipos

- ✓ Balanza.
- ✓ Horno.
- ✓ Depósito metálico estándar.
- ✓ Varilla compactadora de 5/8".
- ✓ Pipeta.

3. Materiales

- 30 kg de agregado fino de río.

E. Cantidad de material que pasa por la MALLA N° 200. (ASTM C 117)

1. Objetivo

- ✓ Determinar el contenido de partículas que pasa por la malla N° 200.

2. Fundamento Teórico

Esta Norma individualiza el método de prueba para determinar el contenido de partículas más finas de diámetro de 0.075mm (N° 200) por medio de lavado. Durante esta prueba, las partículas se disuelven por el agua de lavado, y las que son solubles en el agua, son separadas.

3. Equipos

- ✓ Balanza: Debe tener una sensibilidad de 0.1% de la masa
- ✓ Horno de secado de temperatura a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Tamices
- ✓ Recipiente

4. Materiales

- 500 gramos de arena fina.

4.3.1.4. **Elaboración de adoquines**

1. Materiales

Cemento:

El cemento a utilizar para el diseño de todos los adoquines fue de cemento gris, Cemento Portland Tipo I, (Pacasmayo), que cumple los Requisitos de la (NTP 334.009) “Cemento Portland. Requisitos”, se utilizó dos bolsas de cemento de 42,5 Kg cada una, el cual se preservó cuidadosamente, para que no sufriera ninguna modificación del compuesto, y se colocó sobre tabiques para no exponer el producto a la humedad.

Agregados

Son los elementos inertes del concreto que son aglomerados para formar la estructura resistente. Ocupan alrededor de las 3/ 4 partes del volumen total ya que su calidad influye grandemente en el producto.

En tal razón conocer las propiedades de los agregados será un elemento importante para el diseño de los adoquines. Para el trabajo de investigación se ha utilizado solo una cantera donde se abasteció de material tanto fino como agregado grueso (confitillo de 1/2”).

Los ensayos realizados para conocer las principales características de los agregados utilizados, tenemos:

- Análisis granulométrico: NTP 400.012
- Peso específico y absorción Agregada Fino NTP 400.022
- Peso específico y absorción Agregada Grueso NTP 400.021
- Peso unitario NTP 400 017

Agua de Diseño (NTP 339.088)

El agua de diseño cumplió con los requisitos establecidos en la norma NTP 339.088, esta agua a utilizar se utilizó para el diseño de mezclas y para el constante curado de las muestras, la proporción a utilizar de agua y la relación a/c, se deduce según el diseño de mezclas del método ACI.

Caucho

El caucho se obtuvo del reciclaje de diferentes llantas de automóviles, el cual se adquirió de los desechos de los técnicos en llantas de la vía de evitamiento, luego se realizó una previa separación del caucho de los neumáticos, ya que estos están constituidos por diferentes materias. Al momento de preparar la mezcla se notó que existe una buena trabajabilidad y adherencia del caucho con el concreto, la muestra que se añadió tenía un tamaño de 3mm a 6mm de diámetro, el cual también cumple con lo solicitado para los agregados, que el tamaño máximo nominal a utilizar debe ser no mayor que la cuarta parte del espesor del adoquín.

Polipropileno

El polipropileno se obtuvo del reciclaje de bolsas, saco de costales y rafia, el cual está elaborado con este material plástico en forma virgen, en la mezcla esta fibra no tuvo una buena trabajabilidad y homogenización.

Al polipropileno reciclado se cortó la fibra en pequeñas fragmentos, luego se lavó la materia y se dejó secar para luego ser añadido a la mezcla de concreto,

Diseño de Mezclas

Para lograr la resistencia requerida en esta oportunidad, se utilizó el método del American Concrete Institute, el cual gracias a la relación agua/cemento y el tamaño máximo nominal del agregado grueso se pudo determinar las proporciones a utilizar para encontrar la resistencia requerida, en esta oportunidad se utilizó el libro: “Diseño de Mezclas” elaborada por el Ingeniero Enrique Rivva López, y para la determinación de las proporciones de reemplazo del caucho y del polipropileno, se eliminó el volumen a reemplazar del agregado en diferentes porcentajes, y se reemplazó con volumen necesario de caucho y polipropileno en la mezcla.

4.3.2. Procedimientos

Para realizar el estudio del material de la cantera a utilizar en el diseño de adoquines debemos corresponder a una serie de pasos y procedimientos, lo cual está determinado por un conjunto de normas internacionales y nacionales tanto para el agregado grueso, como para el agregado fino, el cual se detallará a continuación:

4.3.2.1. Procedimiento para el estudio del agregado grueso de la cantera.

i. Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad -ensayo granulométrico. (ASTM C 136 – NTP 400.012)

- Obtener una muestra representativa de grava, la cual deberá estar secado al aire.
- Pesar aproximadamente 5 kg.
- Colocar el material en partes tamizar
- Realizar el proceso de vibración de las mallas (tamizado)
- Pesar el contenido de la malla.
- Limpiar las mallas.
- Dibujar la curva granulométrica.
- Determinar módulo de finura y coeficiente de uniformidad.

ii. Contenido de humedad. (ASTM C 70 – NTP 339.185, 2013)

- Pesar la muestra en estado natural
- Colocar en el horno a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas
- Determinar el conterido de humedad use la siguiente expresión:

$$W\% = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100 \text{ ----- (1)}$$

W%: Porcentaje de humedad

Ph: Peso de la muestra húmeda

Ps: Peso de la muestra seca

iii. Determinación del peso específico aparente y real del agregado grueso. Peso específico de masa. (ASTM C 127 y C 128)

- Lavar los 5 kg de material.
- Sumergir dentro de agua el material por espacio de 24 horas.
- Sacar, extender y secar con un paño la superficie de cada una de las partículas. Pesar en el aire en condición.
- Colocar el material en la canastilla metálica y pesar dentro del agua. Cuidar de no chocar ningún elemento de la canastilla, para evitar errores de medición.
- Finalmente secar la muestra a peso constante a temperatura de $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$, luego déjelo enfriar y determine su peso seco a temperatura ambiente.
- Cálculos:

$$P_{em} = A / (B - C) \text{ ----- (1)}$$

$$P_{msss} = B / (B - C) \text{ ----- (2)}$$

$$P_{ea} = A / (A - C) \text{ ----- (3)}$$

$$\%Abs = (B - A) / A \text{ ----- (4)}$$

A = peso en el aire, de la muestra seca al horno (gr)

B = peso en el agua, de la muestra (gr)

C = peso en el agua de la muestra (gr)

iv. Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado grueso y vacío en los agregados. (ASTM C29 – NTP 400.017)

A. Peso volumétrico suelto

Método 1: Peso Unitario Suelto

- Pesar el molde vacío.
- Determinar el volumen interno (m³) del molde.
- Verter la muestra a una altura de 15 cm sobre el bode superior del molde.
- Enrazar la superficie.
- Pesar la muestra y el molde.

$$PUSS = \frac{\text{Peso Muestra}}{\text{Volumen Molde}} \text{-----} (1)$$

Método 2: Peso Unitario Suelto

- Pesar el molde vacío.
- Determinar el volumen interno (m³) del molde.
- Verter la muestra a una altura de 15 cm sobre el bode superior del molde.
- Enrazar la superficie.
- Pesar la muestra y el molde.
- Repetir 3 veces.
- Pesar el molde enrazado con agua.

$$PU = W_s * f \text{-----} (1)$$

$$f = \frac{1000}{W_a} \text{-----} (2)$$

W_a = Peso del agua para llenar el recipiente

W_s = Peso neto del agregado en el recipiente

B. Peso volumétrico compactado

Método 1: Peso Unitario Compactado

- Pesarse el molde vacío.
- Determinar el volumen interno (m³) del molde.
- Echar el material en tres capas iguales, cada capa deberá ser compactada con la varilla con 25 golpes.
- Enraizar la superficie.
- Pesarse la muestra y el molde

$$PUC = \frac{\text{Peso Muestra}}{\text{Volumen Molde}} \text{ ----- (1)}$$

Método 2: Peso Unitario Compactado

- Pesarse el molde vacío.
- Determinar el volumen interno (m³) del molde.
- Echar el material en tres capas iguales, cada capa deberá ser compactada con la varilla con 25 golpes.
- Enraizar la superficie.
- Pesarse la muestra y el molde.
- Pesarse el molde enraizado con agua.

$$PU = W_s * f \text{ ----- (1)}$$

$$f = \frac{1000}{W_a} \text{ ----- (2)}$$

W_a = Peso del agua para llenar el recipiente

W_s = Peso neto del agregado en el recipiente

v. Resistencia a la abrasión de los ángeles. (Standard Test Method for Resistance to Degradation of Size coarse Aggregate by and impacting the los Angeles Machine ASTM C 131).

- Preparar el material de acuerdo a la graduación a utilizar
- Lavar el material seleccionado y secar por mínimo 24 horas
- Determinar el peso inicial
- Colocar el material dentro de la máquina de los ángeles
- Programar para 500 revoluciones
- Luego de las 500 Rev., sacar el material y tamizarlo por la malla N°12
- Pesar el material retenido en la malla N°12
- Determinar el porcentaje de abrasión con la siguiente expresión:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \times 100 \text{ ----- (1)}$$

4.3.2.2. Procedimiento para el estudio del agregado fino de la cantera.

i. Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad – ensayo granulométrico ASTM C 136 – NTP 400.012

- Obtener una muestra representativa de grava, la cual deberá estar secado al aire.
- Pesar aproximadamente 3000 gr.
- Colocar el material en partes tamizar (esto para evitar que el exceso de peso de rompa a la malla).
- Realizar el proceso de vibración de las mallas (tamizado).
- Pesar el contenido de la malla.
- Limpiar las mallas
- Dibujar la curva granulométrica
- Determinar módulo de finura y coeficiente de uniformidad.

ii. Determinación del contenido de humedad natural del agregado fino.

- Pesar la muestra en estado natural
- Colocar al horno 24 horas a temperatura 100 °C +- 5 °C
- Obtener el peso seco de la muestra
- Determinar el contenido de humedad

$$\%W = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100 \text{ ----- (1)}$$

%W = Porcentaje de humedad

Ph = Peso de muestra en estado natural

Ps = Peso de muestra seca

iii. Determinación del peso específico Aparente y Real del agregado fino y absorción

- Inicialmente hay que realizar la preparación de la muestra por cuarteo.
- Lavar aproximadamente 500 gr de material seleccionado por cuarteo.
- Sumergir la muestra con agua y dejarla en reposo por mínimo 24 horas.
- Luego decantar con mucho cuidado sobre una bandeja, e iniciar un proceso de secado con una suave corriente de aire caliente, hasta que las partículas puedan fluir libremente.
- En el molde tronco cónico, rellenar con tres capas compactando con 25 golpes por capa con una varilla metálica.
- Si existe humedad libre, el cono del agregado fino mantendrá su forma, entonces siga secando revolviendo constantemente la muestra e intente nuevamente hasta que el cono se derrumbe al quitar el cono. Esto demostrará que el agregado habrá alcanzado su condición de saturado.
- Si al realizar el primer intento, el cono del agregado se desmorona, es porque la muestra ya no tiene humedad libre, en este caso añada unos cuantos cc de agua y después de mezclarlos completamente deje reposando la muestra luego en un envase bien tapado para luego repetir el proceso.
- Alcanzando este estado (SSS) introduzca de inmediato en un frasco una muestra de 500 gr.
- Enseguida haga rodar el frasco sobre una superficie plana, hasta eliminar todas las burbujas de aire, después, de lo cual se colocará en un baño maría a una temperatura de 23°C ± 2°C.
- Después de 1 minuto, llénelo con agua hasta la marca de 500cm³ y determine el peso total agua introducida en el frasco de ensayo.

- Con cuidado saque el agregado fino del frasco y seguido secar en el horno a 100°C hasta peso constante y obtenga su peso seco.

$$(P_{em}) = \frac{W_o}{(V-V_a)} \text{ ----- (1)}$$

$$(P_{emsss}) = \frac{500}{(V-V_a)} \text{ ----- (2)}$$

$$(P_{eap}) = \frac{W_o}{((V-V_a)-(500-W_o))} \text{ ----- (3)}$$

$$(\% \text{ Abs}) = \frac{(500-W_o)*100}{W_o} \text{ ----- (4)}$$

P_{em} = Peso Específico de Masa

P_{emsss} = Peso Específico de Masa SSS

P_{eap} = Peso Específico Aparente

$\% \text{ Abs}$ = Porcentaje de Absorción

V = Volumen del frasco usado en el ensayo cm³

W_o = Peso en el aire de la muestra secada en la estufa (gr).

V_a = Peso en gramos o volumen en cm³ del agua añadida al frasco.

iv. CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA N° 200. (ASTM C 117)

- Preparar una muestra de 500 gr de agregado fino.
- Someter la muestra a un proceso de agitación y lavarlo hasta que el color del agua no se modifique y utilizando el tamiz N° 200.
- Se saca el contenido de dicho tamiz y se lo seca en el horno.
- Calcule la cantidad de material que pasa por el tamiz.

$$A = \left(\frac{B-C}{C} \right) \times 100 \text{ ----- (1)}$$

A: % del material fino que pasa el tamiz N°500 por lavado

B: peso original de la muestra seca

C: peso de la muestra seca, después del lavado

4.3.2.3. Procedimiento para el diseño de mezclas (Método ACI)

SECUENCIAS DEL MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS MÉTODO ACI 211

Este procedimiento propuesto por el comité ACI 211, está basado en el empleo de tablas.

Secuencia:

1. Selección de la resistencia requerida ($f'c r$)
2. Selección del TMN del agregado grueso.
3. Selección del asentamiento
4. Seleccionar el contenido de agua Tabla N°10
5. Seleccionar el contenido de aire atrapado Tabla N°11
6. Selección de la relación agua/cemento sea por resistencia a compresión o por durabilidad. Tabla N°13.
7. calculo del contenido de cemento (4) / (6).
8. Seleccionar el peso del agregado grueso en la Tabla N°12 proporciona el valor de b/bo , donde bo y b : son los pesos unitarios secos con y sin compactar respectivamente del agregado grueso.
9. Calcular la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar el agregado fino.
10. Cálculo del volumen del agregado fino.
11. Cálculo del peso en estado seco del agregado fino.
12. Presentación del diseño en estado seco.
13. Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados.
14. Presentación del diseño en estado húmedo.

Tabla N°10: Volumen unitario de agua

Agua en l/m³, para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicada.								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-----

Fuente: ACI. 211 (1998)

Tabla N°11: Contenido de aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso.	Aire atrapado
3/8 "	3,0 %
1/2 "	2,5 %
3/4 "	2,0 %
1 "	1,5 %
1 1/2 "	1,0 %
2 "	0,5 %
3 "	0,3 %
4 "	0,2 %

Fuente: ACI. 211 (1998)

Tabla N°12: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino. (b / bo)				
Tamaño máximo nominal del agregado grueso.	2.40	2.60	2.80	3.00
3 / 8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
1 / 2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3 / 4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1 / 2 "	0.76	0.74	0.72	0.70
2 "	0.78	0.76	0.74	0.72
3 "	0.81	0.79	0.77	0.75
6 "	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI. 211 (1998)

Tabla N°13: Relación agua/cemento por resistencia

f'c (Kg/cm²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	-
450	0,38	-

Fuente: ACI. 211 (1998)

CAPÍTULO 5. DESARROLLO

5.1.1. Recolección de agregados de la cantera.

Viajamos hasta la cantera Chávez ubicada al noreste de la ciudad de Cajamarca, en el Centro Poblado Huambocancha Baja, a la altura del km 3 carretera Cajamarca-Bambamarca.

Figura N° 15: Cantera de los Ingenieros Chávez



Luego se procedió a la recolección de 30 kg de agregado grueso y 30 kg de agregado fino para sus respectivos estudios de laboratorio realizados en laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte

Figura N° 16 y 17: Agregado grueso y fino respectivamente



Luego procedimos hacer los ensayos respectivos de los agregados según las NORMAS ASTM, en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte.

Figura N° 18: Agregado de cantera río, preparación para ensayos



5.1.2. Estudio del agregado grueso para diseño de Adoquines

5.1.2.1. Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad - ensayo granulométrico ASTM C 136 – NTP 400.012

Se procedió primero a pedir al encargado de laboratorio, las mallas para el ensayo de agregado grueso (Malla de tamaño de: 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y la N° 04).

Figura N° 19 y 20: Tamizado del agregado grueso



Pesamos aproximadamente 5 kg de agregado grueso, después realizamos el peso de cada tamiz que vamos a utilizar.

Figura N° 21, 22 y 23: Pesado de los mallas del ensayo granulométrica



A continuación se realiza un proceso de agitación de las mallas (tamizado), donde queda retenido cierta cantidad de agregado en cada uno, después se empieza a pesar el contenido de agregado de cada una de las mallas.

Figura N° 24, 25: Agregado Retenido en las mallas de, 1/2" y 3/8" respectivamente.



Figura N° 26 y 27: Agregado Retenido en las mallas de N°04 y cazoleta respectivamente.



5.1.2.2. Determinación del peso específico aparente y real del agregado grueso. Peso específico de masa. (ASTM C 127 y C 128)

Primeramente lavamos 5 kg de agregado, hasta quede limpio y no se logre percibir impurezas, luego dejamos sumergido por espacio de 24 horas.

Figura N° 28: Lavado y preparación de la Muestra



Luego de las 24 horas, extendimos y secamos con un paño la superficie de las partículas de los agregados y procedimos a pesar en el aire en condición.

Figura N° 29, 30 Y 31: Proceso de secado y pesado en aire a condición



Colocamos el material en la canastilla metálica de laboratorio y medimos el peso dentro del agua. Finalmente secamos la muestra en el horno de temperatura de $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$, después de 24 horas, sacamos el agregado y se determinó su peso.

Figura N° 32 y 33: Proceso de secado y pesado en aire a condición



5.1.2.3. Determinación del contenido de humedad

Pesamos la muestra en estado natural, como se trajo de la cantera, lo pesamos y luego lo colocamos en el horno a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, después sacamos y pesamos.

Figura N° 34 y 35: Pesado del agregado y secado en el horno



5.1.2.4. Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado grueso y vacío en los agregados. (ASTM C29 – NTP 400.017)

Peso volumétrico suelto

Peso unitario suelto

Pesamos el molde vacío, encontramos el volumen del molde con sus dimensiones internas, luego vertimos a 15 cm de altura el agregado, luego se enrazó la superficie y se procedió a pesar el agregado con el molde.

Figura N° 36, 37 y 38: Pesado del molde vacío, y peso con muestra



Peso volumétrico compactado

Peso unitario compactado

Pesamos el molde, después encontramos el volumen del molde, luego vertimos a 15 cm de altura el agregado, pero esta vez colocamos el material en tres capas iguales, cada capa fue compactada con la varilla con 25 golpes, luego se enrazó la superficie y se procedió a pesar el agregado con el molde.

Figura N° 39, 40 y 41: Compactación y pesado del molde con muestra



5.1.2.5. Resistencia a la abrasión de los ángeles. (ASTM C 131).

Se lavó el material y se secó por 24 horas, luego se pesó y se colocó dentro de la máquina de los ángeles, después se programó para 500 revoluciones, posteriormente se saca el material y se tamiza por la malla N°12, por último se pesa lo retenido en la malla N°12 y se encuentra el porcentaje de abrasión.

Figura N° 42, 43, 44 y 45: Preparación para Ensayo de abrasión de los ángeles



5.1.3. Estudio del agregado grueso para diseño de adoquines

5.1.3.1. Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad – ensayo granulométrico ASTM C 136 – NTP 400.012

Pesamos aproximadamente 3000 gr. Luego colocamos el material en partes, para tamizarlo, (esto para evitar que el exceso de peso de rompa a la malla). A continuación realizamos el proceso de vibración o agitación de las mallas, para finalmente pesar el contenido retenido en cada malla.

Figura N° 46, 47 y 48: Colocación, agitación y pesado de agregado fino



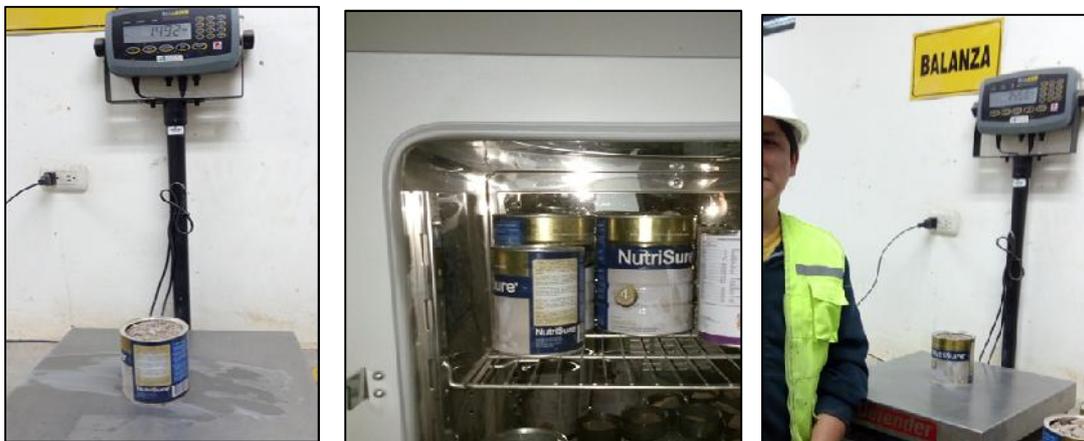
Figura N° 49, 50 y 51: Pesado de las mallas con agregado fino



5.1.3.2. Determinación del contenido de humedad natural del agregado fino

Se pesó la muestra en estado natural, posteriormente se colocó en el horno 24 horas a temperatura $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, después se obtuvo el peso de la muestra sacada del horno y se determinó el contenido de humedad.

Figura N° 52, 53 y 54: Pesado y puesta en horno por 24 horas



5.1.3.3. Determinación del peso específico aparente y real del agregado fino y absorción

Inicialmente se realizó la preparación de nuestra muestra por cuarteo, luego se lavó aproximadamente 500 gr de material seleccionado, después sumergimos la muestra con agua y dejamos en reposo por mínimo 24 horas. Luego decantar con mucho cuidado sobre una bandeja, e iniciar un proceso de secado, Después en el cono se rellenó con tres capas compactando con 25 golpes por capa con un pisón. Posteriormente del primer intento, el cono del agregado se desmoronó, es porque la muestra ya no tiene humedad libre, luego entonces después alcanzando este estado (SSS).

introduzca de inmediato en un frasco una muestra de 500 gr. enseguida se hizo rodar el frasco sobre una superficie plana, hasta eliminar todas las burbujas de aire, después, de lo

cual se colocará en un baño maría a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Después de 1 minuto, se llenó con agua hasta la marca de 500cm^3 y determine el peso total agua introducida en el frasco de ensayo. Con cuidado saque el agregado fino de la fiola y seguido se puso a secar en el horno a 100°C hasta peso constante y se obtuvo su peso seco.

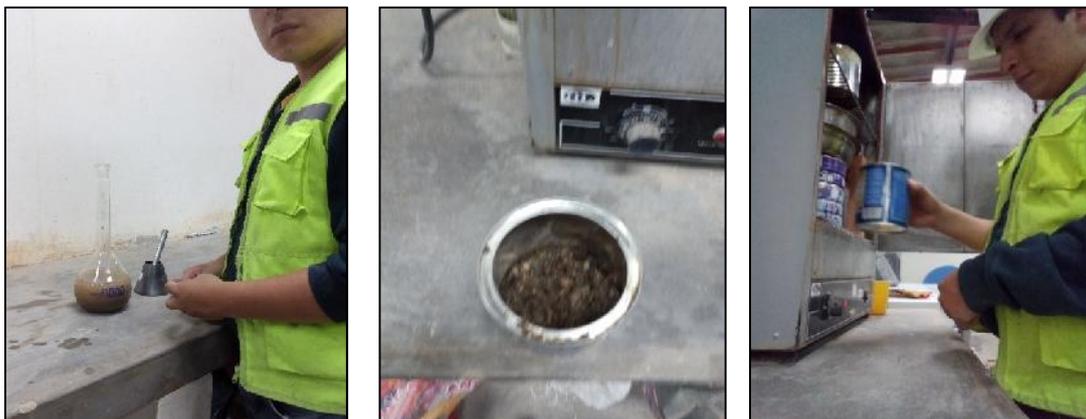
Figura N° 55, 56 y 57: Preparación de muestra y compactación de material



Figura N° 58, 59 y 60: Pesado de la fiola, con y sin muestra



Figura N° 61, 62 y 63: Proceso final de ensayo y colocación en horno



5.1.3.4. Determinación cantidad de material que pasa por la MALLA N° 200.

Se preparó una muestra de 500 gr de agregado fino luego se sometió la muestra a un proceso de agitación y lavarlo hasta que el color del agua no se modifique y utilizando el tamiz N° 200, Luego se sacó el contenido de dicho tamiz y se lo seca en el horno y se calculó la cantidad de material que pasa por el tamiz.

Figura N° 64 y 65: Preparación de muestra para lavado de material



Figura N° 66 y 67: Colocación en horno después de lavado

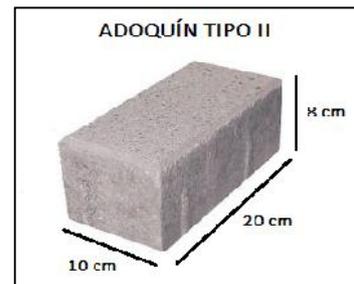


5.1.4. Elaboración de adoquines

5.1.4.1. Elaboración de adoquines patrones

Para elaboración de los adoquines primero se realizó el diseño de mezclas, donde nos especifica las proporciones a utilizar para llegar a la resistencia requerida, luego se procedió a hacer la mezcla, y se colocó en lo moldes y se chuseó, luego se dejó por 24 horas en el laboratorio de concreto, para luego proceder a desencofrarlo y tomar las medidas respectivas y curarlo dentro del depósito de agua con cal.

Material	Mezcla de Concreto adoquines patrón f'c = 420 días
Cemento	2.53 Kg
Agua de efectiva	1.01 Litros
Agregado grueso	4.91 Kg
Agregado fino	2.91 Kg



Primeramente se realizó 3 adoquines patrones los cuales, fueron sometidos a ensayos de compresión a los 7 días, y al día siguiente se elaboró 9 adoquines convencionales para ser sometido a los 28 días.

Figura N°68 y 69: Proporciones a utilizar para adoquines



Figura N° 69 y 70: Elaboración de adoquines Patrón f'c = 7 días



Figura N° 71 y 72: Proporcione a utilizar para la elaboración de Adoquines Patrón f'c = 28 días



Figura N° 73 y 74: Realización de adoquines patrón f'c = 28 días



Figura N° 75 y 76: Ensayo de Compresión a los 3 Adoquín patrón F'c = 7 días



5.1.4.2. Elaboración de adoquines con polipropileno

Para la elaboración de los adoquines primero se realizó el diseño de mezclas, donde el volumen ocupante por el 10% y el 15% del agregado grueso, fue reemplazado por polipropileno, para alcanzar o mejorar la resistencia requerida, luego se procedió a hacer la mezcla, y se colocó en lo moldes y se chuseó, luego se dejó por 24 horas en el laboratorio de concreto, luego se procedió a desencofrarlo y realizar las medidas de sus dimensiones y por último se lo curó dentro del depósito de agua con cal.

Se realizó 18 adoquines, con diferente porcentaje de polipropileno, 9 adoquines al 10% y los otros nueve al 15% para ser sometidos en diferentes ensayos.

Figura N° 77 y 78: Proporcione a utilizar para la elaboración de Adoquines Patrón



Figura N° 79 y 80: Proporcione a utilizar para la elaboración de adoquines Patrón



5.1.4.3. Elaboración de adoquines con caucho

Para la elaboración de los adoquines primero se realizó el diseño de mezclas, donde el volumen ocupante por el 10% y el 15% del agregado grueso, fue reemplazado por caucho, con el fin de alcanzar o mejorar la resistencia requerida, luego se procedió a hacer la mezcla, y se colocó en lo moldes y se chuseó, luego se dejó por 24 horas en el laboratorio de concreto, luego se procedió a desencofrarlo y realizar las medidas de sus dimensiones y por último se lo curó dentro del depósito de agua con cal. Se realizó 18 adoquines, con diferente porcentaje de caucho, 9 adoquines al 10% y los otro nueve al 15% para ser sometidos en diferentes ensayos.

Figura N° 81 y 82: Proporciones a utilizar para adoquines con caucho



Figura N° 83 y 84: Mezcla y colocación en moldes para adoquines



5.1.5. Ensayos para determinar las propiedades físicas mecánicas de los adoquines

Ya hechos los adoquines, se procedió a realizar los diferentes ensayos de compresión, Tracción y Absorción para poder determinar las propiedades físicas y mecánicas, primero se tomó las medidas de todos los adoquines y los pesos, para poder encontrar el área y gracias a esta determinar el esfuerzo producido por las cargas aplicadas.

Figura N° 85 y 86: Ensayo a compresión de adoquines Patrón $f'c = 07$ días



Figura N° 87, 88 y 89: Resultados de ensayo a compresión de adoquines Patrón $f'c = 07$ días

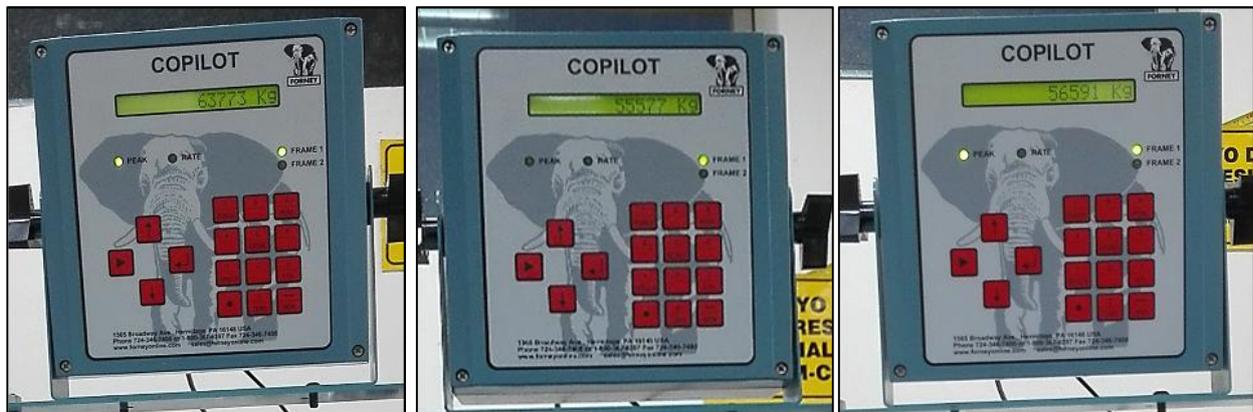


Figura N° 90 y 91: Ensayo de Compresión a los 3 Adoquín patrón $F'c = 7$ días



Figura N° 92 y 93: Preparación y medición de adoquines



Figura N° 94, 95 y 96: Ensayo a Compresión realizados



Figura N° 97 y 98: Ensayo a flexión realizada



Figura N° 99 y 100: Ensayo a flexión realizada



Figura N° 101, 102 y 103: Ensayo de absorción de los adoquines



Figura N° 104, 105 y 106: Ensayo de absorción de los adoquines



CAPÍTULO 6. RESULTADOS

6.1. Resultados del estudio del agregado grueso de la cantera.

1. Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad -ensayo granulométrico.

Tabla N° 14: Análisis granulométrico

MALLA ESTANDAR	ABERTURA	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	HUSOS GRANULOMÉTRICOS	
						Límite Superior	Límite Superior
2"	50	0	0,00	0,00	100,00	-	-
1 1/2"	37,5	0	0,00	0,00	100,00	-	-
1"	25	0	0,00	0,00	100,00	-	-
3/4"	19	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1/2"	12,5	123,32	4,11	4,11	95,89	100	90
3/8"	9.5	1 603,42	53,45	57,56	42,44	70	40
N° 04	4.75	1 233,54	41,12	98,68	1,32	15	0
CAZOLETA		39,72	1,32	100,00			
TOTAL		3 000	100,00				

Tamaño máximo	1/2"
Módulo de Fineza	6,56

Figura N° 107: Curva Granulométrica de agregado grueso

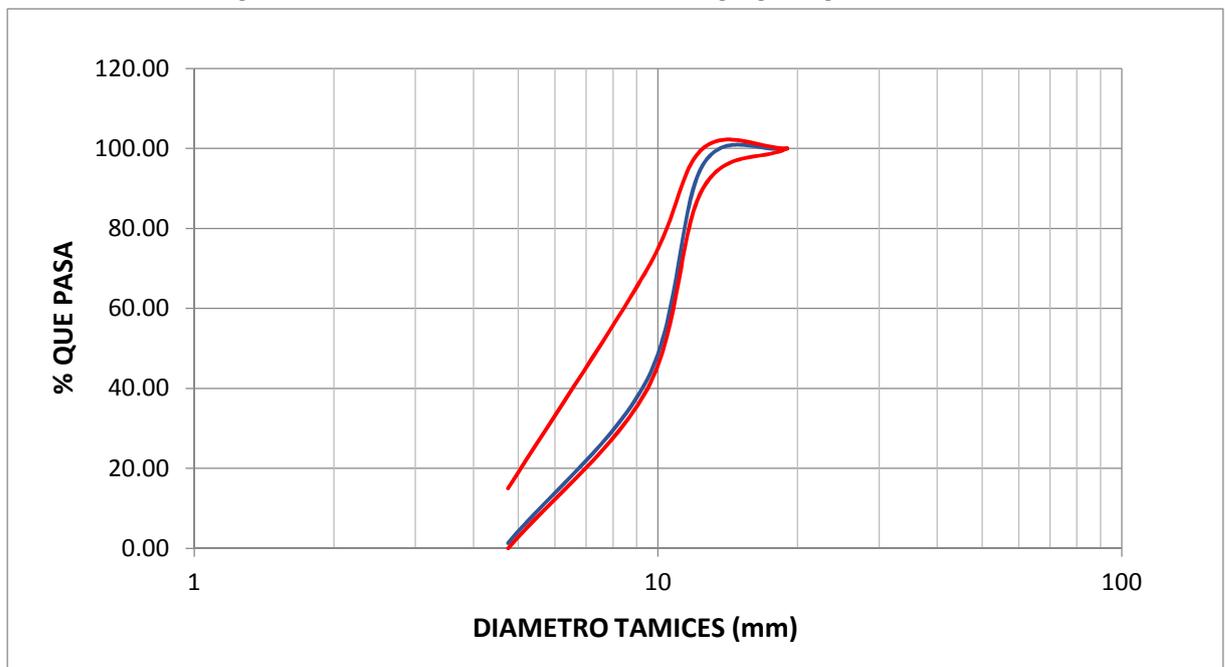


Tabla N° 15: **Contenido de humedad**

Descripción	Valor
Contenido de humedad (%)	1,59

Tabla N° 16: **Determinación del peso específico aparente y real del agregado grueso. Peso específico de masa.**

Descripción	Valor
Peso Específico de Masa (Pem)	2,386
Peso Específico de Masa SSS (Pemsss)	2,473
Peso Específico Aparete (Peap)	2,614
Porcentaje de Absorción (%Abs)	3,664

Tabla N° 17: **Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado grueso y vacío en los agregados**

METODO 01 PESO UNITARIO SUELTO			
PUSS (kg/m ³)	1 454,831	1 462,983	1 459,265
PUSS PROMEDIO (kg/m ³)	1 459,026		
METODO 02 PESO UNITARIO SUELTO			
PU (kg/m ³)	1 483,596	1 491,909	1 488,117
PU PROMEDIO (kg/m ³)	1 487,874		
METODO 01 PESO UNITARIO COMPACTADO			
PUSS (kg/m ³)	1 541,924	1 532,056	1 536,776
PUSS PROMEDIO (kg/m ³)	1 536,919		
METODO 02 PESO UNITARIO COMPACTADO			
PU (kg/m ³)	1 572,411	1 562,348	1 567,161
PU PROMEDIO (kg/m ³)	1 567,306		
Peso Unitario Promedio Compactado (kg/m³)	1 552,112		

Tabla N° 18: **Determinación de la Resistencia de Abrasión de los Ángeles**

Descripción	Valor
Desgaste (%)	26,04

6.2. Resultados del estudio del agregado fino de la cantera.

1. Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad -ensayo granulométrico.

Tabla N° 19: Análisis granulométrico

MALLA ESTANDAR	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	HUSOS GRANULOMÉTRICOS	
						Límite Superior	Límite Inferior
4	4,75	122,76	4,91	4,91	95,09	95	100
8	2,36	308,80	12,35	17,26	82,74	80	100
16	1,18	498,82	19,95	37,22	62,78	50	85
30	0,60	584,02	23,36	60,58	39,42	25	60
50	0,30	610,73	24,43	85,01	14,99	10	30
100	0,15	220,87	8,83	93,84	6,16	2	10
200	0,075	104,06	4,16	98,00	2,00	0	3
CAZOLETA		49,94	2,00	100,00	0,00		
TOTAL		2 500	100,00				

MODULO DE FINEZA

MF (%) **2,99**

Figura N° 107: Curva granulométrica de agregado fino.

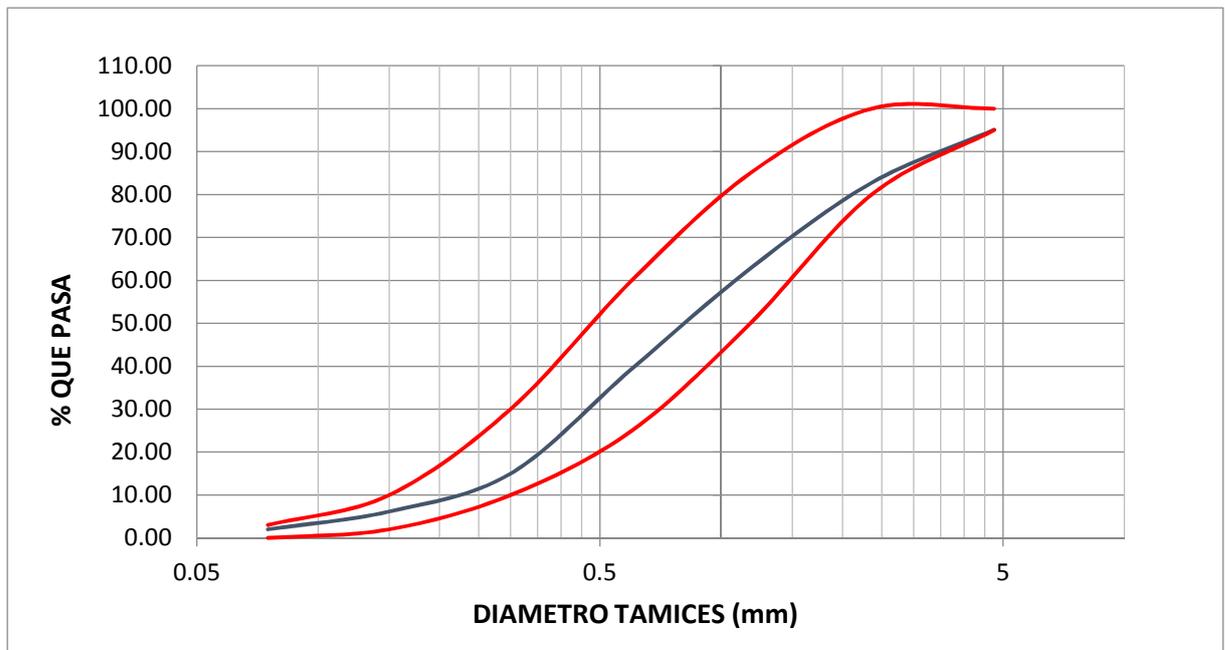


Tabla N° 20: **Contenido de humedad**

Descripción	Valor
Contenido de humedad (%)	4,99

Tabla N° 21: **Determinación del peso específico aparente y real del agregado grueso. Peso específico de masa.**

Descripción	Valor
Peso Específico de Masa (Pem)	2,370
Peso Específico de Masa SSS (Pemsss)	2,515
Peso Específico Aparete (Peap)	2,774
Porcentaje de Absorción (%Abs)	6,153

Tabla N° 22: **Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado grueso y vacío en los agregados**

METODO 01 PESO UNITARIO SUELTO			
PUSS (kg/m ³)	1 553,806	1 551,249	1 554,232
PUSS PROMEDIO (kg/m ³)	1 553,095		
METODO 02 PESO UNITARIO SUELTO			
PU (kg/m ³)	1 570,536	1 567,952	1 570,967
PU PROMEDIO (kg/m ³)	1 569,818		
METODO 01 PESO UNITARIO COMPACTADO			
PUSS (kg/m ³)	1 707,865	1 711,701	1 732,796
PUSS PROMEDIO (kg/m ³)	1 717,454		
METODO 02 PESO UNITARIO COMPACTADO			
PU (kg/m ³)	1 726,255	1 730,131	1 751,454
PU PROMEDIO (kg/m ³)	1 735,947		

Tabla N° 23: **Cantidad de Material que Pasa por la Malla N°200**

Descripción	Valor
Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N°200 por lavado	4,806

6.3. Resultado del diseño de mezcla a utilizar.

Tabla N° 24: Diseño de mezcla para adoquines patrón

Material	Peso utilizado para adoquines patrón f'c = 420 días
Cemento	0,77 Kg
Agua de efectiva	0,31 Litros
Agregado grueso	1,34 Kg
Agregado fino	1,03 Kg
Aditivo o reemplazo	0,00 Kg

Tabla N° 25: Diseño de mezcla para 3 adoquines patrón

Material	Peso utilizado para 3 adoquines patrón
Cemento	2,53 Kg
Agua de efectiva	1,01 Litros
Agregado grueso	4,41 Kg
Agregado fino	3,41 Kg

Tabla N° 26: Diseño de mezcla para 9 adoquines patrón f'c :28 días

Material	Peso utilizado para adoquines patrón f'c = 28 días
Cemento	7,60 Kg
Agua de efectiva	3,04 Litros
Agregado grueso	13,24 Kg
Agregado fino	10,24 Kg
Aditivo o reemplazo	0,00 Kg

Tabla N° 27: Diseño de mezcla para 9 adoquines con polipropileno al 10% f'c : 28 días

Material	Peso utilizado para adoquines patrón f'c = 28 días
Cemento	7,74 Kg
Agua de efectiva	3,09 Litros
Agregado grueso	12,13 Kg
Agregado fino	10,42 Kg
Polipropileno	0,51 Kg

Tabla N° 28: Diseño de mezcla para 9 adoquines con polipropileno al 15% f'c : 28 días

Material	Peso utilizado para adoquines patrón f'c = 28 días
Cemento	7,74 Kg
Agua de efectiva	3,09 Litros
Agregado grueso	11,46 Kg
Agregado fino	10,42 Kg
Polipropileno	0,76 Kg

Tabla N° 29: Diseño de mezcla para 9 adoquines con caucho al 10% f'c : 28 días

Material	Peso utilizado para adoquines patrón f'c = 28 días
Cemento	7,74 Kg
Agua de efectiva	3,09 Litros
Agregado grueso	12,13 Kg
Agregado fino	10,42 Kg
Polipropileno	0,63 Kg

Tabla N° 30: Diseño de mezcla para 9 adoquines con caucho al 15% f'c : 28 días

Material	Peso utilizado para adoquines patrón f'c = 28 días
Cemento	7,74 Kg
Agua de efectiva	3,09 Litros
Agregado grueso	11,46 Kg
Agregado fino	10,42 Kg
Polipropileno	0,94 Kg

6.4. Resultados de ensayos de adoquines.

6.4.1. Propiedades Físicas de los Adoquines

a. Medición y características de los adoquines

Tabla N° 31: Características de los adoquines

Ensayos Sometidos	MUESTRA	Adoquines patrones f'c = 7 días				
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO (g)	AREA (cm ²)
Compresión	Adoquín patrón f'c:7 días	20,050	10,083	8,003	3 638,833	202,176
Adoquines patrones f'c = 28 días						
Compresión	Adoquín patrón f'c:28 días	19,783	10,173	7,957	3 633,267	201,261
Flexión	Adoquín patrón f'c:28 días	19,700	10,120	7,893	3 717,833	199,364
Absorción	Adoquín patrón f'c:28 días	20,007	10,087	7,960	3 680,445	201,802
Adoquines con polipropileno al 10% f'c = 28 días						
Compresión	Ado. PP al 10% f'c:28 días	19,997	10,250	8,040	3 594,167	204,969
Flexión	Ado. PP al 10% f'c:28 días	20,050	10,297	7,957	3 643,400	206,451
Absorción	Ado. PP al 10% f'c:28 días	19,980	10,130	7,950	3 650,667	202,398
Adoquines con polipropileno al 15% f'c = 28 días						
Compresión	Ado. PP al 15% f'c:28 días	20,033	10,287	8,050	3 735,767	206,075
Flexión	Ado. PP al 15% f'c:28 días	19,980	10,253	7,970	3 721,500	204,867
Absorción	Ado. PP al 15% f'c:28 días	20,050	10,343	8,050	3 817,933	207,383
Adoquines con caucho al 10% f'c = 28 días						
Compresión	Ado. Caucho al 10% f'c:28 días	20,007	10,057	8,005	3 696,800	201,201
Flexión	Ado. Caucho al 10% f'c:28 días	19,997	10,060	8,043	3 786,733	201,168
Absorción	Ado. Caucho al 10% f'c:28 días	20,049	10,178	7,993	3 771,567	204,068
Adoquines con caucho al 15% f'c = 28 días						
Compresión	Ado. Caucho al 15% f'c:28 días	19,985	10,050	8,033	3 696,622	200,851
Flexión	Ado. Caucho al 15% f'c:28 días	20,022	10,107	8,057	3 827,386	202,363
Absorción	Ado. Caucho al 15% f'c:28 días	20,053	10,096	8,093	3 761,557	202,445

6.4.2. Propiedades mecánicas de los adoquines

Tabla N° 32: Ensayo de Compresión – Adoquines

Muestra	Promedio de esfuerzo (Kg/cm ²) (ensayo a compresión)	Desviación Estándar Compresión
Adoquín Patrón	376,80	4,83
Adoquín con polipropileno al 10%	398,81	6,21
Adoquín con polipropileno al 15%	362,81	10,83
Adoquín con caucho al 10%	364,99	9,41
Adoquín con caucho al 15%	333,57	4,37

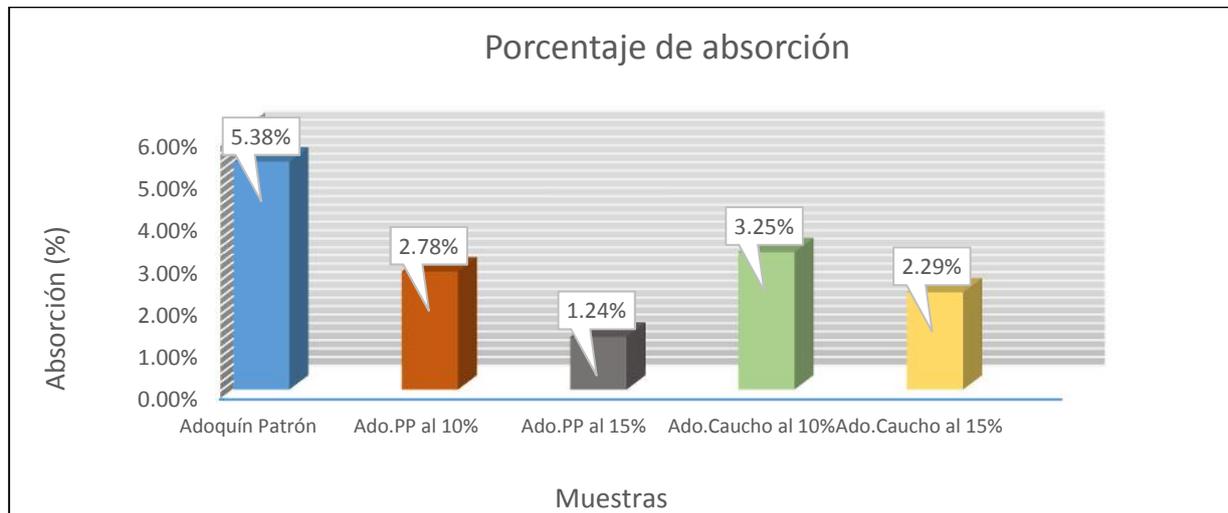
Tabla N° 33: Ensayo de tensión – Adoquines

Muestra	Promedio de módulo de rotura - Mpa (ensayo a tensión)	Desviación Estándar Flexión
Adoquín Patrón	10,18	0,781536798
Adoquín con polipropileno al 10%	12,62	0,481698961
Adoquín con polipropileno al 15%	7,47	1,453987421
Adoquín con caucho al 10%	10,29	0,148470721
Adoquín con caucho al 15%	9,03	0,87274839

Tabla N° 34: Ensayo de Absorción – Adoquines

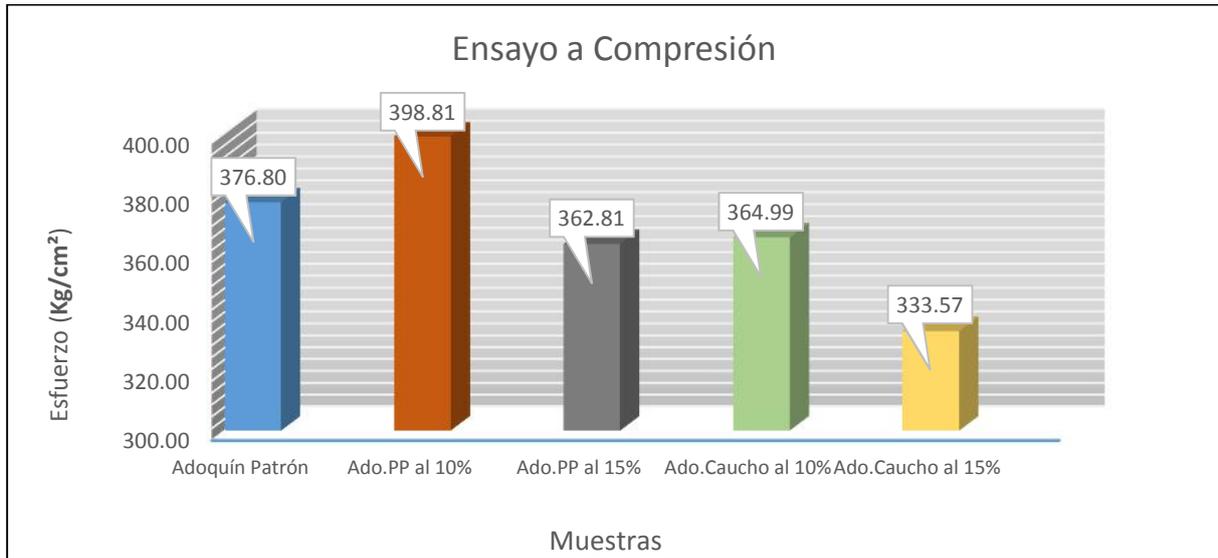
Muestra	ABSORCIÓN (%)
Adoquín Patrón	5,38
Adoquín con polipropileno al 10%	2,78
Adoquín con polipropileno al 15%	1,24
Adoquín con caucho al 10%	3,25
Adoquín con caucho al 15%	2,29

Figura N° 108: Comparación de la absorción de los adoquines



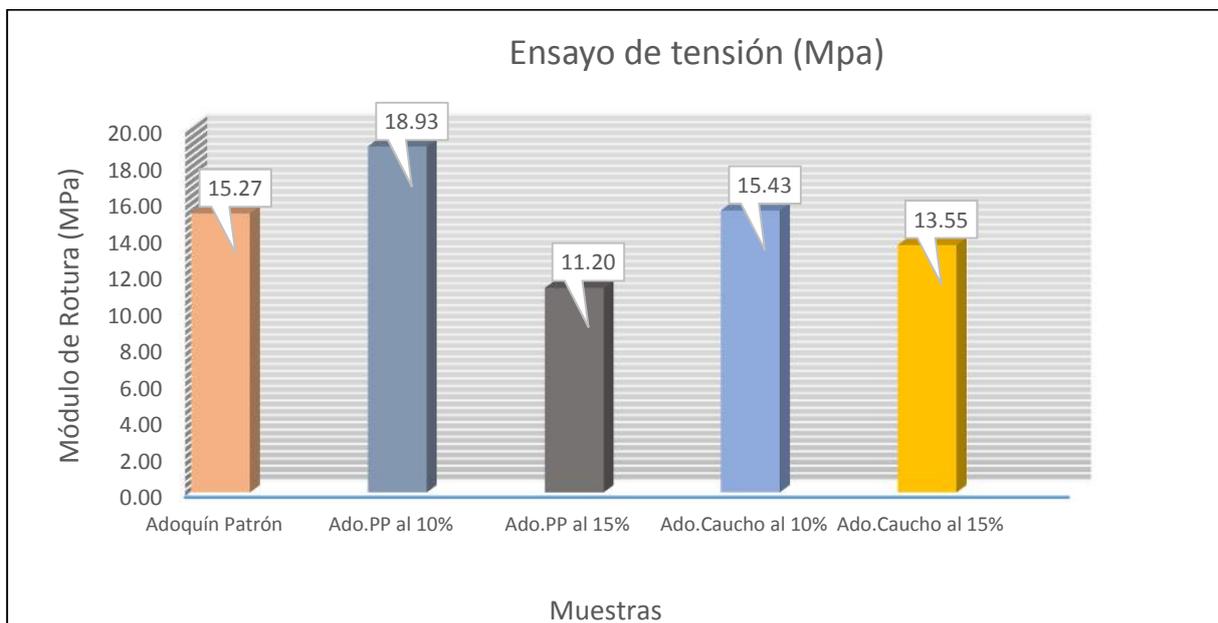
Se observa notablemente que los adoquines patrones o convencionales, absorben más líquido respecto a los demás debido a que no contiene ninguna fibra de polipropileno o caucho, en cambio el menos absorbente se ha notado que es el adoquín con polipropileno al 15%, dándonos a entender que la fibra, limita a la absorción ya que es un plástico, por otro lado tenemos al caucho, donde podemos ver que tiene una absorción promedio, estos adoquines cumplen con lo establecido en la norma de diseño de adoquines.

Figura N° 109: Comparación de la compresión de los adoquines



En la figura se muestra que el adoquín con polipropileno al 10% cumple con las expectativas, en cambio el adoquín con caucho al 15%, no logró la resistencia necesaria.

Figura N° 110: Comparación de la tensión de los adoquines



En la figura se nota que la tensión en los adoquines con polipropileno es mucho más alta que la del convencional, además la tensión en los adoquines con caucho cumple con las expectativas.

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Según Carrasco (2006) establece que la mejor adición de trozos de caucho se da al 5%, 10% y hasta el 20% del volumen del concreto, sin embargo en la presente investigación se ha podido determinar en los diferentes ensayos que el adoquín con caucho al 10% cumple con los requerimientos mínimos establecidos en la norma técnica peruana, en cambio los adoquines al 15% del caucho no cumple con esta.

Según Salguero (2013) menciona que la fibra de polipropileno en el concreto es de vital importancia si se pretende obtener concretos de mejor calidad, el análisis de los adoquines utilizando fibra de polipropileno nos permitió establecer parámetros óptimos para los adoquines, el cual se obtuvo valores positivos. además gana durabilidad y resistencia con el paso del tiempo, en la presente investigación también se determinó que la fibra de polipropileno si mejora la calidad de la mezcla reflejándose en los resultados obtenidos, el adoquín con mejores características fue el del 10%, cumpliendo con la norma técnica peruana, además el adoquín con reemplazo del 15% también cumple con los requisitos mínimos establecidos por esta norma.

Tabla N° 35: Resultado de Ensayos Realizados

Ensayo	COMPRESION (Kg/cm ²)	TENSIÓN (Mpa)	ABSORCIÓN (%)
Adoquín Patrón	376,80	10,18	5,38
Adoquín con polipropileno al 10%	398,81	12,62	2,78
Adoquín con polipropileno al 15%	362,81	7,47	1,24
Adoquín con caucho al 10%	364,99	10,29	3,25
Adoquín con caucho al 15%	333,57	9,03	2,29

Tabla N° 36: Requisitos mínimos de los adoquines

ENSAYO	REQUISITO	NORMA DE REFERENCIA	NORMA DE ENSAYO
ABSORCIÓN % (Promedio 3 unidades) Unidad Individual	6 % del peso seco	NTP 399.611	NTP 399.604
	7 % del peso seco		
Resistencia a la Compresión, Min., Mpa Respecto al área bruta promedio	37 MPa (380 Kg/cm ²)	NTP 399.611	NTP 399.604
	33 Mpa (340 Kg/cm ²)		
Resistencia mínima a flexión del adoquín MPa (Kg/cm ²)	4.1 Mpa (42 Kg/cm ²)	NTP 399.611	NTP 399.604

Luego de analizar los resultados obtenidos en la presente investigación (excluyendo a los adoquines con reemplazo al 15%), se puede decir que la aplicación del producto a nivel profesional es viable, ya que podría ser utilizado como reemplazo de agregado grueso en las diferentes mezclas y ayudaría a solucionar problemas de contaminación ambiental.

CONCLUSIONES

Las propiedades físico – mecánicas de los adoquines con polipropileno al 10% son mejores que los adoquines convencionales y adoquines con caucho al 10% y 15%, mientras que los adoquines con polipropileno al 15% y los adoquines con caucho al 10%, las propiedades son un tanto similares a los adoquines convencional, así mismo se determinó que los adoquines de caucho al 10% no cumple con las propiedades establecidas en la norma.

Se ha demostrado en la presente investigación que los adoquines con polipropileno al 10% y 15%, y los adoquines de caucho al 10%, podrían ser utilizados como una buena alternativa para la utilización en pavimentos articulados para tránsito liviano en la ciudad de Cajamarca.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la utilización de los adoquines con 10 y 15 % de polipropileno y adoquines con 10% de caucho para su utilización en pavimentos articulados, y debido a la reducción de resistencia que tiene el adoquín con caucho al 15%, este se puede dar utilización como un adoquín TIPO I – Peatonal, para que esté dentro de los parámetros correspondientes.

CAPÍTULO 8. REFERENCIAS

- Abanto, J. (7 de Marzo de 2014). LA LISTA DE MATERIAL RECICLADO EN CAJAMARCA. Panorama Cajamarquino, Cajamarca pp. 4A, 5A.
- ACI 211 (1998). Standard Practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. American Concrete Institute ACI 211. United State. Recuperado de <https://www.concrete.org/>.
- ANAYA, G. D. (2008). Validación del Proceso Constructivo del Caucho en Base a Ensayos de Dureza. (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú: PUCP, Perú.
- Armas C. J., & Calle, N. M. (2013). Estudio de Factibilidad para la fabricación de productos en caucho reciclado de llantas usadas (adoquines de caucho, vinil de caucho, etc.) en la ciudad de Quito. Revista de la Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- ASTM C131, C. -1. (2006). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. (PA, Ed.) ASTM International: West Conshohocken. United State. Recuperado de www.astm.org.
- ASTM C136, C. -1 (2006). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. (PA, Ed.) ASTM International: West Conshohocken. United States. Recuperado de www.astm.org.
- ASTM C70, C. -1. (2006). Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate. (PA, Ed.) ASTM International: West Conshohocken. United State. Recuperado de www.astm.org.
- ASTM C29, C. -1. (2006). Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate. (PA, Ed.) ASTM International: West Conshohocken. United State. Recuperado de www.astm.org.
- ASTM C127, C. -1. (2006). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. (PA, Ed.) ASTM International: West Conshohocken. United State. Recuperado de www.astm.org.
- ASTM C117, C. -1. (2006). Standard Test Method for Materials Finer than 75- μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. (PA, Ed.) ASTM International: West Conshohocken. United State. Recuperado de www.astm.org.
- Bunny, L. (19 de Septiembre de 2009). Ventajas y Aplicaciones de los Pavimentos de Adoquines de concreto. Negocios, Noticias y política, Colombia 1A-5A.

- CanalConstrucción. (19 de Abril de 2015). Canal Construcción (Construcción y Decoración). Adoquines de Concreto, Recuperado el 15 de Abril de 2016: <http://canalconstruccion.com/adoquines-de-hormigon.html>
- Cárdenas, R. A. (2011). Agregado Alternativo para fabricación de Bloques y Adoquines en base a Polímeros. (Tesis para optar el título de ingeniero civil) Escuela Politécnica Nacional de Quito. Ecuador.
- Carrasco, I. D. (2006). Hormigón con caucho: determinación del módulo de elasticidad. Tesis para Optar del Título de Ingeniero Civil, Universidad Austral de Chile, Escuela de Construcción Civil, Valdivia, Chile.
- Chacón Guerra, E., & Lema Carrera, G. (2012). Estudio Comparativo de elementos fabricados de hormigón con Material reciclado y hormigón convencional. Tesis para Optar del Título de Ingeniero Civil. Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Chango, A. R., Zambrano, L. E., & Loayza, X. E. (2006). Diseño de Pavimentos Articulado Para el Proyecto Sector 3 en la Ciudad de Guayaquil, Con la Aplicación del Programa PAVEMENTSOFT. En revista Politécnica del Litoral (ESPOL), 5(2) pp. 50-62.
- Collins, J. e. (1991). Improved performance of paving asphalts by polymer modification. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT), 60, pp. 43-79.
- Cementos Pacasmayo. (2010). Especificaciones Técnicas Adoquín Tipo 8 – Tipo II. Lima, Perú.
- Cuenca, V. F. (2011). Estudio del Diseño Estructural y Constructivo de pavimentos articulados en base a bloques de Asfalto. (Tesis de Maestría). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile, Chile.
- Figuroa, A. S. (Octubre de 2009). Caracterización fisicoquímica y morfológica de Adoquines. Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de La Salle, 5(13), pp. 45-70.
- Guillen, V. (Noviembre de 16 de 2015). Fabricación de Caucho Sintético en forma Primaria. Caucho y Látex Sintético. V. G. S. L industrie, Bogotá, Colombia. pp.16A, 22A.
- Herford, E. (2009). Resistencia a la Compresión del Concreto en artículo "Notas de Concreto"..American Concrete Institute. Recuperado 29 de Abril de 2016: <http://notasdeconcretos.blogspot.pe/2011/04/resistencia-la-compresion-del-concreto.html>
- ICCG, I. (2014). Guía de instalación de Adoquines de Concreto. Instituto del Cemento y del Concreto. Managua, Guatemala

- ICCG, I. d. (1998). Guía de Instalación de Adoquines de Concreto. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala, 1-40.
- ICPI, I. C. (2003). Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for. TECH SPEC, 1 (4), pp. 1-8.
- ISAN, A. (2015). Los neumáticos, grandes contaminantes. Ecología Verde, Quito, Colombia pp. 21A-49A.
- Issa, C., & Salem, G. (2013). Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concreto mix design. In the revist Construction and building materials, 1(2) pp. 48-52.
- López, J. A. (18 de DICIEMBRE de 2014). Hay unas 269.000 toneladas de plástico flotando en los océanos. El Comercio - Ciencias, Lima, pp. 15A,17A.
- Monsalve, L. M., Giraldo, L. C., & Maya, J. G. (2012). Diseño de pavimento fflexible y rigido. En revista de Universidad del Quindio. Armenia 1(1) pp.123-129
- Montana, N. (2009). El Pavimento Articulado es la opción más barata de consolidar la red vial. Diario el Argentino, Buenos Aires, pp.15A - 33A.
- Morales, R. O. (Junio de 2015). Diseño y elaboración de un sistema de adoquines de bajo costo y material reciclado para construcciones en núcleos rurales. ESAICA, I(1), 30-38.
- Naranjo, M. C. (2015). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre el adoquín convencional y el adoquín de caucho. . (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Ospina, H. A. (2014). Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho. Tecnología de Concreto. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito. Bogotá. Colombia.
- Pacasmayo, C. (2014). ADOQUINES Y BORDILLOS DE CONCRETO. ADOQUINES DE CONCRETO recuperado el 14 de Abril del 2016: <http://www.alaobragente.com/construyendo-paso-a-paso/adoquines-y-bordillos-de-concreto-1471i59.html>
- PCR (2004). Pavimentos Intertrabados de Adoquines de Hormigón. Departamento de Promoción y Servicios Técnicos. Quito. Ecuador pp. 22A-35A.
- Pelisser, F., Zavarise , N., Longo, T., & Bernardín, A. (2011). Concrete made with recycled the rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition. Journal Of Cleaner Production, pp. 75-76.

- Perna, M. A. (2015). Las etapas de un producto y su Reciclaje. Ecología y Medio Ambiente. Revista el Conocimiento Verde. Madrid. España. pp. 14-18
- Quevedo Rivera, S., & Guamán Altamirano, C. (2013). Proyecto de factibilidad para la producción de eco-adoquines peatonales mediante la Reutilización de Desechos Plásticos (PET). (Tesis para optar el título de ingeniero Civil). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Perú.
- Quiñonez, S. Q. (2006). PAVIMENTOS ADOQUINADOS. Asociación Latinoamericana y Caribeña de Pavimentos Aeroportuarios. Cemento Andino S.A. y Ferrovías S.A. Lima. Perú. Recuperado el 29 de Abril de 2016: www.alacpa.org/.
- Ramirez, G. (2011). Planta de Producción de Caucho de Caucho. De revista Vanguardia Liberal, pp. 43. Recuperado el 29 de Abril de 2016: iberpyme.sela.org/Documentos.pdf
- Ramírez, L. M. (2011). Pavimentos con Polímeros Reciclados. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Escuela de Ingeniería Civil. Medellín. Colombia recuperado el 26 de Abril del 2016 de: <http://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/264/1/CIVI0401.pdf>
- REYES, F., MADRID, M., & SALAS, S. (2007). Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un elastómero (tiras de bolsa de leche) con asfalto 80-100. En Revista de Infraestructura Vial, 1(17), pp. 25-34.
- Rivva, L., (1992). Diseño de Mezclas. Lima: Hozlo S.C.R.L.
- RNE. (2010). NORMA CE.010 Pavimentos Urbanos (Primera ed.). Lima-Perú, Perú: Sencico. Recuperado el 03/04/2015, de: [tpp://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/264/1/CIVI0401](http://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/264/1/CIVI0401).
- RUGE, F. T. (2006). Factibilidad económica, ambiental y social del proceso de fabricación de adoquines cpm de flexiform como alternativa para la formación de recuperadores de bogotá d.c. Universidad de la Salle. Recuperado el 12 de Abril de 2016 de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14773/00798198.pdf?sequence=1>
- S.A., (2008). C.I.P.A Mundo Limpio S.A.P. Bogota. Colombia, recuperado el 23 de Abril de 2016 de <http://www.mundolimpio.com.co>
- Salguero, V. V. (2013). Adoquines Modificados con fibra de polipropileno para el uso en vias de la ciudad de Quito. (Tesis para optar el título de Ingeniería Civil) Universidad central del ecuador. Quito, Ecuador.

- Schultz, B., Hernández, F., Alonso, M., Bollati, M., Parga, B., Barluenga, G., & Benito, C. (2004). Hormigón con fibras de caucho de recuperación de neumáticos usados y de polipropileno diseño del firme de hormigón de caucho. (Tesis de Post - Grado). Universidad de Normalización e Innovación. Caracas, Venezuela.
- Solarte, N. C. (2010). DISEÑO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS LOCALIZADO ENTRE LOS EDIFICIOS 1 Y K. (Tesis para Optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Pontificia Bolivariana, Grupo PAVART, La Paz, Bolivia.
- Tepic, I. (15 de mayo de 2012). Diseño de mezclas de concreto hidráulico. En revista del Instituto Tecnológico de Tepic, pp. 25-38.
- Velarde, E., & Pérez, O. (1998). Reciclaje de Desechos Plásticos en el Perú. Departamento de Ciencias Pontificia Universidad Católica del Perú, Sección Química, 12(2), pp. 15-20.
- Wulf, R. F. (2008). Análisis de pavimento asfáltico modificado con Polímero. (Tesis para optar el título de ingeniero Civil). Universidad Austral de Chile, Escuela de Construcción Civil. Valdivia, Chile.
- Zavala, A. J. (2015). Diseño y Desarrollo Experimental de Materiales de construcción utilizando plástico Reciclado. (Tesis Doctoral). Escuela especializada en ingeniería itca – FEPADE, Santa Tecla, El Salvador.

CAPÍTULO 9. ANEXOS

9.1. Estudio y ensayos del agregado grueso

ANEXO N° 01: Determinación del módulo de finura Y ensayo granulométrico.

MALLA ESTANDAR	ABERTURA	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	HUSOS GRANULOMÉTRICOS	
						Límite Superior	Límite Superior
2"	50	0	0,00	0,00	100,00	-	-
1 1/2"	37.5	0	0,00	0,00	100,00	-	-
1"	25	0	0,00	0,00	100,00	-	-
3/4"	19	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1/2"	12,5	123,32	4,11	4,11	95,89	100	90
3/8"	9,5	1 603,42	53,45	57,56	42,44	70	40
N° 04	4,75	1 233,54	41,12	98,68	1,32	15	0
CAZOLETA		39,72	1,32	100,00			
TOTAL		3 000	100,00				

Tamaño máximo	1/2"
Módulo de Fineza	6,56

ANEXO N° 02: Contenido de humedad

Contenido de humedad (%)	Valor		
Peso del recipiente (gr)	334,68	331,32	332,23
Peso de (recipiente + M. húmeda) (g)	5 318,62	5 432,67	5 218,13
Peso de (recipiente + M. seca) (g)	5 240,76	5 354,40	5 139,76
Peso del agua evaporada (g)	77,86	78,27	78,37
Peso de la muestra seca (g)	4 906,08	5 023,08	4 807,53
Contenido de humedad (%)	1,59	1,56	1,63

ANEXO N° 03: Determinación del peso específico. Peso específico de Masa

PESO ESPECÍFICO APARENTE Y REAL DEL AGREGADO GRUESO	Valor
A: Peso al aire de la muestra seca al horno (g)	3 395,90
B: Peso al aire de la muestra(g)	3 520,33
C: Peso en el agua de la muestra (g)	2 096,84
PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN	Valor
Peso Específico de Masa (Pem)	A/(B-C) 2,386
Peso Específico de Masa SSS (Pemsss)	B/(B-C) 2,473
Peso Específico Aparete (Peap)	A/(A-C) 2,614
Porcentaje de Absorción (%Abs)	(B-A)*100/A 3,664

ANEXO N° 04: Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado grueso

Datos	Valor		
Diámetro recipiente (cm)	25,4		
Altura del recipiente (cm)	27,6		
Volumen del recipiente (m ³)	0,0140		
N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	5,816	5,816	5,816
Peso del agua + recipiente (Wa+Wr)(kg)	19,504	19,548	19,538
Peso del agua (Wa)(kg)	13,688	13,732	13,722
Factor de corrección (f)(l/m ³)	73,057	72,823	72,876
Factor de corrección promedio (f)(l/m ³)	72,92		

METODO 01 PESO UNITARIO SUELTO

N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	5,816	5,816	5,816
Peso de la muestra + recipiente (Wa+Wr)(kg)	26,162	26,276	26,224
Peso de la muestra (Wm)(kg)	20,346	20,460	20,408
PUSS (kg/m ³)	1 454,831	1 462,983	1 459,265
PUSS PROMEDIO (kg/m ³)	1 459,026		

METODO 02 PESO UNITARIO SUELTO

N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	5,816	5,816	5,816
Peso del agua + recipiente (Wa+Wr)(kg)	19,504	19,548	19,538
Peso de la muestra + recipiente (Wa+Wr)(kg)	26,162	26,276	26,224
Peso de la muestra (Wm)(kg)	20,346	20,460	20,408
Factor de corrección promedio (f)(l/m ³)	72,92		
PU (kg/m ³)	1 483,596	1 491,909	1 488,117
PU PROMEDIO (kg/m ³)	1 487,874		

METODO 01 PESO UNITARIO COMPACTADO

N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	5,816	5,816	5,816
Peso de la muestra + recipiente (Wa+Wr)(kg)	27,380	27,242	27,308
Peso de la muestra (Wm)(kg)	21,564	21,426	21,492
PUSS (kg/m ³)	1 541,924	1 532,056	1 536,776
PUSS PROMEDIO (kg/m ³)	1 536,919		

METODO 02 PESO UNITARIO COMPACTADO

N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	5,816	5,816	5,816
Peso del agua + recipiente (Wa+Wr)(kg)	19,504	19,548	19,538
Peso de la muestra + recipiente (Wa+Wr)(kg)	27,380	27,242	27,308
Peso de la muestra (Wm)(kg)	21,564	21,426	21,492
Factor de corrección promedio (f)(l/m ³)	72,92		
PU (kg/m ³)	1 572,411	1 562,348	1 567,161
PU PROMEDIO (kg/m ³)	1 567,306		

P. UNITARIO PROMEDIO COMPACTADO (kg/m ³)	1 552,112		
--	-----------	--	--

ANEXO N° 05: Determinación de la Resistencia de Abrasión de los Ángeles

Descripción	Valor
PESO INICIAL (g)	5 000
PESO FINAL (g)	3 698
DESGASTE (%)	26,04

9.2. Estudio y ensayos del agregado fino

ANEXO N° 06: Determinación del módulo de finura y coeficiente de uniformidad - ensayo granulométrico.

MALLA ESTANDAR	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	HUSOS GRANULOMÉTRICOS	
						Límite Superior	Límite Inferior
4	4,75	122,76	4,91	4,91	95,09	95	100
8	2,36	308,80	12,35	17,26	82,74	80	100
16	1,18	498,82	19,95	37,22	62,78	50	85
30	0,6	584,02	23,36	60,58	39,42	25	60
50	0,3	610,73	24,43	85,01	14,99	10	30
100	0,15	220,87	8,83	93,84	6,16	2	10
200	0,075	104,06	4,16	98,00	2,00	0	3
CAZOLETA		49,94	2,00	100,00	0,00		
TOTAL		2 500	100,00				

MODULO DE FINEZA

MF (%)	2,99
--------	-------------

ANEXO N° 07: Contenido de humedad

ENSAYO N°	Valor		
Peso del recipiente (gr)	96,84	97,00	96,72
Peso de (recipiente + M. húmeda) (gr)	1 492,85	1 411,13	1 293,00
Peso de (recipiente + M. seca) (gr)	1 426,48	1 348,37	1 236,32
Peso del agua evaporada (gr)	66,37	62,76	56,68
Peso de la muestra seca (gr)	1 329,64	1 251,37	1 139,60
Contenido de humedad (%)	4,99	5,02	4,97

ANEXO N° 08: Determinación del peso específico. Peso específico de Masa

PESO ESPECÍFICO APARENTE Y REAL DEL AGREGADO FINO		
Peso fiola (gr)		378,29
Peso fiola + agua (gr)		1 372,70
Peso muestra (gr)		500,00
Peso muestra + fiola + agua (gr)		1 679,51
Volumen del agua añadida al frasco (cm ³)		801,22
DATOS		
V : Volumen del frasco. (cm ³)		1 000
Va : volumen del agua añadida al frasco (cm ³)		801,22
W0 : Peso al aire de la muestra secada en el horno (gr)		471,02
PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN		
Peso Específico de Masa (Pem)	$W0/(V-Va)$	2,370
Peso Específico de Masa SSS (Pemsss)	$500/(V-Va)$	2,515
Peso Específico Aparete (Peap)	$W0/((V-Va)-(500-W0))$	2,774
Porcentaje de Absorción (%Abs)	$(500-W0)*100/W0$	6,153

ANEXO N° 09: Determinación del peso volumétrico suelto y compactado del agregado grueso

Diámetro recipiente (cm)	20,3
Altura del recipiente (cm)	29,0
Volumen del recipiente (m ³)	0,0094

N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	4,800	4,800	4,800
Peso del agua + recipiente (Wa+Wr)(kg)	14,086	14,086	14,086
Peso del agua (Wa)(kg)	9,286	9,286	9,286
Factor de corrección (f)(l/m ³)	107,689	107,689	107,689
Factor de corrección promedio (f)(1/m ³)		107,69	

METODO 01: PESO UNITARIO SUELTO

N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	4,800	4,800	4,800
Peso de la muestra + recipiente (Wa+Wr)(kg)	19,384	19,360	19,388
Peso de la muestra (Wm)(kg)	14,584	14,560	14,588
PUSS (kg/m ³)	1553,806	1551,249	1554,232
PUSS PROMEDIO (kg/m ³)		1553,095	

METODO 02 PESO UNITARIO SUELTO			
N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	4,800	4,800	4,800
Peso del agua + recipiente (Wa+Wr)(kg)	14,086	14,086	14,086
Peso de la muestra + recipiente (Wa+Wr)(kg)	19,384	19,360	19,388
Peso de la muestra (Wm)(kg)	14,584	14,560	14,588
Factor de corrección promedio (f)(l/m ³)		107,69	
PU (kg/m ³)	1 570,536	1 567,952	1 570,967
PU PROMEDIO (kg/m ³)		1 569,818	
METODO 01 PESO UNITARIO COMPACTADO			
N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	4,800	4,800	4,800
Peso de la muestra + recipiente (Wa+Wr)(kg)	20,830	20,866	21,064
Peso de la muestra (Wm)(kg)	16,030	16,066	16,264
PUSS (kg/m ³)	1 707,865	1 711,701	1 732,796
PUSS PROMEDIO (kg/m ³)		1 717,454	
METODO 02 PESO UNITARIO COMPACTADO			
N° REPETICION	1	2	3
Peso del recipiente (Wr)	4,8	4,8	4,8
Peso del agua + recipiente (Wa+Wr)(kg)	14,086	14,086	14,086
Peso de la muestra + recipiente (Wa+Wr)(kg)	20,830	20,866	21,064
Peso de la muestra (Wm)(kg)	16,030	16,066	16,264
Factor de corrección promedio (f)(l/m ³)		107,69	
PU (kg/m ³)	1 726,255	1 730,131	1 751,454
PU PROMEDIO (kg/m ³)		1 735,947	
P. UNITARIO PROMEDIO COMPACTADO (kg/m³)	1 726,700		

ANEXO N° 10: CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA N° 200. (ASTM C 117)

Descripción	Valor
% De material fino que pasa el tamiz N°200 por lavado	4,806
peso original de la muestra seca (g)	500
peso de la muestra seca, después del lavado (g)	475,97

9.3. Diseño de mezcla

OBJETIVOS:

- **General:**

- ✓ Realizar el diseño de una mezcla de concreto a partir de los agregados procedentes del río Mashcón previamente analizados.

- **Específico:**

- ✓ Realizar el diseño por el método de ACI.
- ✓ Obtener una buena resistencia para el diseño realizado.
- ✓ Adquirir destreza a la hora de elaborar el diseño de mezcla.
- ✓ Realizar un buen procedimiento para acercarse mucho más a la resistencia requerida.

ANEXO N° 11: VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Agua en l/m³, para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicada.

Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-----

Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

ANEXO N° 12: CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso.	Aire atrapado
3/8 "	3,0 %
1/2 "	2,5 %
3/4 "	2,0 %
1 "	1,5 %
1 1/2 "	1,0 %
2 "	0,5 %
3 "	0,3 %
4 "	0,2 %

ANEXO N° 13: PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO

Tamaño máximo nominal del agregado grueso.	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino. (b / bo)			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3 / 8 "	0,50	0,48	0,46	0,44
1 / 2 "	0,59	0,57	0,55	0,53
3 / 4 "	0,66	0,64	0,62	0,60
1 "	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1 / 2 "	0,76	0,74	0,72	0,70
2 "	0,78	0,76	0,74	0,72
3 "	0,81	0,79	0,77	0,75
6 "	0,87	0,85	0,83	0,81

Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

M.F = 2,99, interpolando el valor a tomar es 0,53

ANEXO N° 14: RELACION AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA

f'c (Kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	.
450	0,38	.

Usando anexo N° 14, por resistencia se obtiene interpolando:

350	0,48
380	0,45
400	0,43

Diseño De Mezcla

1. Especificaciones

- La resistencia a la compresión especificada es de 380 kg/cm²
- Condiciones de colocación requieren una mezcla de consistencia plástica.
- Tipo de cemento a utilizarse: tipo I. Comercializado en Cajamarca.
- El agua a emplear será de la red doméstica de la ciudad de Cajamarca.
- Tamaño máximo nominal de agregado 1/2".

2. Materiales.

Cemento: Pacasmayo	tipo I	
Peso Específico	3,11	
	FINO	GRUESO
Peso esp. de masa (gr/cm ³)	2,37	2,385
Absorción (%)	6,15	3,664
Módulo de fineza	2,99	
Cont. de Humedad(%)	4,99	1,59
Peso seco compactado (kg/m ³)	1 726,700	1 552,112
Tamaño máximo (")		1/2

- ❖ Según la Norma ASTM C-33 (requisitos generales de los agregados) la arena debe tener un modulo de fineza no menor de 2,3 ni mayor de 3.1
- ❖ Las arenas con módulos de 2,3 al 2,8 producen concreto de buena trabajabilidad y reducida segregación; y las que tienen de 2,8 y 3,1 son las más favorables para los concretos de alta resistencia.
- ❖ Nuestra arena se encuentra dentro del rango propuesto por la Normatividad, además es favorable para concretos de alta resistencia.
- ❖ El tamaño máximo del conjunto de agregados, esta dado por la abertura de malla inmediata superior a la que retiene el 15 % o más , al cribar por ella el agregado más grueso.
- ❖ El tamaño máximo de nuestros agregados es de ½.
- ❖ Los agregados según sus pesos específicos se dividen en ligeros, normales y pesados. El peso específico de los ligeros es menor a 2 500 kg/m³, el de los normales está entre 2 500 y 2 750, mientras que en los pesados es mayor a 2 750.
- ❖ En nuestro caso nos encontramos con agregados de peso específico ligero.

3. Selección de Volumen Unitario de agua.

Utilizando tabla 01. por ser un concreto sin aire incorporado, tamaño máximo 1/2" y asentamiento de 3"-4" se escoge:	216	lt/m ³
--	-----	-------------------

4. Contenido de Aire Atrapado: Usando el ANEXO N° 12:

2,50	%
------	---

5. Relación Agua-Cemento:

Usando el ANEXO N° 14: Por resistencia se obtiene interpolando:

350	0,48
380	X
400	0,43
x=	0,45

6. Factor Cemento:

Agua de diseño entre relación A/C= 215 / 0,45

480,00	11,29	bl/m ³
--------	-------	-------------------

7. Contenido de Agregado Grueso:

Se tiene en cuenta el módulo de finura del agregado fino para poder encontrar el valor del factor que se multiplicara y dará el peso del agregado grueso del ANEXO N°13:

X	0,53
Peso de AG (kg/m ³)	1 077,34

8. Calculo de Volúmenes Absolutos:

Se divide su peso entre su peso específico de masa por mil.

Cemento	0,154
Agua de diseño	0,216
Agregado grueso	0,345
Aire atrapado	0,025
Aditivo	0,000
Total	0,740

9. Contenido de Agregado Fino:

Al volumen obtenido por diferencia del volumen de un metro cubico se lo multiplica por el peso específico de masa del agregado fino y luego por mil.

1 – 0,740 m³	0,2597
Pes. Agregado Fino seco	615,51 kg/m ³

10. Valores de Diseño:

Cemento =	480,00
Agua de diseño =	216,00
Agregado grueso =	822,62
Agregado fino =	615,51
Aditivo =	0,00
Total =	2134,13 kg/m³

11. Corrección:

Corrección por Humedad del Agregado:

	w%	Corrección
Agregado Fino =	4,99	646,23
Agregado Grueso =	1,59	835,70

Humedad superficial de los agregados:

	w%	Abs%	Corrección%
Agregado Fino =	4,99	6,15	-1,160
Agregado Grueso =	1,59	3,664	-2,074

Aporte de humedad de los agregados:

Agregado Fino =	-7,14
Agregado Grueso =	-17,06
DEFICIT DE HUMEDAD	-24,20

Reducción de Agua por Aditivo:

AGUA EFECTIVA	191,80	lt/m³
----------------------	---------------	-------------------------

12. Pesos de los Materiales ya Corregidos:

Cemento	480,00	kg/m³
Agua de efectiva	191,80	kg/m³
Agregado grueso	835,70	kg/m³
Agregado fino	646,23	kg/m³
Aditivo	0	kg/m³
	2 153,73	kg/m³

13. Proporciones en peso de material sin corregir:

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m³)
1	1,28	1,71	18,28

14. Proporciones en peso de material corregido por humedad:

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m³)
1	1,35	1,74	17

15. Pesos por tanda de un saco:

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)
42.5	57,22	73,99	17

16. Pesos para una probeta de 8 cm de altura con una base de 20x10 cm:

Vol. Probeta (m ³)	0,0016		
Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)
0,77	1,03	1,34	0,31

17. Pesos utilizados en Laboratorio considerando 10% más por desperdicios para 3 adoquines:

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)
2,53	3,41	4,41	1,01

Procedimiento verificación de diseño.

Para nuestro caso, asumiendo que la resistencia a los 7 días es del orden del 75%.

- De 3 adoquines patrón que se tuvo para la verificación se obtuvieron.

295.45, 282.81 y 290.45, siendo el promedio 289.57

$$f'_{c7} = 75\% f'_{c28} \quad f'_{c28} = \frac{f'_{c7}}{0.75}$$

$$f'_{c28} = \frac{289,57}{0.75}$$

$$f'_{c28} = S = 386,097 \text{ Kg/cm}^2$$

Cumpliendo con las expectativas del diseño de mezcla del diseño.

Diseño de Mezcla con reemplazo al 10% de polipropileno.

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)	PROPOPILENO
0,77	1,03	1,34	0,31	0,000
0,77	1,03	1,20	0,31	0,51

Pesos utilizados en Laboratorio considerando 10% más por desperdicios para dos probetas:

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)	PROPOPILENO gr
7,74	10,42	12,13	3,09	509,71

REEMPLAZO DEL 10% DE
AGREGADO GRUESO

1,34	0,134	kg
------	-------	----

Peso Esp. Del PP	900	kg/m ³
Peso Esp. Del Agregado Grueso	2,385	kg/m ³

PESO DEL PP a utilizar.	2 385	1
	0,134	x

5,61845E-05	m ³ - AG
0,050566038	kg
50,57	g
509,71	g

El polipropileno al 10% de reemplazo que se utilizará para 9 adoquines con 12% de desperdicio e 509,71g.

Siendo finalmente las proporciones:

Cemento	7,74 Kg
Agua de efectiva	3,09 Litros
Agregado grueso	11,46 Kg
Agregado fino	10,42 Kg
Polipropileno	0,51 Kg

Diseño de Mezcla con reemplazo al 15% de polipropileno.

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)	PROPOPILENO
0,77	1,03	1,34	0,31	0,0000
0,77	1,03	1,14	0,31	0,0757

Pesos utilizados en Laboratorio considerando 10% más por desperdicios para dos probetas:

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)	PROPOPILENO g
7,74	10,42	11,46	3,09	762,91

REEMPLAZO DEL 10% DE AGREGADO GRUESO		
1,34	0,201	kg
Peso Esp. Del PP	900	kg/m ³
Peso Esp. Del Agregado Grueso	2,385	kg/m ³
PESO DEL PP a utilizar.	2 385	1
	0,201	x
	8,40955E-05	m ³
	0,075685972	kg
	75,69	g
	762,91	g

El polipropileno al 15% de reemplazo que se utilizará para 9 adoquines con 12% de desperdicio e 762,91 g.

Siendo finalmente las proporciones:

Cemento	7,74 Kg
Agua de efectiva	3,09 Litros
Agregado grueso	11,46 Kg
Agregado fino	10,42 Kg
Polipropileno	0,76 Kg

Diseño de Mezcla con reemplazo al 10% de caucho.

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)	CAUCHO
0,77	1,03	1,34	0,31	0,0000
0,77	1,03	1,20	0,31	0,0622

Pesos utilizados en Laboratorio considerando 10% más por desperdicios para dos probetas:

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)	CAUCHO g
7,74	10,42	12,13	3,09	626,72

REEMPLAZO DEL 10% DE
AGREGADO GRUESO

1,34	0,134	kg
Peso Esp. Del PP	1 109	Kg/m ³
Peso Esp. Del Agregado Grueso	2,385	kg/m ³
Peso del caucho a utilizar.	2 385	1
	0,134	x
	5,60637E-05	m ³
	0,062174623	kg
	62,17	g
	626,72	g

El caucho al 10% de reemplazo que se utilizará para 9 adoquines con 12% de desperdicio e 626,72 g.

Siendo finalmente las proporciones:

Cemento	7,74 Kg
Agua de efectiva	3,09 Litros
Agregado grueso	12,13 Kg
Agregado fino	10,42 Kg
Caucho	0,63 Kg

Diseño de Mezcla con reemplazo al 15% de caucho.

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)	CAUCHO
0,77	1,03	1,34	0,31	0,0000
0,77	1,03	1,14	0,31	0,093

7. Pesos utilizados en Laboratorio considerando 10% más por desperdicios para dos probetas:

Cemento	AF	AG	Agua(lt/m ³)	CAUCHO g
7,74	10,42	11,46	3,09	940,08

REEMPLAZO DEL 10% DE
AGREGADO GRUESO

1,34	0,201	kg
Peso Esp. Del PP	1 109	kg/m ³
Peso Esp. Del Agregado Grueso	2,385	kg/m ³
Peso del caucho a utilizar.	2 385	1
	0,201	x
	8,40955E-05	m ³
	0,093261936	kg
	93,26	g
	940,08	g

El caucho al 15% de reemplazo que se utilizará para 9 adoquines con 12% de desperdicio es 940,08 g.

Siendo finalmente las proporciones:

Cemento	7,74 Kg
Agua de efectiva	3,09 Litros
Agregado grueso	11,46 Kg
Agregado fino	10,42 Kg
Caucho	0,94 Kg

9.4. Ensayos de los adoquines

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ADOQUINES

ANEXO N° 15: Medición de adoquines

Ensayos Sometidos	Adoquines patrones f'c = 7 días					
	MUESTRA	DATOS				
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO (g)	AREA (cm ²)
Compresión	Patrón Rey N°01	20,14	10,21	8,05	3 630,60	205,63
	Patrón Rey N°02	20,03	9,99	7,95	3 652,20	200,10
	Patrón Rey N°03	19,98	10,05	8,01	3 633,70	200,80

Ensayos Sometidos	Adoquines patrones f'c = 28 días					
	MUESTRA	DATOS				
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO (g)	AREA (cm ²)
Compresión	Patrón N°01	19,52	10,20	8,01	3 630,60	199,10
	Patrón N°02	20,01	10,20	7,90	3 635,50	204,10
	Patrón N°03	19,82	10,12	7,96	3 633,70	200,58
Flexión	Patrón N°04	19,73	10,15	7,97	3 746,90	200,26
	Patrón N°05	19,70	10,09	7,91	3 730,60	198,77
	Patrón N°06	19,67	10,12	7,80	3 676,00	199,06
Absorción	Patrón N°07	20,03	10,12	7,82	3 662,00	202,70
	Patrón N°08	19,96	10,01	8,04	3 703,88	199,80
	Patrón N°09	20,03	10,13	8,02	3 675,46	202,90

Ensayos Sometidos	Adoquines con polipropileno al 10% f'c = 28 días					
	MUESTRA	DATOS				
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO (g)	AREA (cm ²)
Compresión	Ado. PP N°01	20,04	10,41	8,10	3 596,70	208,62
	Ado. PP N°02	20,02	10,16	8,10	3 742,80	203,40
	Ado. PP N°03	19,93	10,18	7,92	3 443,00	202,89
Flexión	Ado. PP N°04	20,01	10,30	7,87	3 652,10	206,10
	Ado. PP N°05	20,11	10,41	8,03	3 686,00	209,35
	Ado. PP N°06	20,03	10,18	7,97	3 592,10	203,91
Absorción	Ado. PP N°07	20,00	10,15	7,92	3 732,50	203,00
	Ado. PP N°08	19,98	10,13	8,08	3 593,80	202,40
	Ado. PP N°09	19,96	10,11	7,85	3 625,70	201,80

Ensayos Sometidos	Adoquines con polipropileno al 15% f'c = 28 días					
	MUESTRA	DATOS				
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO (g)	AREA (cm ²)
Compresión	Ado. PP N°01	20,13	10,32	8,34	3 852,10	207,74
	Ado. PP N°02	19,93	10,34	7,96	3 661,90	206,08
	Ado. PP N°03	20,04	10,20	7,85	3 693,30	204,41
Flexión	Ado. PP N°04	19,97	10,14	7,99	3 618,90	202,50
	Ado. PP N°05	19,83	10,26	7,97	3 798,30	203,46
	Ado. PP N°06	20,14	10,36	7,95	3 747,30	208,65
Absorción	Ado. PP N°07	20,10	10,18	8,35	4 010,90	204,62
	Ado. PP N°08	20,00	10,26	7,84	3 709,60	205,20
	Ado. PP N°09	20,05	10,59	7,96	3 733,30	212,33

Adoquines con caucho al 10% f'c = 28 días						
Ensayos Sometidos	MUESTRA	DATOS				
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO (g)	AREA (cm ²)
Compresión	Ado. Caucho N°01	20,03	10,13	8,05	3 756,90	202,90
	Ado. Caucho N°02	19,99	10,07	7,98	3 677,50	201,25
	Ado. Caucho N°03	20,01	9,97	7,99	3 656,00	199,45
Flexión	Ado. Caucho N°04	19,90	10,00	8,05	3 708,50	199,00
	Ado. Caucho N°05	19,97	10,11	8,03	3 772,70	201,90
	Ado. Caucho N°06	20,12	10,07	8,05	3 879,00	202,61
Absorción	Ado. Caucho N°07	20,05	10,02	8,00	3 860,15	200,90
	Ado. Caucho N°08	20,03	10,23	8,03	3 721,35	204,76
	Ado. Caucho N°09	20,07	10,29	7,96	3 733,20	206,55

Adoquines con caucho al 15% f'c = 28 días						
Ensayos Sometidos	MUESTRA	DATOS				
		LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	PESO (g)	AREA (cm ²)
Compresión	Ado. Caucho N°01	20,01	9,96	8,11	3 696,80	199,28
	Ado. Caucho N°02	20,00	10,05	7,99	3 680,67	200,95
	Ado. Caucho N°03	19,95	10,14	8,00	3 712,40	202,32
Flexión	Ado. Caucho N°04	19,94	10,20	8,04	3 786,73	203,38
	Ado. Caucho N°05	20,05	10,08	8,04	3 825,85	202,05
	Ado. Caucho N°06	20,09	10,04	8,09	3 869,58	201,65
Absorción	Ado. Caucho N°07	20,04	10,13	8,25	3 790,75	202,98
	Ado. Caucho N°08	20,05	10,10	7,89	3 727,28	202,49
	Ado. Caucho N°09	20,07	10,06	8,14	3 766,65	201,86

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS ADOQUINES

ANEXO N° 16: Adoquines patrones f'c = 7 días - Patrón Rey N°01

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.88	9.726	0.011
4000	1.15	19.452	0.014
6000	1.31	29.179	0.016
8000	1.51	38.905	0.019
10000	1.63	48.631	0.020
12000	1.78	58.357	0.022
14000	1.91	68.084	0.024
16000	2.00	77.810	0.025
18000	2.14	87.536	0.027
20000	2.27	97.262	0.028
22000	2.37	106.989	0.029
24000	2.49	116.715	0.031
26000	2.61	126.441	0.032
28000	2.73	136.167	0.034
30000	2.87	145.894	0.036
32000	2.99	155.620	0.037
34000	3.08	165.346	0.038
36000	3.18	175.072	0.040
38000	3.25	184.798	0.040
40000	3.34	194.525	0.041
42000	3.45	204.251	0.043
44000	3.54	213.977	0.044
46000	3.64	223.703	0.045
48000	3.76	233.430	0.047
50000	3.94	243.156	0.049
52000	4.12	252.882	0.051
54000	4.25	262.608	0.053
56000	4.40	272.335	0.055
58000	4.58	282.061	0.057
60000	4.73	291.787	0.059
60753	4.85	295.449	0.060
Resistencia a los 7 días		295.45 Kg/cm²	
Resistencia a los 28 días		393.93 Kg/cm ²	

ANEXO N° 17 Adoquines patrones f'c = 7 días - Patrón Rey N°02

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.3	10.00	0.004
4000	0.55	19.99	0.007
6000	1	29.99	0.013
8000	1.35	39.98	0.017
10000	1.62	49.98	0.020
12000	2.03	59.97	0.026
14000	2.35	69.97	0.030
16000	2.74	79.96	0.034
18000	2.95	89.96	0.037
20000	3.1	99.95	0.039
22000	3.2	109.95	0.040
24000	3.32	119.94	0.042
26000	3.47	129.94	0.044
28000	3.55	139.93	0.045
30000	3.64	149.93	0.046
32000	3.75	159.92	0.047
34000	3.84	169.92	0.048
36000	4.00	179.91	0.050
38000	4.12	189.91	0.052
40000	4.25	199.90	0.053
42000	4.38	209.90	0.055
44000	4.5	219.89	0.057
46000	4.76	229.89	0.060
48000	5.01	239.88	0.063
50000	5.25	249.88	0.066
52000	5.5	259.87	0.069
54000	5.7	269.87	0.072
56000	5.9	279.86	0.074
56591	5.95	282.81	0.075
Resistencia a los 7 días		282.81 Kg/cm²	
Resistencia a los 28 días		377.09 Kg/cm ²	

ANEXO N° 18: Adoquines patrones f'c = 07 días - Patrón N°03

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.59	9.96	0.007
4000	0.82	19.92	0.010
6000	1.14	29.88	0.014
8000	1.40	39.84	0.017
10000	1.61	49.80	0.020
12000	1.89	59.76	0.024
14000	2.23	69.72	0.028
16000	2.43	79.68	0.030
18000	2.55	89.64	0.032
20000	2.69	99.60	0.034
22000	2.79	109.56	0.035
24000	2.91	119.52	0.036
26000	3.04	129.48	0.038
28000	3.14	139.44	0.039
30000	3.26	149.40	0.041
32000	3.37	159.36	0.042
34000	3.48	169.32	0.043
36000	3.59	179.28	0.045
38000	3.69	189.24	0.046
40000	3.84	199.20	0.048
42000	3.92	209.16	0.049
44000	4.05	219.12	0.051
46000	4.23	229.08	0.053
48000	4.41	239.05	0.055
50000	4.62	249.01	0.058
52000	4.88	258.97	0.061
54000	5.10	268.93	0.064
56000	5.25	278.89	0.066
58323	5.36	290.45	0.067
Resistencia a los 7 días		290.45 Kg/cm²	
Resistencia a los 28 días		387.27 Kg/cm ²	

ANEXO N° 19: Adoquines patrones f'c = 28 días - Patrón N°01

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	1.25	10.05	0.016
4000	1.64	20.09	0.020
6000	1.86	30.14	0.023
8000	2.05	40.18	0.026
10000	2.26	50.23	0.028
12000	2.45	60.27	0.031
14000	2.53	70.32	0.032
16000	2.62	80.36	0.033
18000	2.7	90.41	0.034
20000	2.81	100.45	0.035
22000	2.95	110.50	0.037
24000	3.05	120.54	0.038
26000	3.15	130.59	0.039
28000	3.24	140.63	0.040
30000	3.33	150.68	0.042
32000	3.42	160.72	0.043
34000	3.52	170.77	0.044
36000	3.6	180.81	0.045
38000	3.65	190.86	0.046
40000	3.74	200.90	0.047
42000	3.83	210.95	0.048
44000	3.92	220.99	0.049
46000	4.00	231.04	0.050
48000	4.09	241.08	0.051
50000	4.18	251.13	0.052
52000	4.34	261.17	0.054
54000	4.46	271.22	0.056
56000	4.60	281.26	0.057
58000	4.70	291.31	0.059
60000	4.80	301.35	0.060
62000	4.88	311.40	0.061
64000	4.99	321.44	0.062
66000	5.15	331.49	0.064
68000	5.27	341.53	0.066
70000	5.34	351.58	0.067
72000	5.42	361.62	0.068
74000	5.51	371.67	0.069
75971	5.61	381.56	0.070
Resistencia a los 28 días		381.56 Kg/cm²	

ANEXO N° 20: Adoquines patrones f'c = 28 días - Patrón N°02

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.95	9.80	0.012
4000	1.28	19.60	0.016
6000	1.50	29.40	0.019
8000	1.76	39.20	0.022
10000	1.94	49.00	0.025
12000	2.05	58.79	0.026
14000	2.18	68.59	0.028
16000	2.32	78.39	0.029
18000	2.47	88.19	0.031
20000	2.63	97.99	0.033
22000	2.80	107.79	0.035
24000	3.00	117.59	0.038
26000	3.17	127.39	0.040
28000	3.31	137.19	0.042
30000	3.47	146.99	0.044
32000	3.59	156.78	0.045
34000	3.69	166.58	0.047
36000	3.86	176.38	0.049
38000	4.00	186.18	0.051
40000	4.11	195.98	0.052
42000	4.21	205.78	0.053
44000	4.40	215.58	0.056
46000	4.50	225.38	0.057
48000	4.60	235.18	0.058
50000	4.69	244.98	0.059
52000	4.82	254.77	0.061
54000	4.98	264.57	0.063
56000	5.10	274.37	0.065
58000	5.23	284.17	0.066
60000	5.29	293.97	0.067
62000	5.45	303.77	0.069
64000	5.60	313.57	0.071
66000	5.80	323.37	0.073
68000	6.00	333.17	0.076
70000	6.13	342.97	0.078
72000	6.30	352.76	0.080
74000	6.47	362.56	0.082
76000	6.59	372.36	0.083
76932	6.72	376.93	0.085
Resistencia a los 28 días		376.93 Kg/cm²	

ANEXO N° 21: Adoquines patrones f'c = 28 días - Patrón N°03

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.76	9.97	0.010
4000	0.95	19.94	0.012
6000	1.14	29.91	0.014
8000	1.28	39.88	0.016
10000	1.38	49.86	0.017
12000	1.52	59.83	0.019
14000	1.65	69.80	0.021
16000	1.78	79.77	0.022
18000	1.97	89.74	0.025
20000	2.17	99.71	0.027
22000	2.30	109.68	0.029
24000	2.48	119.65	0.031
26000	2.60	129.63	0.033
28000	2.70	139.60	0.034
30000	2.80	149.57	0.035
32000	2.92	159.54	0.037
34000	3.03	169.51	0.038
36000	3.12	179.48	0.039
38000	3.24	189.45	0.041
40000	3.32	199.42	0.042
42000	3.40	209.39	0.043
44000	3.48	219.37	0.044
46000	3.54	229.34	0.044
48000	3.65	239.31	0.046
50000	3.75	249.28	0.047
52000	3.85	259.25	0.048
54000	3.92	269.22	0.049
56000	4.02	279.19	0.051
58000	4.12	289.16	0.052
60000	4.20	299.13	0.053
62000	4.32	309.11	0.054
64000	4.43	319.08	0.056
66000	4.50	329.05	0.057
68000	4.61	339.02	0.058
70000	4.70	348.99	0.059
72000	4.82	358.96	0.061
74000	4.95	368.93	0.062
74598	5.03	371.91	0.063

Resistencia a los 28 días 371.91 Kg/cm²

ANEXO N° 22: Adoquines con Polipropileno al 10% f'c = 28 días Ado.PP N°01

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.60	9.59	0.007
4000	0.69	19.17	0.009
6000	0.80	28.76	0.010
8000	0.90	38.35	0.011
10000	1.13	47.93	0.014
12000	1.35	57.52	0.017
14000	1.47	67.11	0.018
16000	1.57	76.70	0.019
18000	1.63	86.28	0.020
20000	1.71	95.87	0.021
22000	1.80	105.46	0.022
24000	1.91	115.04	0.024
26000	2.00	124.63	0.025
28000	2.06	134.22	0.025
30000	2.12	143.80	0.026
32000	2.18	153.39	0.027
34000	2.29	162.98	0.028
36000	2.37	172.57	0.029
38000	2.46	182.15	0.030
40000	2.55	191.74	0.031
42000	2.62	201.33	0.032
44000	2.69	210.91	0.033
46000	2.81	220.50	0.035
48000	2.93	230.09	0.036
50000	3.00	239.67	0.037
52000	3.08	249.26	0.038
54000	3.18	258.85	0.039
56000	3.29	268.44	0.041
58000	3.45	278.02	0.043
60000	3.58	287.61	0.044
62000	3.69	297.20	0.046
64000	3.79	306.78	0.047
66000	3.99	316.37	0.049
68000	4.17	325.96	0.051
70000	4.33	335.54	0.053
72000	4.50	345.13	0.056
74000	4.62	354.72	0.057
76000	4.75	364.31	0.059
78000	4.91	373.89	0.061
80000	5.05	383.48	0.062
82000	5.33	393.07	0.066
83031	5.54	398.01	0.068

Resistencia a los 28 días	398.01 Kg/cm²
----------------------------------	---------------------------------

ANEXO N° 23: Adoquines con Polipropileno al 10% f'c = 28 días Ado.PP N°02

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.95	9.83	0.012
4000	1.22	19.67	0.015
6000	1.41	29.50	0.017
8000	1.60	39.33	0.020
10000	1.79	49.16	0.022
12000	2.00	59.00	0.025
14000	2.18	68.83	0.027
16000	2.30	78.66	0.028
18000	2.39	88.49	0.030
20000	2.55	98.33	0.031
22000	2.63	108.16	0.032
24000	2.74	117.99	0.034
26000	2.80	127.82	0.035
28000	2.85	137.66	0.035
30000	2.93	147.49	0.036
32000	3.03	157.32	0.037
34000	3.12	167.16	0.039
36000	3.20	176.99	0.040
38000	3.27	186.82	0.040
40000	3.40	196.65	0.042
42000	3.50	206.49	0.043
44000	3.58	216.32	0.044
46000	3.66	226.15	0.045
48000	3.74	235.98	0.046
50000	3.82	245.82	0.047
52000	3.94	255.65	0.049
54000	4.07	265.48	0.050
56000	4.20	275.32	0.052
58000	4.33	285.15	0.053
60000	4.44	294.98	0.055
62000	4.50	304.81	0.056
64000	4.60	314.65	0.057
66000	4.70	324.48	0.058
68000	4.86	334.31	0.060
70000	5.00	344.14	0.062
72000	5.13	353.98	0.063
74000	5.28	363.81	0.065
76000	5.43	373.64	0.067
78000	5.60	383.47	0.069
80000	5.82	393.31	0.072
82000	6.00	403.14	0.074
82456	6.08	405.38	0.075

Resistencia a los 28 días	405.38 Kg/cm²
----------------------------------	---------------------------------

ANEXO N° 24: Adoquines con Polipropileno al 10% f'c = 28 días Ado.PP N°03

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.78	9.86	0.010
4000	0.98	19.72	0.012
6000	1.15	29.57	0.015
8000	1.34	39.43	0.017
10000	1.52	49.29	0.019
12000	1.70	59.15	0.021
14000	1.83	69.00	0.023
16000	1.94	78.86	0.024
18000	2.01	88.72	0.025
20000	2.13	98.58	0.027
22000	2.22	108.43	0.028
24000	2.33	118.29	0.029
26000	2.40	128.15	0.030
28000	2.46	138.01	0.031
30000	2.53	147.87	0.032
32000	2.61	157.72	0.033
34000	2.71	167.58	0.034
36000	2.79	177.44	0.035
38000	2.87	187.30	0.036
40000	2.98	197.15	0.038
42000	3.06	207.01	0.039
44000	3.14	216.87	0.040
46000	3.24	226.73	0.041
48000	3.34	236.58	0.042
50000	3.41	246.44	0.043
52000	3.51	256.30	0.044
54000	3.63	266.16	0.046
56000	3.75	276.02	0.047
58000	3.89	285.87	0.049
60000	4.01	295.73	0.051
62000	4.10	305.59	0.052
64000	4.20	315.45	0.053
66000	4.35	325.30	0.055
68000	4.52	335.16	0.057
70000	4.67	345.02	0.059
72000	4.82	354.88	0.061
74000	4.95	364.73	0.063
76000	5.09	374.59	0.064
78000	5.22	384.45	0.066
79745	5.41	393.05	0.068
Resistencia a los 28 días		393.05 Kg/cm ²	

ANEXO N° 25: Adoquines con Polipropileno al 15% f'c = 28 d do.PP N°01

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.45	9.63	0.005
4000	0.60	19.25	0.007
6000	0.79	28.88	0.009
8000	0.88	38.51	0.011
10000	0.98	48.14	0.012
12000	1.06	57.76	0.013
14000	1.15	67.39	0.014
16000	1.26	77.02	0.015
18000	1.34	86.65	0.016
20000	1.48	96.27	0.018
22000	1.59	105.90	0.019
24000	1.70	115.53	0.020
26000	1.88	125.16	0.023
28000	2.00	134.78	0.024
30000	2.10	144.41	0.025
32000	2.23	154.04	0.027
34000	2.40	163.66	0.029
36000	2.52	173.29	0.030
38000	2.65	182.92	0.032
40000	2.83	192.55	0.034
42000	3.03	202.17	0.036
44000	3.19	211.80	0.038
46000	3.30	221.43	0.040
48000	3.43	231.06	0.041
50000	3.58	240.68	0.043
52000	3.74	250.31	0.045
54000	3.90	259.94	0.047
56000	4.00	269.57	0.048
58000	4.16	279.19	0.050
60000	4.39	288.82	0.053
62000	4.55	298.45	0.055
64000	4.70	308.08	0.056
66000	4.85	317.70	0.058
68000	4.97	327.33	0.060
70000	5.08	336.96	0.061
72000	5.24	346.58	0.063
74000	5.37	356.21	0.064
76000	5.49	365.84	0.066
77605	5.57	373.57	0.067
Resistencia a los 28 días		373.57 Kg/cm ²	

ANEXO N° 26: Adoquines con Polipropileno al 15% f'c = 28 días Ado.PP N°02

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.88	9.71	0.011
4000	1.05	19.41	0.013
6000	1.28	29.12	0.016
8000	1.43	38.82	0.018
10000	1.61	48.53	0.020
12000	1.74	58.23	0.022
14000	1.87	67.94	0.023
16000	2.00	77.64	0.025
18000	2.15	87.35	0.027
20000	2.34	97.05	0.029
22000	2.49	106.76	0.031
24000	2.74	116.46	0.034
26000	2.92	126.17	0.037
28000	3.05	135.87	0.038
30000	3.24	145.58	0.041
32000	3.38	155.28	0.042
34000	3.49	164.99	0.044
36000	3.56	174.69	0.045
38000	3.72	184.40	0.047
40000	3.85	194.10	0.048
42000	3.96	203.81	0.050
44000	4.09	213.51	0.051
46000	4.25	223.22	0.053
48000	4.46	232.92	0.056
50000	4.62	242.63	0.058
52000	4.83	252.33	0.061
54000	5.02	262.04	0.063
56000	5.15	271.74	0.065
58000	5.30	281.45	0.067
60000	5.42	291.15	0.068
62000	5.53	300.86	0.069
64000	5.69	310.56	0.071
66000	5.82	320.27	0.073
68000	6.00	329.98	0.075
70000	6.13	339.68	0.077
72000	6.27	349.39	0.079
72521	6.30	351.91	0.079

Resistencia a los 28 días	351.91 Kg/cm²
----------------------------------	---------------------------------

ANEXO N° 27: Adoquines con Polipropileno al 15% f'c = 28 días Ado.PP N°03

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.67	9.78	0.008
4000	0.86	19.57	0.011
6000	1.04	29.35	0.013
8000	1.20	39.14	0.015
10000	1.37	48.92	0.017
12000	1.50	58.71	0.019
14000	1.60	68.49	0.020
16000	1.68	78.27	0.021
18000	1.80	88.06	0.023
20000	1.95	97.84	0.025
22000	2.08	107.63	0.026
24000	2.22	117.41	0.028
26000	2.40	127.20	0.031
28000	2.53	136.98	0.032
30000	2.67	146.77	0.034
32000	2.81	156.55	0.036
34000	2.95	166.33	0.038
36000	3.04	176.12	0.039
38000	3.19	185.90	0.041
40000	3.34	195.69	0.043
42000	3.50	205.47	0.045
44000	3.64	215.26	0.046
46000	3.78	225.04	0.048
48000	3.95	234.82	0.050
50000	4.10	244.61	0.052
52000	4.29	254.39	0.055
54000	4.46	264.18	0.057
56000	4.58	273.96	0.058
58000	4.73	283.75	0.060
60000	4.91	293.53	0.062
62000	5.04	303.31	0.064
64000	5.20	313.10	0.066
66000	5.35	322.88	0.068
68000	5.53	332.67	0.070
70000	5.71	342.45	0.073
72000	5.84	352.24	0.074
74000	5.96	362.02	0.076
74189	6.00	362.95	0.076
Resistencia a los 28 días		362.95 Kg/cm²	

ANEXO N° 28: Adoquines con Caucho al 10% f'c = 28 días Ado.Caucho N°01

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.91	9.86	0.011
4000	1.07	19.71	0.013
6000	1.29	29.57	0.016
8000	1.47	39.43	0.018
10000	1.61	49.28	0.020
12000	1.74	59.14	0.022
14000	1.97	69.00	0.024
16000	2.22	78.86	0.028
18000	2.41	88.71	0.030
20000	2.59	98.57	0.032
22000	2.71	108.43	0.034
24000	2.85	118.28	0.035
26000	3.04	128.14	0.038
28000	3.22	138.00	0.040
30000	3.33	147.85	0.041
32000	3.51	157.71	0.044
34000	3.69	167.57	0.046
36000	3.82	177.42	0.047
38000	3.97	187.28	0.049
40000	4.08	197.14	0.051
42000	4.16	206.99	0.052
44000	4.26	216.85	0.053
46000	4.41	226.71	0.055
48000	4.53	236.57	0.056
50000	4.66	246.42	0.058
52000	4.76	256.28	0.059
54000	4.94	266.14	0.061
56000	5.06	275.99	0.063
58000	5.14	285.85	0.064
60000	5.25	295.71	0.065
62000	5.38	305.56	0.067
64000	5.53	315.42	0.069
66000	5.66	325.28	0.070
68000	5.86	335.13	0.073
70000	5.99	344.99	0.074
71926	6.21	354.48	0.077
Resistencia a los 28 días		354.48 Kg/cm²	

ANEXO N° 29: Adoquines con Caucho al 10% f'c = 28 días Ado.Caucho N°02

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.71	9.95	0.009
4000	0.96	19.90	0.012
6000	1.15	29.85	0.014
8000	1.36	39.80	0.017
10000	1.48	49.75	0.019
12000	1.59	59.70	0.020
14000	1.75	69.65	0.022
16000	1.91	79.60	0.024
18000	2.09	89.55	0.026
20000	2.23	99.50	0.028
22000	2.47	109.45	0.031
24000	2.68	119.40	0.034
26000	2.81	129.35	0.035
28000	3.05	139.30	0.038
30000	3.30	149.25	0.041
32000	3.54	159.20	0.044
34000	3.76	169.15	0.047
36000	3.92	179.10	0.049
38000	4.13	189.05	0.052
40000	4.29	199.00	0.054
42000	4.48	208.96	0.056
44000	4.59	218.91	0.058
46000	4.71	228.86	0.059
48000	4.88	238.81	0.061
50000	5.01	248.76	0.063
52000	5.20	258.71	0.065
54000	5.35	268.66	0.067
56000	5.47	278.61	0.069
58000	5.60	288.56	0.070
60000	5.79	298.51	0.073
62000	5.94	308.46	0.074
64000	6.07	318.41	0.076
66000	6.20	328.36	0.078
68000	6.36	338.31	0.080
70000	6.49	347.74	0.081
72000	6.65	357.68	0.083
74000	6.83	367.61	0.086
75012	7.03	372.64	0.088
Resistencia a los 28 días		372.64 Kg/cm ²	

ANEXO N° 30: Adoquines con Caucho al 10% f'c = 28 días Ado.Caucho N°03

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	1.03	10.03	0.013
4000	1.30	20.05	0.016
6000	1.44	30.08	0.018
8000	1.59	40.10	0.020
10000	1.77	50.13	0.022
12000	1.95	60.15	0.024
14000	2.07	70.18	0.026
16000	2.22	80.20	0.028
18000	2.45	90.23	0.031
20000	2.59	100.25	0.032
22000	2.74	110.28	0.034
24000	2.93	120.30	0.037
26000	3.18	130.33	0.040
28000	3.49	140.35	0.044
30000	3.68	150.38	0.046
32000	3.81	160.40	0.048
34000	3.96	170.43	0.050
36000	4.09	180.45	0.051
38000	4.28	190.48	0.054
40000	4.50	200.50	0.056
42000	4.59	210.53	0.057
44000	4.68	220.55	0.059
46000	4.80	230.58	0.060
48000	5.00	240.60	0.063
50000	5.17	250.63	0.065
52000	5.40	260.65	0.068
54000	5.62	270.68	0.070
56000	5.89	280.70	0.074
58000	6.01	290.73	0.075
60000	6.18	300.75	0.077
62000	6.35	310.78	0.079
64000	6.55	320.80	0.082
66000	6.79	330.83	0.085
68000	6.94	340.85	0.087
70000	7.06	350.88	0.088
72000	7.25	360.90	0.091
73384	7.38	367.84	0.092

Resistencia a los 28 días	367.84 Kg/cm ²
----------------------------------	---------------------------

ANEXO N° 31: Adoquines con Caucho al 15% f'c = 28 días Ado.Caucho N°01

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	1.03	10.04	0.013
4000	1.23	20.07	0.015
6000	1.50	30.11	0.018
8000	1.77	40.14	0.022
10000	1.93	50.18	0.024
12000	2.08	60.21	0.026
14000	2.24	70.25	0.028
16000	2.53	80.28	0.031
18000	2.73	90.32	0.034
20000	2.93	100.35	0.036
22000	3.07	110.39	0.038
24000	3.23	120.42	0.040
26000	3.43	130.46	0.042
28000	3.63	140.49	0.045
30000	3.75	150.53	0.046
32000	3.96	160.56	0.049
34000	4.16	170.60	0.051
36000	4.30	180.63	0.053
38000	4.49	190.67	0.055
40000	4.59	200.70	0.057
42000	4.68	210.74	0.058
44000	4.79	220.77	0.059
46000	4.95	230.81	0.061
48000	5.09	240.84	0.063
50000	5.23	250.88	0.064
52000	5.34	260.91	0.066
54000	5.54	270.95	0.068
56000	5.68	280.98	0.070
58000	5.77	291.02	0.071
60000	5.89	301.05	0.073
62000	6.00	311.09	0.074
64000	6.12	321.12	0.075
66000	6.33	331.16	0.078
67438	6.52	338.37	0.080

Resistencia a los 28 días 338.37 Kg/cm²

ANEXO N° 32: Adoquines con Caucho al 15% f'c = 28 días Ado.Caucho N°02

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	0.80	9.95	0.010
4000	1.01	19.90	0.013
6000	1.34	29.85	0.017
8000	1.62	39.80	0.020
10000	1.75	49.75	0.022
12000	1.95	59.70	0.024
14000	2.07	69.65	0.026
16000	2.35	79.60	0.029
18000	2.53	89.55	0.032
20000	2.78	99.50	0.035
22000	2.93	109.45	0.037
24000	3.06	119.40	0.038
26000	3.26	129.35	0.041
28000	3.40	139.30	0.043
30000	3.50	149.25	0.044
32000	3.64	159.20	0.046
34000	3.80	169.15	0.048
36000	3.90	179.10	0.049
38000	4.05	189.05	0.051
40000	4.20	199.00	0.053
42000	4.40	208.96	0.055
44000	4.60	218.91	0.058
46000	4.71	228.86	0.059
48000	4.83	238.81	0.060
50000	4.92	248.76	0.062
52000	5.00	258.71	0.063
54000	5.17	268.66	0.065
56000	5.29	278.61	0.066
58000	5.40	288.56	0.068
60000	5.56	298.51	0.070
62000	5.70	308.46	0.071
64000	5.93	318.41	0.074
66000	6.16	328.36	0.077
66836	6.24	332.52	0.078
Resistencia a los 28 días		332.52 Kg/cm ²	

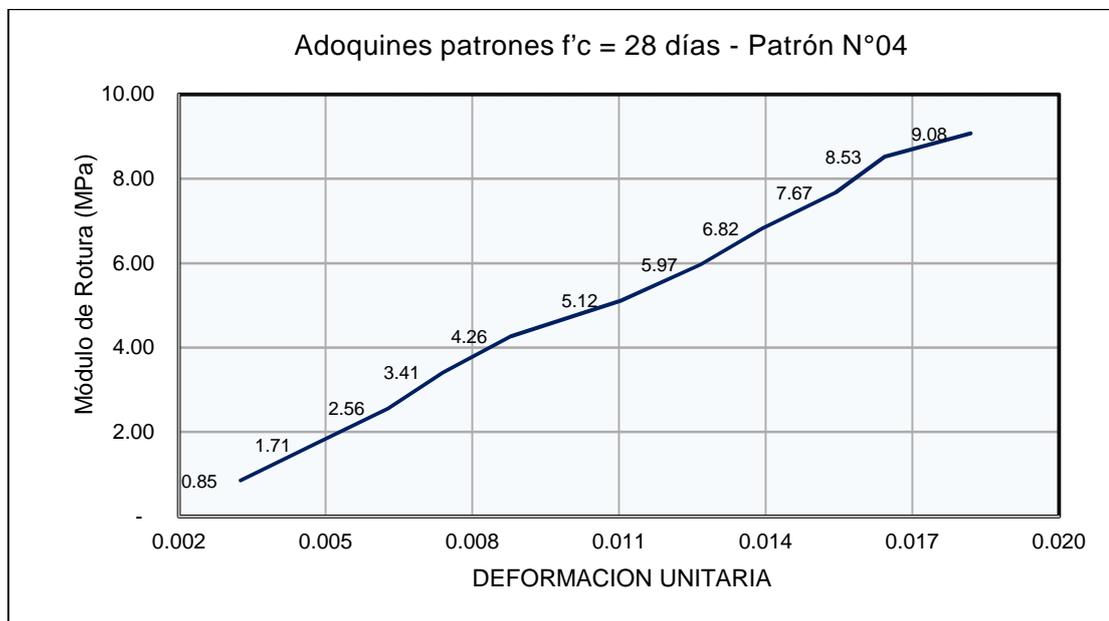
ANEXO N° 33: Adoquines con caucho al 15% f'c = 28 días Ado.Caucho N°03

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO Kg/cm ²	DEFORMACION UNITARIA
2000	1.18	9.89	0.015
4000	1.45	19.77	0.018
6000	1.65	29.66	0.021
8000	1.92	39.55	0.024
10000	2.04	49.43	0.026
12000	2.20	59.32	0.028
14000	2.41	69.21	0.030
16000	2.70	79.09	0.034
18000	2.93	88.98	0.037
20000	3.08	98.87	0.039
22000	3.20	108.75	0.040
24000	3.39	118.64	0.042
26000	3.60	128.53	0.045
28000	3.86	138.41	0.048
30000	4.00	148.30	0.050
32000	4.28	158.19	0.054
34000	4.52	168.07	0.057
36000	4.70	177.96	0.059
38000	4.93	187.85	0.062
40000	5.12	197.73	0.064
42000	5.30	207.62	0.066
44000	5.48	217.51	0.069
46000	5.62	227.39	0.070
48000	5.83	237.28	0.073
50000	6.06	247.17	0.076
52000	6.29	257.05	0.079
54000	6.48	266.94	0.081
56000	6.64	276.83	0.083
58000	6.76	286.71	0.085
60000	6.84	296.60	0.086
62000	6.97	306.49	0.087
64000	7.12	316.37	0.089
66000	7.24	326.26	0.091
66722	7.35	329.83	0.092
Resistencia a los 28 días		329.83 Kg/cm²	

ANEXO N° 34: Adoquines patrones f'c = 28 días - Patrón N°04

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.26	8.693	0.85	0.003
1000	0.38	17.387	1.71	0.005
1500	0.5	26.080	2.56	0.006
2000	0.59	34.774	3.41	0.007
2500	0.7	43.467	4.26	0.009
3000	0.88	52.161	5.12	0.011
3500	1.01	60.854	5.97	0.013
4000	1.11	69.548	6.82	0.014
4500	1.23	78.241	7.67	0.015
5000	1.31	86.935	8.53	0.016
5324	1.45	92.568	9.08	0.018

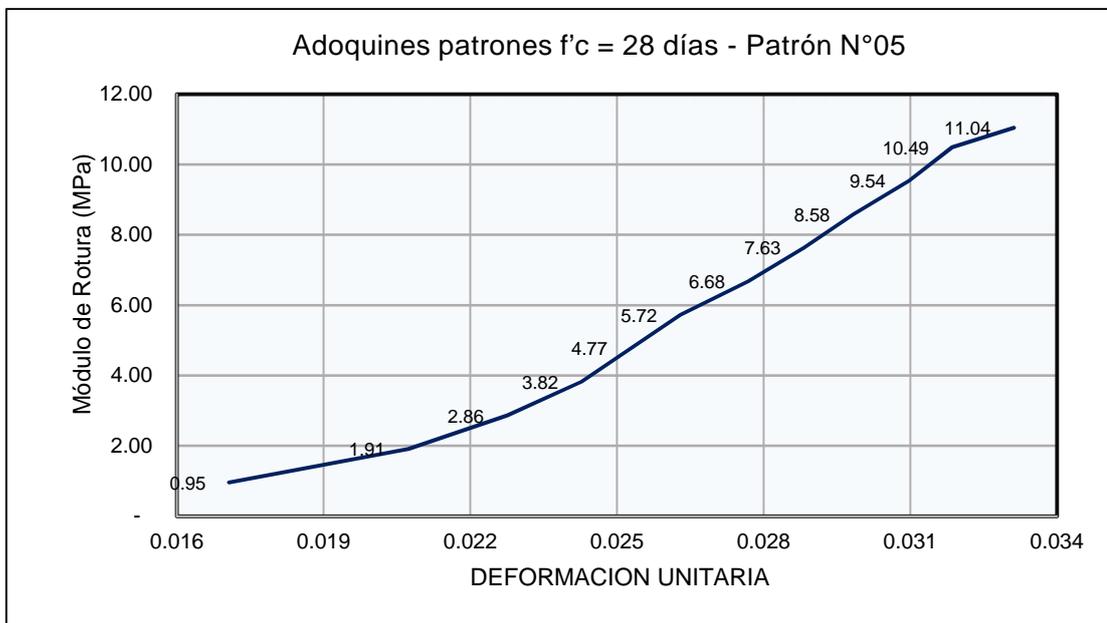
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	92.57
Módulo de Rotura (Mpa)	9.08



ANEXO N° 35: Adoquines patrones f'c = 28 días - Patrón N°05

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	1.35	9.726	0.95	0.017
1000	1.64	19.452	1.91	0.021
1500	1.80	29.177	2.86	0.023
2000	1.92	38.903	3.82	0.024
2500	2.00	48.629	4.77	0.025
3000	2.08	58.355	5.72	0.026
3500	2.19	68.080	6.68	0.028
4000	2.28	77.806	7.63	0.029
4500	2.36	87.532	8.58	0.030
5000	2.45	97.258	9.54	0.031
5500	2.52	106.984	10.49	0.032
5789	2.62	112.605	11.04	0.033

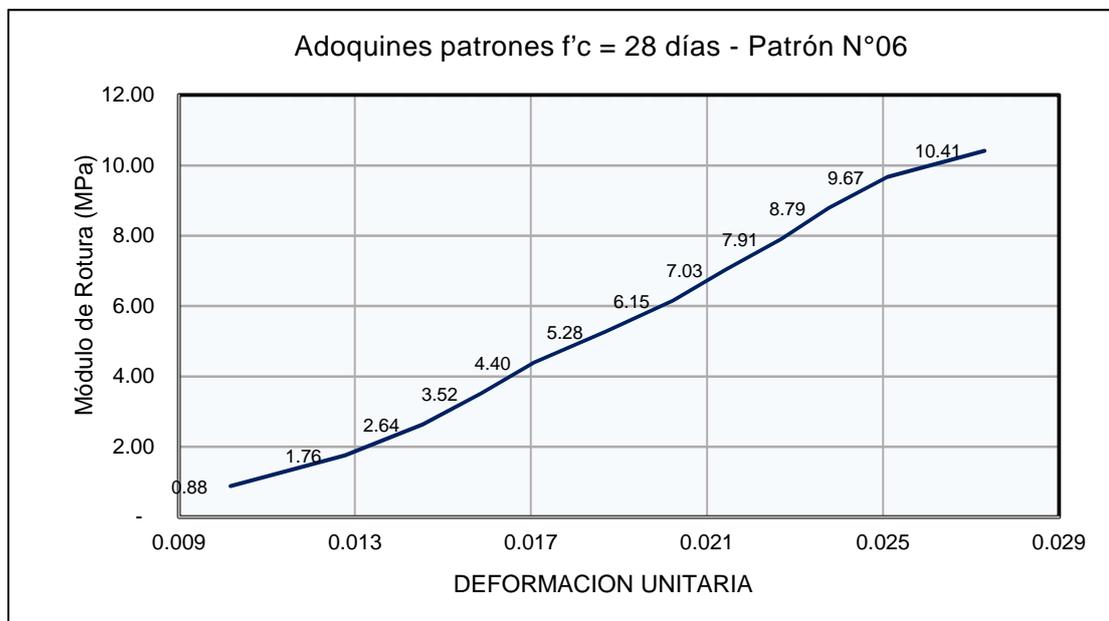
Módulo de Rotura (Kg/cm ²)	112.61
Módulo de Rotura (Mpa)	11.04



ANEXO N° 36: Adoquines patrones f'c = 28 días - Patrón N°06

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.81	8.965	0.88	0.010
1000	1.01	17.931	1.76	0.013
1500	1.15	26.896	2.64	0.015
2000	1.26	35.862	3.52	0.016
2500	1.35	44.827	4.40	0.017
3000	1.48	53.793	5.28	0.019
3500	1.60	62.758	6.15	0.020
4000	1.70	71.724	7.03	0.021
4500	1.80	80.689	7.91	0.023
5000	1.88	89.655	8.79	0.024
5500	1.99	98.620	9.67	0.025
5921	2.16	106.169	10.41	0.027

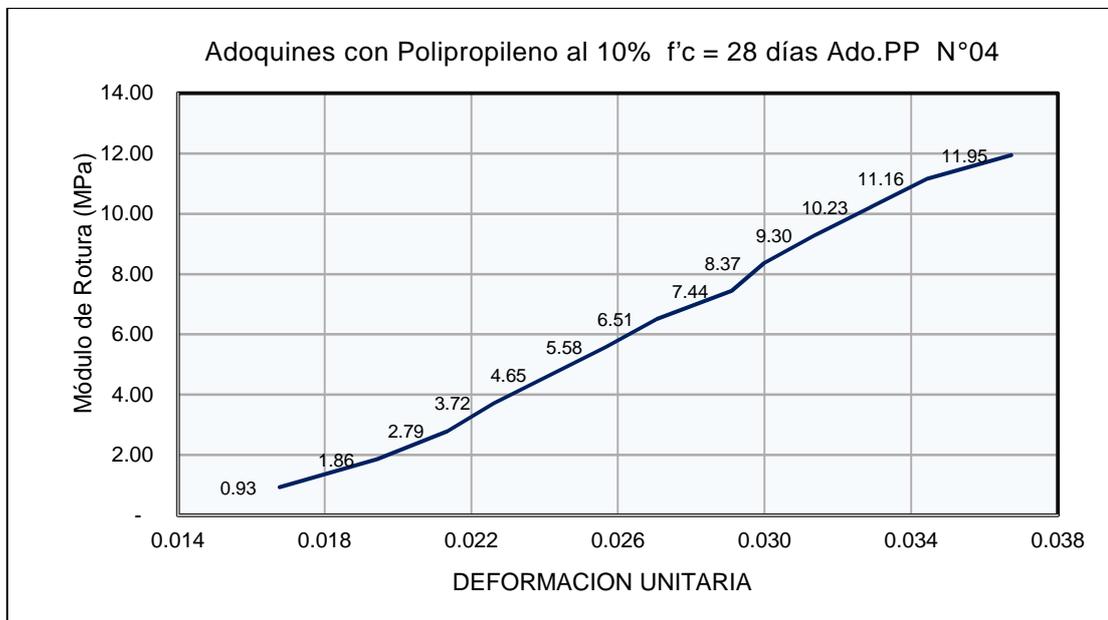
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	106.17
Módulo de Rotura (Mpa)	10.41



ANEXO N° 37: Adoquines con Polipropileno al 10% f'c = 28 días Ado.PP N°04

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	1.32	9.484	0.93	0.017
1000	1.53	18.967	1.86	0.019
1500	1.68	28.451	2.79	0.021
2000	1.78	37.934	3.72	0.023
2500	1.9	47.418	4.65	0.024
3000	2.02	56.901	5.58	0.026
3500	2.13	66.385	6.51	0.027
4000	2.29	75.868	7.44	0.029
4500	2.36	85.352	8.37	0.030
5000	2.47	94.835	9.30	0.031
5500	2.59	104.319	10.23	0.033
6000	2.71	113.802	11.16	0.034
6423	2.89	121.825	11.95	0.037

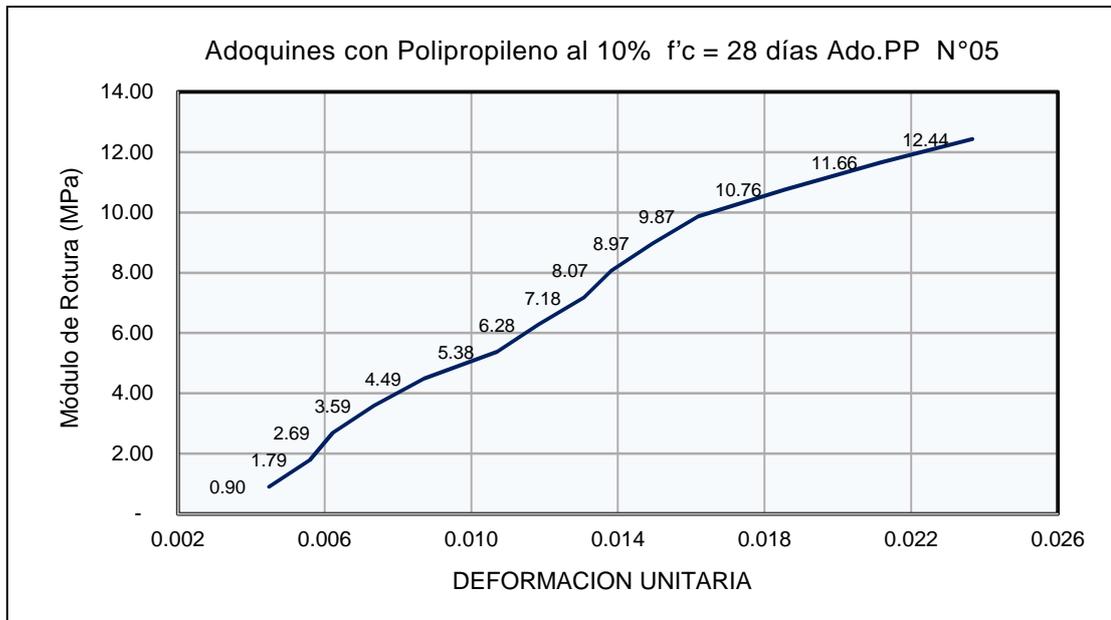
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	121.83
Módulo de Rotura (Mpa)	11.95



ANEXO N° 38: Adoquines con Polipropileno al 10% $f'c = 28$ días Ado.PP N°05

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.36	9.147	0.90	0.004
1000	0.45	18.294	1.79	0.006
1500	0.50	27.441	2.69	0.006
2000	0.59	36.589	3.59	0.007
2500	0.70	45.736	4.49	0.009
3000	0.86	54.883	5.38	0.011
3500	0.95	64.030	6.28	0.012
4000	1.05	73.177	7.18	0.013
4500	1.11	82.324	8.07	0.014
5000	1.20	91.472	8.97	0.015
5500	1.30	100.619	9.87	0.016
6000	1.49	109.766	10.76	0.019
6500	1.70	118.913	11.66	0.021
6932	1.90	126.816	12.44	0.024

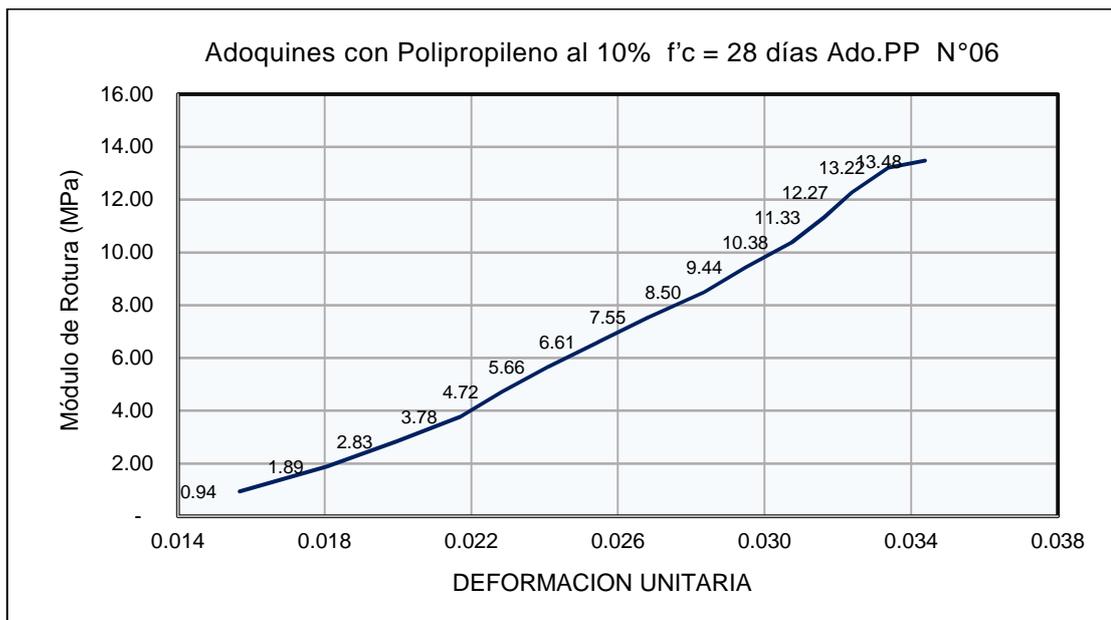
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	126.82
Módulo de Rotura (Mpa)	12.44



ANEXO N° 39: Adoquines con Polipropileno al 10% f'c = 28 días Ado.PP N°06

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	1.25	9.627	0.94	0.016
1000	1.44	19.253	1.89	0.018
1500	1.59	28.880	2.83	0.020
2000	1.73	38.507	3.78	0.022
2500	1.82	48.133	4.72	0.023
3000	1.92	57.760	5.66	0.024
3500	2.03	67.387	6.61	0.025
4000	2.14	77.013	7.55	0.027
4500	2.26	86.640	8.50	0.028
5000	2.35	96.266	9.44	0.029
5500	2.45	105.893	10.38	0.031
6000	2.52	115.520	11.33	0.032
6500	2.58	125.146	12.27	0.032
7000	2.66	134.773	13.22	0.033
7138	2.74	137.430	13.48	0.034

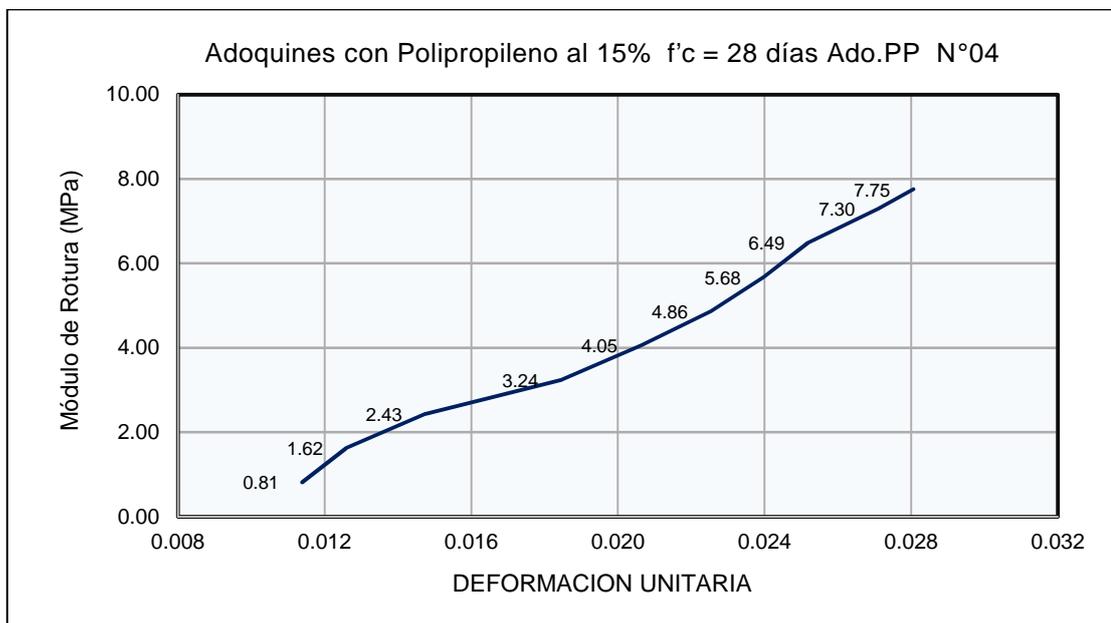
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	137.43
Módulo de Rotura (Mpa)	13.48



ANEXO N° 40: Adoquines con Polipropileno al 15% f'c = 28 días Ado.PP N°04

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.95	8.268	0.81	0.011
1000	1.05	16.536	1.62	0.013
1500	1.23	24.804	2.43	0.015
2000	1.54	33.073	3.24	0.018
2500	1.72	41.341	4.05	0.021
3000	1.88	49.609	4.86	0.023
3500	2	57.877	5.68	0.024
4000	2.1	66.145	6.49	0.025
4500	2.26	74.413	7.30	0.027
4782	2.34	79.077	7.75	0.028

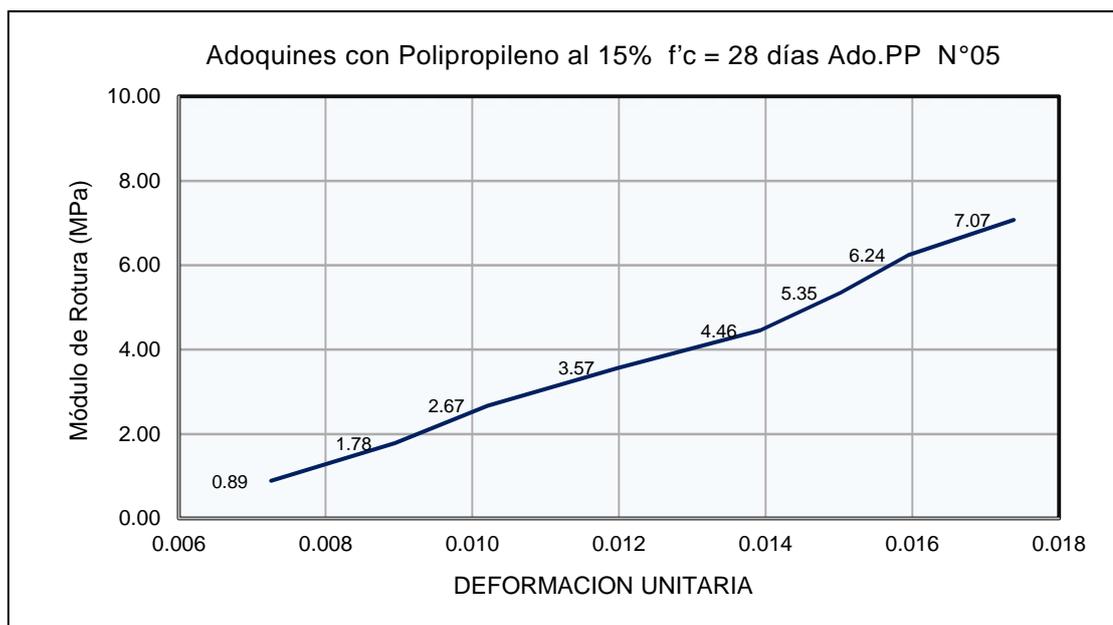
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	79.08
Módulo de Rotura (Mpa)	7.75



ANEXO N° 41: Adoquines con Polipropileno al 15% f'c = 28 días Ado.PP N°05

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.86	9.091	0.89	0.007
1000	1.06	18.183	1.78	0.009
1500	1.21	27.274	2.67	0.010
2000	1.42	36.365	3.57	0.012
2500	1.65	45.456	4.46	0.014
3000	1.78	54.548	5.35	0.015
3500	1.89	63.639	6.24	0.016
3967	2.06	72.130	7.07	0.017

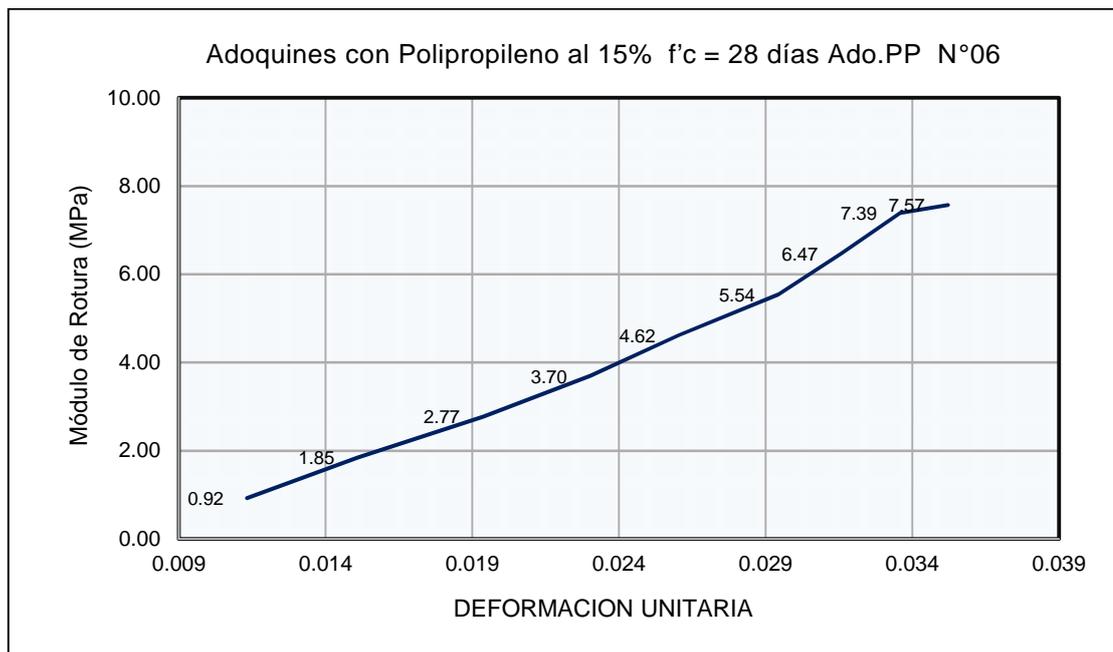
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	72,13
Módulo de Rotura (Mpa)	7..07



ANEXO N° 42: Adoquines con Polipropileno al 15% f'c = 28 días Ado.PP N°06

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.90	9.423	0.92	0.011
1000	1.20	18.846	1.85	0.015
1500	1.54	28.269	2.77	0.019
2000	1.83	37.692	3.70	0.023
2500	2.07	47.115	4.62	0.026
3000	2.34	56.538	5.54	0.029
3500	2.51	65.961	6.47	0.032
4000	2.67	75.384	7.39	0.034
4098	2.80	77.231	7.57	0.035

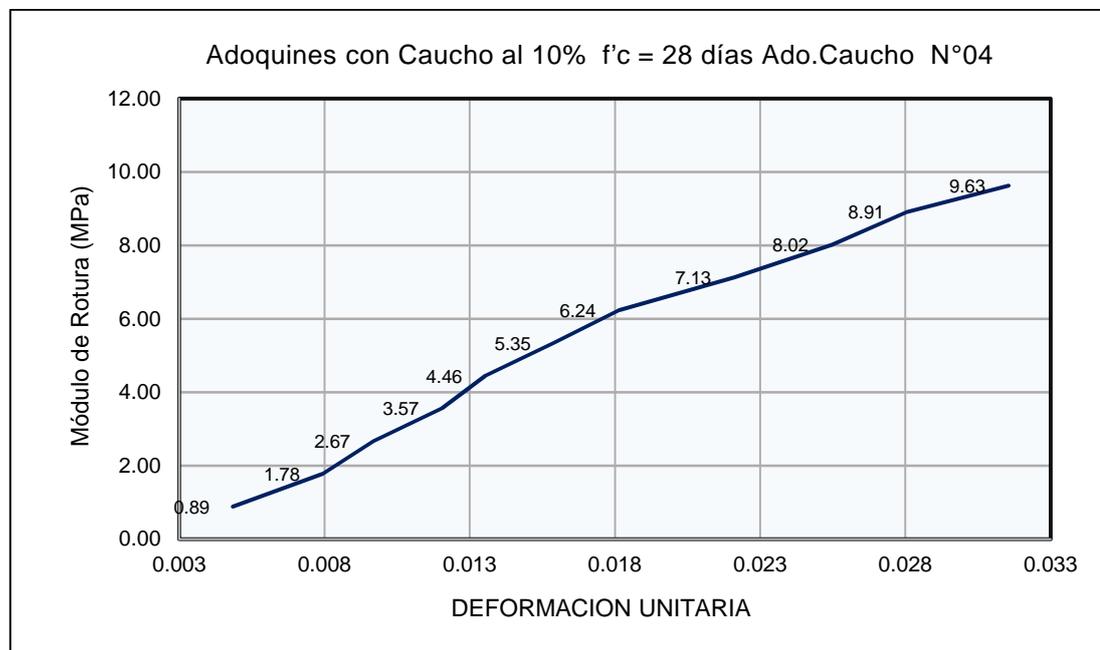
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	77.23
Módulo de Rotura (Mpa)	7.57



ANEXO N° 43: Adoquines con Caucho al 10% f'c = 28 días Ado.Caucho N°04

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.39	9.089	0.89	0.005
1000	0.64	18.178	1.78	0.008
1500	0.78	27.267	2.67	0.010
2000	0.97	36.357	3.57	0.012
2500	1.09	45.446	4.46	0.014
3000	1.28	54.535	5.35	0.016
3500	1.46	63.624	6.24	0.018
4000	1.78	72.713	7.13	0.022
4500	2.05	81.802	8.02	0.025
5000	2.26	90.892	8.91	0.028
5402	2.54	98.199	9.63	0.032

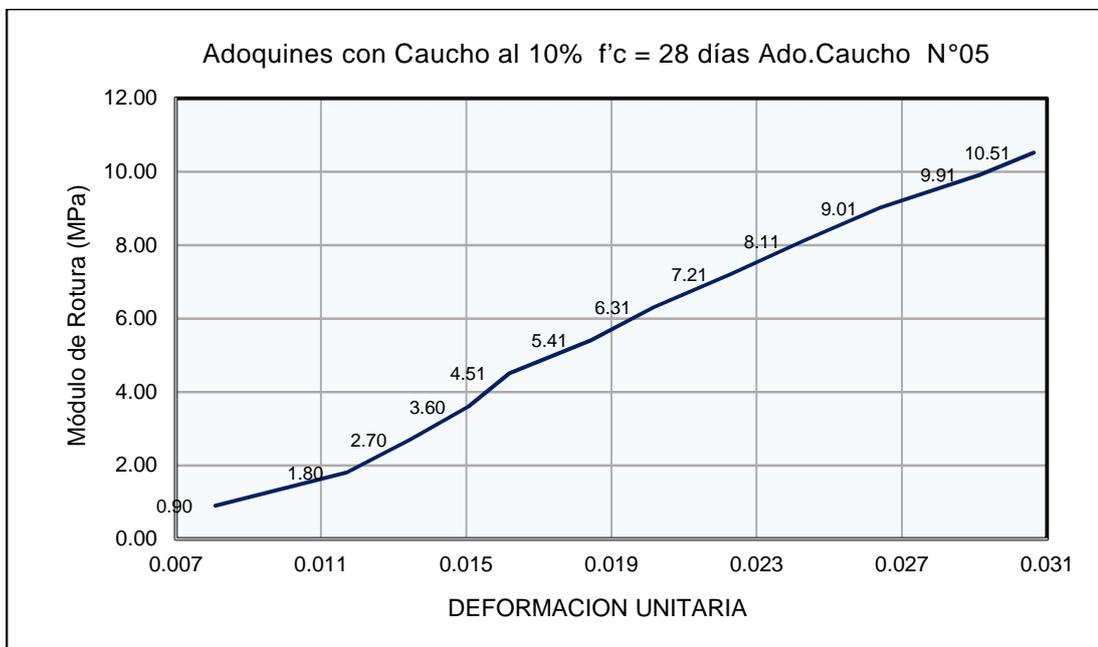
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	98.20
Módulo de Rotura (Mpa)	9.63



ANEXO N° 44: Adoquines con Caucho al 10% f'c = 28 días Ado.Caucho N°05

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.65	9.188	0.90	0.008
1000	0.94	18.377	1.80	0.012
1500	1.08	27.565	2.70	0.013
2000	1.21	36.754	3.60	0.015
2500	1.3	45.942	4.51	0.016
3000	1.48	55.131	5.41	0.018
3500	1.62	64.319	6.31	0.020
4000	1.79	73.508	7.21	0.022
4500	1.95	82.696	8.11	0.024
5000	2.12	91.885	9.01	0.026
5500	2.34	101.073	9.91	0.029
5834	2.46	107.211	10.51	0.031

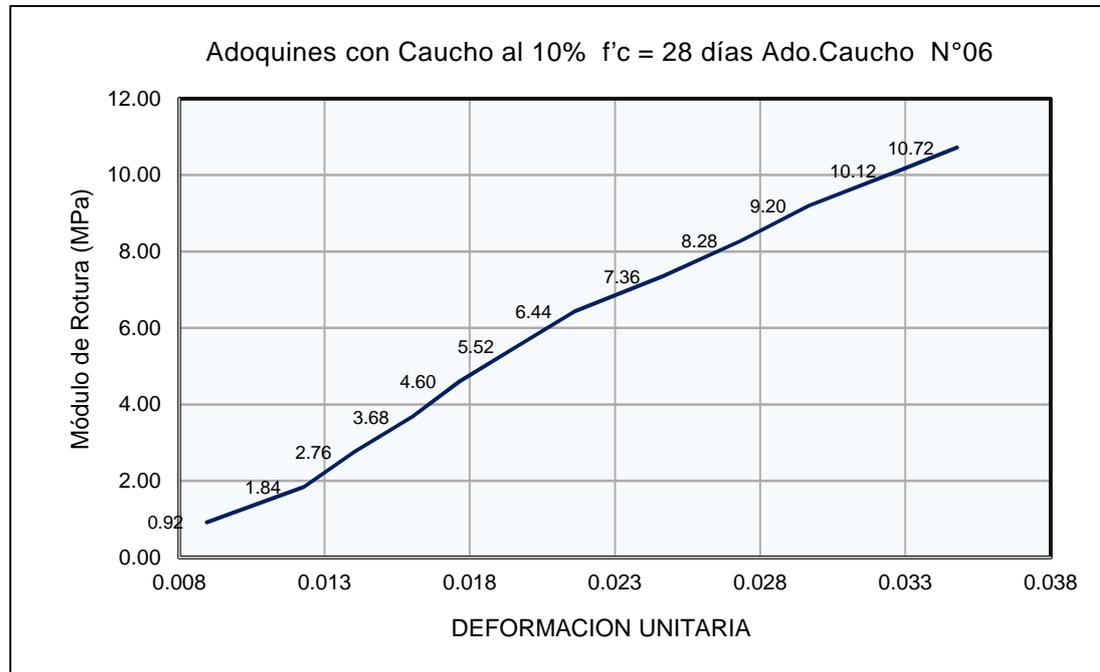
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	107.21
Módulo de Rotura (Mpa)	10.51



ANEXO N° 45: Adoquines con Caucho al 10% f'c = 28 días Ado.Caucho N°06

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.72	9.378	0.92	0.009
1000	0.99	18.757	1.84	0.012
1500	1.13	28.135	2.76	0.014
2000	1.29	37.514	3.68	0.016
2500	1.42	46.892	4.60	0.018
3000	1.58	56.271	5.52	0.020
3500	1.74	65.649	6.44	0.022
4000	1.99	75.027	7.36	0.025
4500	2.20	84.406	8.28	0.027
5000	2.39	93.784	9.20	0.030
5500	2.64	103.163	10.12	0.033
5830	2.80	109.353	10.72	0.035

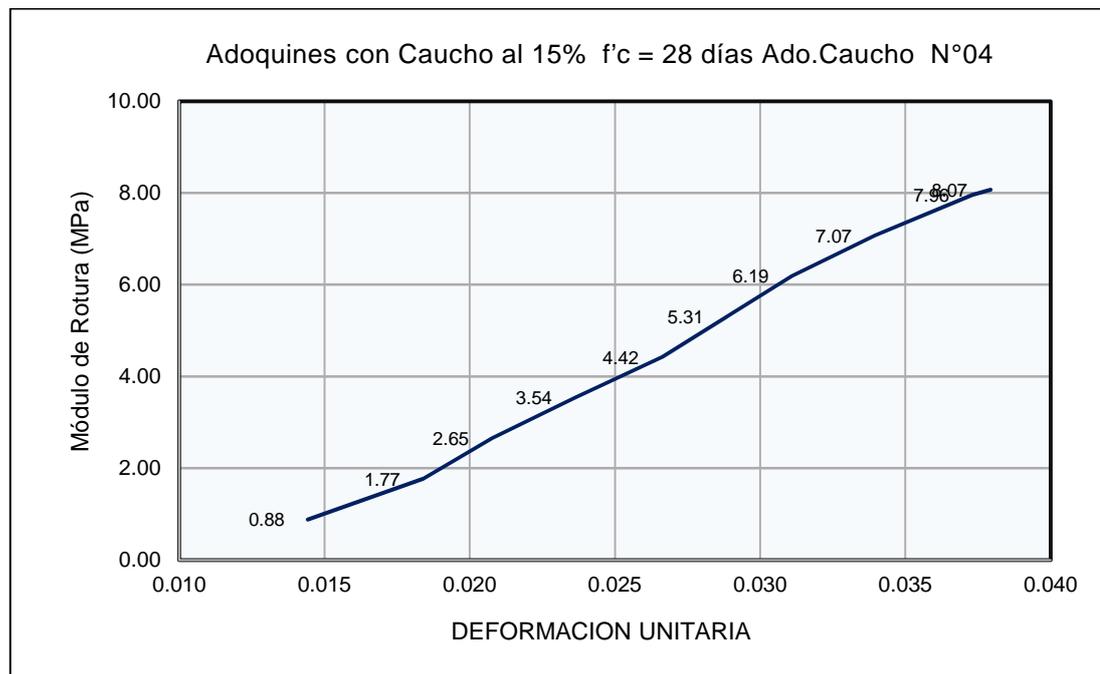
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	109.35
Módulo de Rotura (Mpa)	10.72



ANEXO N° 46: Adoquines con Caucho al 15% f'c = 28 días Ado.Caucho N°04

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	1.16	9.017	0.88	0.014
1000	1.48	18.033	1.77	0.018
1500	1.67	27.050	2.65	0.021
2000	1.90	36.066	3.54	0.024
2500	2.14	45.083	4.42	0.027
3000	2.32	54.099	5.31	0.029
3500	2.50	63.116	6.19	0.031
4000	2.73	72.132	7.07	0.034
4500	3.00	81.149	7.96	0.037
4564	3.05	82.303	8.07	0.038

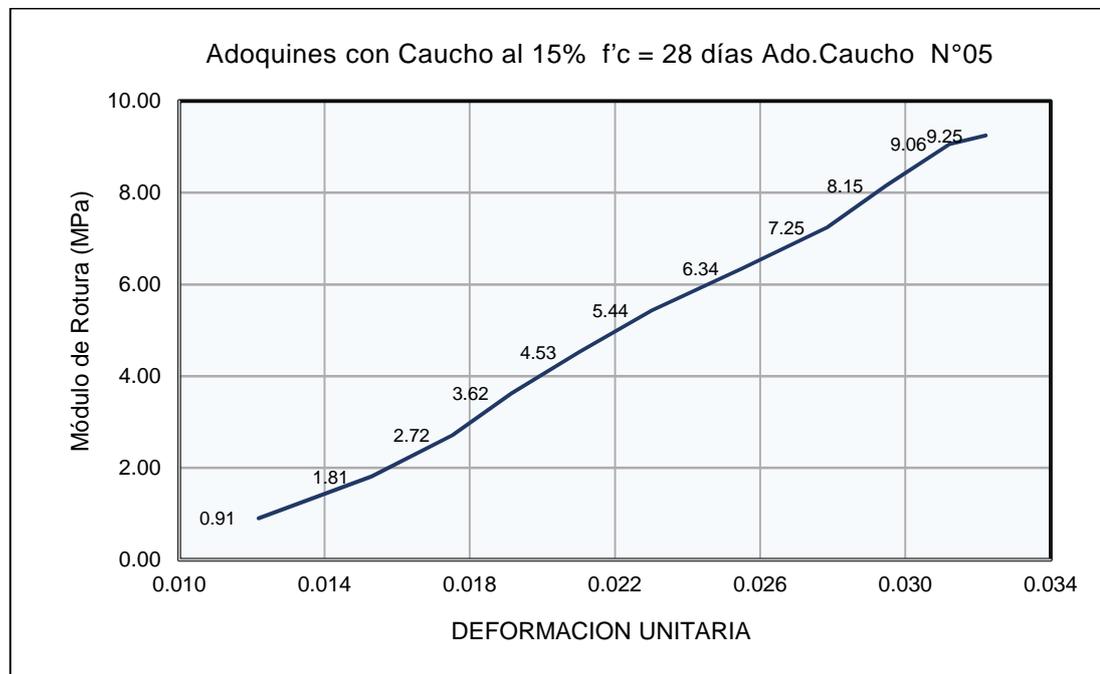
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	82.30
Módulo de Rotura (Mpa)	8.07



ANEXO N° 47: Adoquines con Caucho al 15% f'c = 28 días Ado.Caucho N°05

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	0.98	9.239	0.91	0.012
1000	1.23	18.478	1.81	0.015
1500	1.41	27.717	2.72	0.018
2000	1.54	36.956	3.62	0.019
2500	1.69	46.195	4.53	0.021
3000	1.85	55.434	5.44	0.023
3500	2.05	64.673	6.34	0.025
4000	2.24	73.912	7.25	0.028
4500	2.37	83.151	8.15	0.029
5000	2.51	92.390	9.06	0.031
5102	2.59	94.275	9.25	0.032

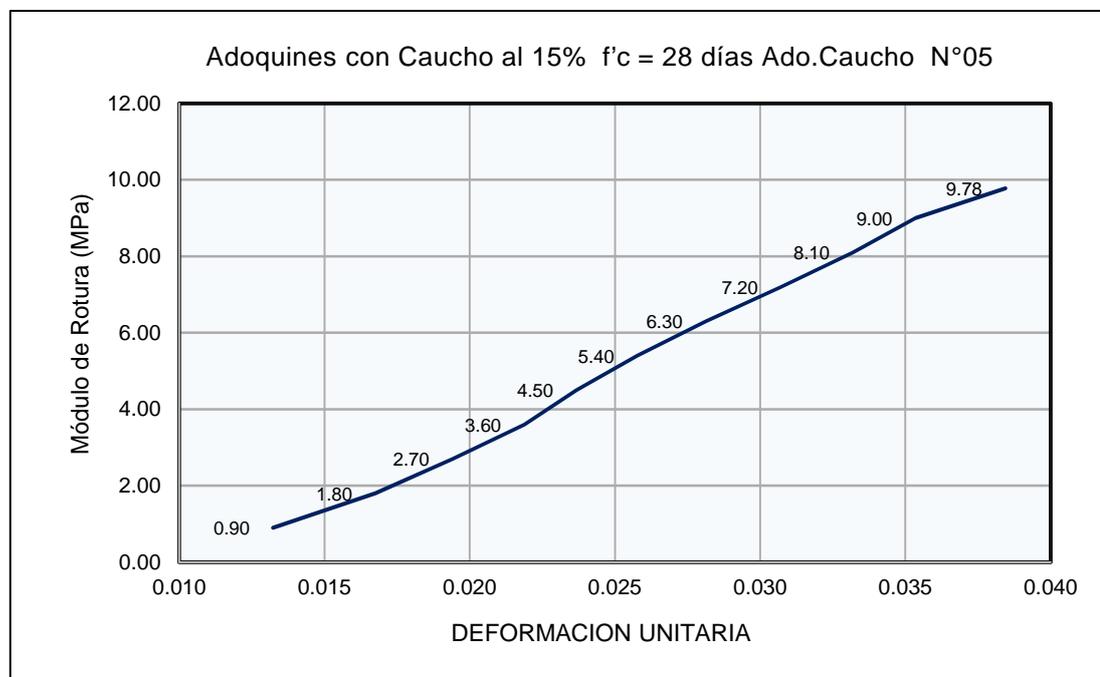
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	94.27
Módulo de Rotura (Mpa)	9.25



ANEXO N° 48: Adoquines con Caucho al 15% f'c = 28 días Ado.Caucho N°06

CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	Módulo de Rotura Kg/cm ²	Módulo de Rotura Mpa	DEFORMACION UNITARIA
500	1.07	9.177	0.90	0.013
1000	1.36	18.353	1.80	0.017
1500	1.57	27.530	2.70	0.019
2000	1.77	36.707	3.60	0.022
2500	1.92	45.884	4.50	0.024
3000	2.09	55.060	5.40	0.026
3500	2.28	64.237	6.30	0.028
4000	2.49	73.414	7.20	0.031
4500	2.69	82.590	8.10	0.033
5000	2.86	91.767	9.00	0.035
5432	3.11	99.696	9.78	0.038

Módulo de Rotura (Kg/cm²)	99.70
Módulo de Rotura (Mpa)	9.78



ANEXO N° 49 ENSAYO DE ABSORCIÓN

Ensayo	Muestra	Peso (gr.)	Peso Saturado (gr.)	Peso Seco (gr.)	Absorción %	Promedio Abs. %
Adoquín Patrón						
Absorción	Patrón N°07	3662.00	3898.25	3657.98	6.57	5.38
	Patrón N°08	3703.88	3872.23	3699.80	4.66	
	Patrón N°09	3675.46	3851.89	3671.42	4.92	
10%						
Absorción	Ado. PP N°07	3732.50	3837.23	3728.39	2.92	2.78
	Ado. PP N°08	3593.80	3691.42	3589.85	2.83	
	Ado. PP N°09	3625.70	3715.31	3621.71	2.58	
15%						
Absorción	Ado. PP N°07	4010.9	4060.22	4006.49	1.34	1.24
	Ado. PP N°08	3709.6	3753.01	3705.52	1.28	
	Ado. PP N°09	3733.3	3770.23	3729.19	1.10	
10%						
Absorción	Ado. Caucho N°07	3,860.15	3974.23	3855.90	3.07	3.25
	Ado. Caucho N°08	3,721.35	3834.53	3717.26	3.15	
	Ado. Caucho N°09	3,733.20	3860.21	3729.09	3.52	
15%						
Absorción	Ado. Caucho N°07	3790.75	3863.17	3786.58	2.02	2.29
	Ado. Caucho N°08	3727.275	3803.87	3723.17	2.17	
	Ado. Caucho N°09	3766.64615	3863.2	3762.50	2.68	