



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL ADOQUÍN 6
TIPO II, REEMPLAZANDO EL AGREGADO FINO POR CAUCHO RECICLADO,
CUSCO 2019.**

Presentado por el Bachiller:

Marin Quispe Cesar

Para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mgt. Ing. Jorge Álvarez Espinoza

CUSCO – PERÚ

2020



Dedicatoria

A Dios

Por la oportunidad de vivir, por brindarme sabiduría y permitirme alcanzar mis objetivos. A la virgen María, a santa tierra Pachamama, a los Apus sagrados a los santos y santas de Dios, a las almas benditas recordadas y no recordadas. Por darnos el amor infinito cada día, por brindarme salud por guiar nuestras vidas.

A mi madre Florencia Quispe Chambi

Por su amor y apoyo infinito en todo momento. Gracias a sus enseñanzas par con todos tus hijos, eres el motor y motivo que inspira nuestras vidas, tu fortaleza nos ayuda a seguir adelante, tu perseverancia nos motiva cada día, tus buenos deseos nos ayudan a cumplir nuestros objetivos mamá, gracias.

A mi padre German Marín Centeno

Por formar nuestras vidas lo mejor que pudiste padre, por mostrarnos el camino a seguir y más que todo por enseñarnos a dar lo mejor de nosotros siempre, por tus enseñanzas las cuales tenemos siempre presente gracias padre.

A mi familia

Porque me enseñaron a ser perseverante y que los buenos deseos y consejos que ayudan mucho. Porque siempre estuvieron en cada momento en los que necesite de su apoyo.

A Edith

Porque compartes esta experiencia, con tu apoyo y comprensión, por tu amor que cada día une y acompaña nuestras vidas.

A Alexander y Yesica, grandes amigos que con su experiencia de vida motivan a seguir adelante siempre con buen humor, alegría y sabiduría. Gracias por su apoyo y consejos motivadores.



Agradecimientos

Agradezco a Dios, a la virgen Maria, a santa tierra pachamama, a los apus sagrados a los santos y santas de Dios, a las almas benditas recordadas y no recordadas, por brindarme sabiduría para alcanzar mis objetivos, por brindarme salud para cumplir cada objetivo, por haberme guiado en esta vida llena de experiencias y aprendizajes.

Agradezco a mis padres Florencia y German, por sus enseñanzas y valores que me han inculcado. Gracias a ustedes tuve la oportunidad de estudiar y entender mejor la vida.

A mi familia por el apoyo constante, sus buenos deseos y consejos que ayudan mucho. Gracias porque siempre estuvieron en cada momento en los que necesite de su apoyo. Gracias a todos.

A Edith por su alegría, su apoyo y comprensión, por su amor que cada día une y acompaña nuestras vidas, gracias compartir estas experiencias juntos.

A Alexander y Yesica, gracias por su apoyo y consejos motivadores, que con su experiencia de vida motivan a seguir adelante siempre con buen humor, alegría y sabiduría.

A mi asesor de tesis Mgt. Ing. Jorge Álvarez Espinoza, mi agradecimiento y admiración por su apoyo constante en todo el desarrollo de la presente tesis, quien con su experiencia y conocimientos me permitió culminar satisfactoriamente la presente tesis.

A la Universidad Andina del Cusco, mi agradecimiento por darme la oportunidad de estudiar y formarme como profesional en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

A cada persona que ayudo en la realización de la presente tesis, gracias a todos.



Resumen

El objetivo fundamental de la presente investigación es evaluar las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 Tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado en porcentajes de 3, 6 y 9%, con un diseño de investigación cuasiexperimental. Para ello se conformó una población y muestra, ambos de 96 unidades de adoquines para la evaluación de la resistencia a compresión, resistencia a flexión, tolerancia dimensional, densidad y absorción, la selección de la muestra se realizó en base a las normas técnicas NTP 399.604 y NTG 41086. La investigación se desarrolló en la Universidad Andina del Cusco ubicado en el distrito de San Jerónimo, provincia y departamento del Cusco. Los procedimientos realizados se iniciaron seleccionando los materiales como caucho reciclado fino proveniente de neumáticos fuera de uso, adquirido en la reencauchadora Choque ubicada en el distrito de Huasao, se seleccionó también a los agregados, para ello se mezcló agregados que cumplan los requerimientos técnicos como la granulometría. Para el agregado fino se mezcló 30% de confitillo de la cantera de Vicho con 70% de arena fina de la cantera de Pisac; asimismo para el agregado grueso se mezcló 34% de confitillo de la cantera de Vicho con 66% de agregado grueso de la cantera de Vicho con tamaño máximo nominal de 3/8", cemento industrial Yura HE de ultra resistencia inicial, aditivo SikaCem en dosis para superplastificante. Respecto al diseño de mezcla por el método del ACI 211. Asimismo, los instrumentos que se utilizaron corresponden a las normas técnicas como NTP 399.611, NTG 41087 h1, Manual de ensayo de materiales del MTC. La evaluación de los adoquines se planteó para los 7 y 28 días, obteniéndose las siguientes conclusiones: La resistencia a compresión de los grupos de adoquines (patrón, con 3%, 6% y 9% de caucho) demostraron el cumplimiento de la hipótesis planteada con respecto a la NTP 399.611. En cuanto a los adoquines con caucho el que mejor resultado presento es el grupo de 3% de caucho con 529.27 kg/cm² promedio, la resistencia a la flexión de los adoquines obtuvieron resultados favorables con referencia a los valores establecidos en la NTG 41086, en la tolerancia dimensional se obtuvo variación en las dimensiones dentro del rango especificado, respecto a la absorción se obtuvo resultados óptimos con relación a la NTP 399.611, respecto a la densidad el grupo que mayor densidad presento es del 6% de caucho. Por lo tanto, la utilización del caucho reciclado fino en porcentajes de 3, 6 y 9% permitió la obtención de resultados favorables.

Palabras clave: Adoquín, caucho reciclado, propiedades físico - mecánicas.



Abstract

The main objective of the present investigation is to evaluate the physico-mechanical properties of Type II cobblestone 6, replacing the fine aggregate with recycled rubber in percentages of 3, 6 and 9%, with a quasi-experimental research design. For this, a population and sample were formed, both of 96 units of paving stones for the evaluation of compressive strength, flexural strength, dimensional tolerance, density and absorption, the selection of the sample was made based on the technical standards NTP 399.604 and NTG 41086. The research was developed at the Andean University of Cusco located in the district of San Jerónimo, province and department of Cusco. The procedures carried out began by selecting the materials such as fine recycled rubber from end-of-life tires, acquired at the Choque retreading machine located in the Huasao district, the aggregates were also selected, for this, aggregates that meet technical requirements such as granulometry. For the fine aggregate, 30% of confitillo from the Vicho quarry was mixed with 70% of fine sand from the Pisac quarry; Likewise, for the coarse aggregate, 34% of confitillo from the Vicho quarry was mixed with 66% of coarse aggregate from the Vicho quarry with a nominal maximum size of 3/8", Yura HE industrial cement of ultra-initial resistance, SikaCem additive in doses for superplasticizer. Regarding the design of the mixture using the ACI 211 method. Likewise, the instruments used correspond to technical standards such as NTP 399.611, NTG 41087 h1, MTC Materials Testing Manual. The evaluation of the cobblestones was proposed for 7 and 28 days, obtaining the following conclusions: The compressive strength of the groups of cobblestones (pattern, with 3%, 6% and 9% rubber) demonstrated compliance with the hypothesis raised with respect to NTP 399.611. Regarding the paving stones with rubber, the one that presented the best result is the group of 3% rubber with 529.27 kg / cm² average, the flexural strength of the paving stones obtained favorable results with reference to the values established in the NTG 41086, in the dimensional tolerance was obtained variation in the dimensions within the specified range, regarding the absorption optimal results were obtained in relation to the NTP 399.611, regarding the density the group with the highest density is 6% rubber. Therefore, the use of fine recycled rubber in percentages of 3, 6 and 9% allowed obtaining favorable results.

Keywords: Paving stone, recycled rubber, physical-mechanical properties.



Introducción

Cada año cerca de 1000 millones de neumáticos en el mundo alcanzan el final de su vida útil, (Chavez More, 2018), afectando al medio ambiente más aun debido a que cada año van en aumento. Los adoquines de concreto son importantes en el desarrollo de las ciudades en proceso de crecimiento; por lo tanto, las propiedades físico - mecánicas de los adoquines de concreto son importantes también para la elaboración de adoquines que cumplan con las Normas Técnicas Peruanas, debido a que en la mayoría de casos los adoquines se elaboran con escasas especificaciones técnicas. Por lo tanto, el motivo de la presente investigación se basa en mejorar las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, utilizando caucho reciclado fino en reemplazo del agregado fino en porcentajes del 3, 6 y 9% de caucho.

La elaboración de la presente investigación, seleccionó a los materiales como el caucho reciclado producto de neumáticos en desuso, agregados fino y grueso que cumplan las normas técnicas especificadas. Respecto a los adoquines se seleccionó una muestra de 96 unidades para la evaluación de la resistencia a compresión, resistencia a flexión, tolerancia dimensional, densidad y absorción. Los adoquines elaborados se evaluaron a la edad de 7 y 28 días en base a las normas técnicas NTP 399.604, NTP 399.611 y NTG 41086. Respecto a la evaluación de los adoquines, en los ensayos mostraron comportamientos favorables en la utilización de caucho reciclado fino en porcentajes menores tales como 3, 6 y 9%, lo que permitio que las propiedades físico - mecánicas sean afectadas mínimamente respecto al adoquin patrón.

La utilización del caucho reciclado fino es importante para el medio ambiente, la sociedad y el campo de la ingeniería Civil, porque permite contribuir sustancialmente a la reducción de los neumáticos en desuso, asimismo hace posible generar oportunidades laborales en el uso del caucho reciclado como agregado para el concreto, también proporciona y amplía el universo de materiales de construcción a utilizar más aún si se conocen los porcentajes óptimos a utilizar en el concreto como agregado, lo que permitirá su uso eficiente y por consiguiente la producción de elementos de concreto como es en el presente caso del adoquín 6 tipo II con reemplazo de caucho reciclado fino.



Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	vi
Capítulo I: Planteamiento del problema	1
1.1 Identificación del problema.....	1
1.1.1 Descripción del problema.....	1
1.1.2 Formulación interrogativa del problema	2
1.2 Justificación e importancia de la investigación	3
1.2.1 Justificación técnica.....	3
1.2.2 Justificación social.....	3
1.2.3 Justificación por viabilidad.....	3
1.2.4 Justificación por relevancia	4
1.3 Limitaciones de la investigación	4
1.3.1 Limitaciones geográficas	4
1.3.2 Limitaciones del adoquín.....	4
1.3.3 Limitaciones normativas para ensayos	4
1.3.4 Limitaciones de los materiales.....	5
1.3.5 Limitaciones de las herramientas.....	6
1.3.6 Limitaciones de diseño	6
1.4 Objetivo de la investigación	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
Capítulo II: Marco Teórico	8
2.1 Antecedentes de la tesis o investigación actual.....	8
2.1.1 Antecedentes a nivel nacional	8
2.1.2 Antecedentes a nivel internacional	10
2.2 Aspectos teóricos pertinentes	13
2.2.1 El adoquín.....	13
2.2.2 Clasificación de adoquines	14
2.2.3 Requisitos normativos para evaluación de adoquines	17
2.2.4 Ensayos a los adoquines de concreto.....	18
2.2.5 Pavimento articulado	21
2.2.6 Estructura de un pavimento de adoquín.....	21
2.2.7 Manejo de los adoquines	22



2.2.8	Ventajas de pavimentos articulados.....	23
2.2.9	Limitaciones de pavimentos de adoquines	24
2.2.10	El caucho	24
2.2.11	Cemento Portland	31
2.2.12	Agua.....	33
2.2.13	Agregados	34
2.2.14	Aditivos:	40
2.2.15	Concreto.....	41
2.2.16	Diseño de mezcla.....	45
2.2.17	Desviación estándar y coeficiente de variación en el concreto	51
2.3	Hipótesis.....	52
2.3.1	Hipótesis general	52
2.3.2	Sub hipótesis.....	52
2.4	Definición de variables.....	52
2.4.1	Variables independientes	52
2.4.2	Variables dependientes	53
2.4.3	Cuadro de operacionalización de variables	54
	Capítulo III: Metodología.....	55
3.1	Metodología de la investigación.....	55
3.1.1	Enfoque de la investigación.....	55
3.1.2	Nivel o alcance de la investigación	55
3.1.3	Método de investigación.....	55
3.2	Diseño de la investigación.....	56
3.2.1	Diseño metodológico	56
3.2.2	Diseño de ingeniería	57
3.3	Población y muestra	58
3.3.1	Población	58
3.3.2	Muestra	59
3.3.3	Criterios de inclusión.....	64
3.4	Instrumentos	65
3.4.1	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.....	65
3.4.2	Instrumentos de ingeniería.....	78
3.5	Procedimientos de recolección de datos.....	79
3.5.1	Ensayo de Malla N° 200 (MTC E 202.)	79
3.5.2	Ensayo de Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204.)	85
3.5.3	Ensayo de Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205.).....	95
3.5.4	Ensayo de Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206.)	99



3.5.5	Ensayo de Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E 203.)	103
3.5.6	Ensayo de Contenido de humedad (MTC E 215.)	109
3.5.7	Ensayo de Abrasión los Ángeles (MTC E 207.)	112
3.5.8	Vaceado de adoquines de concreto	116
3.5.9	Ensayo de tolerancia dimensional NTP 399.604 (2002)	120
3.5.10	Ensayo de Densidad NTP 399.604 (2002)	123
3.5.11	Ensayo de absorción NTP 399.604 (2002)	126
3.5.12	Ensayo de resistencia a la compresión NTP 399.604 (2002)	129
3.5.13	Ensayo de resistencia a la flexión NTG 41087 h1	134
3.6	Procedimientos de análisis de datos	138
3.6.1	Malla N° 200 (MTC E 202.)	138
3.6.2	Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204.)	140
3.6.3	Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205.)	147
3.6.4	Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206.)	148
3.6.5	Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E 203.)	150
3.6.6	Contenido de humedad (MTC E 215.)	153
3.6.7	Abrasión los Ángeles (MTC E 207.)	154
3.6.8	Diseño de mezcla por método ACI 211	155
3.6.9	Tolerancia dimensional NTP 399.604 (2002)	162
3.6.10	Densidad NTP 399.604 (2002)	167
3.6.11	Absorción NTP 399.604 (2002)	171
3.6.12	Resistencia a la compresión NTP 399.604 (2002)	176
3.6.13	Resistencia a la flexión NTG 41087 h1	195
3.6.14	Costo de adoquines de concreto por metro cúbico.	206
Capítulo IV: Resultados		207
4.1	Tolerancia dimensional NTP 399.604 (2002)	207
4.2	Densidad NTP 399.604 (2002)	209
4.3	Absorción NTP 399.604 (2002)	210
4.4	Resistencia a la compresión NTP 399.604 (2002)	212
4.5	Resistencia a la flexión NTG 41087 h1	218
Capítulo V: Discusión		221
Glosario		224
Conclusiones		225
Recomendaciones		228
Referencias		230
Anexos		232



Índice de Tablas

Tabla 1: Tolerancia dimensional	17
Tabla 2: Absorción	17
Tabla 3: Espesor nominal y resistencia a la compresión.....	18
Tabla 4: Resistencia mínima a flexión del adoquín	18
Tabla 5: Composición media en peso de un neumático de turismo y un neumático de camión	27
Tabla 6: Límites permisibles para el agua de mezcla y curado	33
Tabla 7: Granulometría del agregado fino	38
Tabla 8: Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	39
Tabla 9: Sustancias dañinas.....	39
Tabla 10: Resistencia mecánica	40
Tabla 11: Clases de mezclas según su asentamiento.....	42
Tabla 12: Factor de incremento por número de ensayos.....	46
Tabla 13: Resistencia a la compresión requerida por resistencia a la compresión especificada	47
Tabla 14: Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras.....	47
Tabla 15: Contenido de aire atrapado.....	48
Tabla 16: Volumen de agua.....	48
Tabla 17: Relación agua/cemento por resistencia	48
Tabla 18: Condiciones especiales de exposición	49
Tabla 19: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto	50
Tabla 20: Matriz de operacionalización de variables	54
Tabla 21: Cuantificación de población.....	58
Tabla 22: Cuantificación de la muestra.....	60
Tabla 23: Cuantificación de la muestra para ensayo de resistencia a compresión.....	61
Tabla 24: Cuantificación de la muestra para ensayo de resistencia a flexión	61
Tabla 25: Cuantificación de la muestra para ensayo de Tolerancia dimensional, densidad y absorción	61
Tabla 26: Normas técnicas para la evaluación del adoquín 6 tipo II	63
Tabla 27: Ficha para ensayo de Malla N° 200	65
Tabla 28: Ficha para granulometría de agregados finos.	66
Tabla 29: Ficha para granulometría de agregados gruesos	67
Tabla 30: Ficha para ensayo de peso unitario suelto y compactado de agregados	68



Tabla 31: Ficha para ensayo de Gravedad específica y absorción de agregados finos	69
Tabla 32: Ficha para ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos	70
Tabla 33: Ficha para ensayo de Abrasión los ángeles	71
Tabla 34: Ficha para ensayo de Contenido de humedad	72
Tabla 35: Ficha para ensayo de tolerancia dimensional	73
Tabla 36: Ficha para ensayo de densidad de adoquines	74
Tabla 37: Ficha para ensayo de absorción de adoquines	75
Tabla 38: Ficha para ensayo de resistencia a la compresión de adoquines	76
Tabla 39: Ficha para ensayo de resistencia a la flexión de adoquines	77
Tabla 40: Datos de malla N° 200 de los agregados de Pisac y Vicho	82
Tabla 41: Datos de malla N° 200 del agregado de Vicho TMN 3/8”	83
Tabla 42: Datos de malla N° 200 de los agregados mezclados: Fino y grueso	84
Tabla 43: Datos de granulometría de arena fina de Pisac	89
Tabla 44: Datos de granulometría de confitillo de Vicho	90
Tabla 45: Datos de granulometría de Caucho reciclado fino	91
Tabla 46: Datos de granulometría de Agregado grueso de Vicho TMN 3/8”	92
Tabla 47: Datos de granulometría de agregado fino mezcla	93
Tabla 48: Datos de granulometría de agregado grueso mezcla	94
Tabla 49: Datos de ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos	98
Tabla 50: Datos de ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos	102
Tabla 51: Datos de peso unitario suelto y compactado de agregado fino	107
Tabla 52: Datos de peso unitario suelto y compactado de agregado grueso	108
Tabla 53: Datos de ensayo de ensayo de contenido de humedad de agregados fino y grueso	111
Tabla 54: Datos de ensayo de abrasión los Ángeles del agregado grueso	115
Tabla 55: Datos de ensayo de tolerancia dimensional de adoquines	122
Tabla 56: Datos de ensayo de Densidad de adoquines	125
Tabla 57: Datos de ensayo de absorción de adoquines	128
Tabla 58: Datos de ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a los 7 días	132
Tabla 59: Datos de ensayo de resistencia a la compresión de adoquines a los 28 días	133
Tabla 60: Datos de ensayo de resistencia a la flexión de adoquines	137
Tabla 61: Porcentaje que pasa la malla N°200 de la arena fina de Pisac	138
Tabla 62: Porcentaje que pasa la malla N°200 de confitillo de Vicho	138
Tabla 63: Porcentaje que pasa la malla N°200 del agregado grueso de Vicho TMN 3/8”	139



Tabla 64: Porcentaje que pasa la malla N°200 del agregado fino.....	139
Tabla 65: Porcentaje que pasa la malla N°200 del agregado grueso	139
Tabla 66: Granulometría de arena fina de Pisac	140
Tabla 67: Granulometría de arena confitillo de Vicho.....	141
Tabla 68: Granulometría de agregado fino.....	141
Tabla 69: Granulometría de caucho reciclado fino	142
Tabla 70: Granulometría de agregado grueso de Vicho TMN 3/8”	142
Tabla 71: Granulometría de agregado grueso	143
Tabla 72: Peso específico de agregado fino	148
Tabla 73: Peso específico de agregado grueso	149
Tabla 74: Peso unitario suelto y vacíos de agregado fino	151
Tabla 75: Peso unitario compactado y vacíos de agregado fino	151
Tabla 76: Peso unitario suelto y vacíos de agregado grueso	152
Tabla 77: Peso unitario compactado y vacíos de agregado grueso	152
Tabla 78: Porcentaje de humedad de agregado fino.....	153
Tabla 79: Porcentaje de humedad de agregado grueso	153
Tabla 80: Abrasión los Ángeles de agregado grueso	154
Tabla 81: Resumen de ensayos a agregados	155
Tabla 82: Resumen de ensayos a agregados para diseño de mezcla	156
Tabla 83: Volúmenes absolutos de los materiales sin considerar el agregado fino	159
Tabla 84: Presentación del diseño en estado seco.....	159
Tabla 85: Presentación del diseño corregido.....	160
Tabla 86: Proporciones de diseño de mezcla patrón	160
Tabla 87: Proporciones de diseño de mezcla con caucho en 3%	161
Tabla 88: Proporciones de diseño de mezcla con caucho en 6%	161
Tabla 89: Proporciones de diseño de mezcla con caucho en 9%	162
Tabla 90: Tolerancia dimensional de adoquín patrón	163
Tabla 91: Tolerancia dimensional de adoquín con 3% de caucho	163
Tabla 92: Tolerancia dimensional de adoquín con 6% de caucho	164
Tabla 93: Tolerancia dimensional de adoquín con 9% de caucho	164
Tabla 94: Densidad de adoquines con patrón.....	167
Tabla 95: Densidad de adoquines con 3% de caucho	167
Tabla 96: Densidad de adoquines con 6% de caucho	168
Tabla 97: Densidad de adoquines con 9% de caucho	168



Tabla 98: Absorción de adoquines patrón.....	172
Tabla 99: Absorción de adoquines con 3% de caucho.....	172
Tabla 100: Absorción de adoquines con 6% de caucho.....	173
Tabla 101: Absorción de adoquines con 9% de caucho.....	173
Tabla 102: Resistencia a compresión de adoquines patrón a los 7 días.....	177
Tabla 103: Resistencia a compresión de adoquines patrón a los 28 días.....	177
Tabla 104: Resistencia a compresión de adoquines con 3% de caucho a los 7 días.....	178
Tabla 105: Resistencia a compresión de adoquines con 3% de caucho a los 28 días.....	178
Tabla 106: Resistencia a compresión de adoquines con 6% de caucho a los 7 días.....	179
Tabla 107: Resistencia a compresión de adoquines con 6% de caucho a los 28 días.....	179
Tabla 108: Resistencia a compresión de adoquines con 9% de caucho a los 7 días.....	180
Tabla 109: Resistencia a compresión de adoquines con 9% de caucho a los 28 días.....	180
Tabla 110: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines patrón a los 7 días.....	181
Tabla 111: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines patrón a los 28 días.....	181
Tabla 112: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 3% de caucho a los 7 días.....	182
Tabla 113: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 3% de caucho a los 28 días.....	182
Tabla 114: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 6% de caucho a los 7 días.....	182
Tabla 115: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 6% de caucho a los 28 días.....	183
Tabla 116: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 9% de caucho a los 7 días.....	183
Tabla 117: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 9% de caucho a los 28 días.....	183
Tabla 118: Resistencia a la flexión de adoquines patrón a los 28 días.....	196
Tabla 119: Resistencia a la flexión de adoquines con 3% de caucho a los 28 días.....	196
Tabla 120: Resistencia a la flexión de adoquines con 6% de caucho a los 28 días.....	197
Tabla 121: Resistencia a la flexión de adoquines con 9% de caucho a los 28 días.....	197
Tabla 122: Desviación estándar de resistencia a la flexión de adoquines patrón a los 28 días.....	198



Tabla 123: Desviación estándar de resistencia a la flexión de adoquines con 3% de caucho a los 28 días.....	199
Tabla 124: Desviación estándar de resistencia a la flexión de adoquines con 6% de caucho a los 28 días.....	199
Tabla 125: Desviación estándar de resistencia a la flexión de adoquines con 9% de caucho a los 28 días.....	199
Tabla 126: Cantidad de materiales que componen 1m ³ de concreto.....	206
Tabla 127: Costo de 1m ³ de adoquines de concreto.....	206
Tabla 128: Resultados de tolerancia dimensional de adoquines en global.....	207
Tabla 129: Resultados de Densidad de adoquines en global.....	209
Tabla 130: Resultados de absorción de adoquines en global.....	210
Tabla 131: Resultados de resistencia a la compresión de adoquines en global a los 7 días...	212
Tabla 132: Resultados de resistencia a la compresión de adoquines en global a los 28 días.	215
Tabla 133: Resultados de resistencia a la flexión de adoquines en global a los 28 días.....	218
Tabla 134: Matriz de consistencia.....	232



Índice de Figuras

Figura 1: Neumáticos en desuso.....	1
Figura 2: Partes del adoquín.....	13
Figura 3: Clasificación de adoquines	14
Figura 4: Adoquines de acuerdo a sus aristas.....	15
Figura 5: Adoquines para pavimentos de uso peatonal.....	16
Figura 6: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.....	16
Figura 7: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.....	16
Figura 8: Esquema de ensayo a flexión.....	21
Figura 9: Estructura típica de un pavimento de adoquín.....	22
Figura 10: Instalación de los adoquines	24
Figura 11: Árbol de caucho (Hevea).....	25
Figura 12: Composición de neumáticos	27
Figura 13: Neumáticos en desuso.....	28
Figura 14: Recuperación elástica del caucho.	28
Figura 15: Flujo de trabajo en una planta de trituración mecánica de neumáticos	29
Figura 16: Caucho triturado producto de neumáticos en desuso.....	29
Figura 17: Proceso de tratamiento de los neumáticos al final de su vida útil	30
Figura 18: Caucho reciclado fino	31
Figura 19: Cemento industrial HE	33
Figura 20: Agregados fino y grueso	36
Figura 21: Diseño de ingeniería	57
Figura 22: Cuarteo de agregado grueso.....	79
Figura 23: Habilitado de materiales para ensayo de Malla N° 200 por tesista	80
Figura 24: Materiales de ensayo para ensayo de Malla N° 200.....	80
Figura 25: Materiales de ensayo con agregado para ensayo de Malla N° 200.....	80
Figura 26: Registro del peso de agregado para ensayo de Malla N° 200.....	81
Figura 27: Lavado de agregados para ensayo de Malla N° 200.....	81
Figura 28: Horno en proceso de secado de agregados	81
Figura 29: Tamizadora mecánica para agregados	85
Figura 30: Tesista tamizando agregados	86
Figura 31: Granulometría de agregados finos	87
Figura 32: Granulometría de agregados gruesos.....	87



Figura 33: Cuarteo de caucho reciclado fino.....	88
Figura 34: Granulometría de caucho reciclado fino	88
Figura 35: Selección de agregado fino para ensayo de Peso específico	95
Figura 36: Registro del peso de agregado fino para Peso específico	96
Figura 37: Determinación de condición superficialmente seca del agregado fino por el tesista	96
Figura 38: Agregado fino en condición superficialmente seca	96
Figura 39: Picnómetro en procedimientos de ensayo.....	97
Figura 40: Tesista en uso de bomba de vacíos para sacar el aire en agregado fino	97
Figura 41: Selección de agregados grueso para ensayo de peso específico.....	99
Figura 42: Registro del peso de agregados por tesista	100
Figura 43: Equipos y materiales para ensayo de peso específico de agregados gruesos	100
Figura 44: Procedimiento de secado superficial de agregados gruesos	101
Figura 45: Registro de peso de agregados gruesos saturados	101
Figura 46: Selección de agregados gruesos y finos para ensayo de peso unitario	103
Figura 47: Equipos para ensayo de peso unitario de agregados.....	104
Figura 48: Procedimiento de ensayo de peso unitario de agregados.....	104
Figura 49: Procedimiento de ensayo de peso unitario de agregado grueso por tesista	105
Figura 50: Procedimiento de varillado para el ensayo de peso unitario por el tesista	105
Figura 51: Registro del peso de agregado más molde para ensayo de peso unitario	106
Figura 52: Registro de dimensiones de molde metálico para ensayo de peso unitario de agregados.....	106
Figura 53: Cuarteo de agregado fino para ensayo de porcentaje de humedad.....	109
Figura 54: Registro de agregado grueso para ensayo de porcentaje de humedad.....	110
Figura 55: Agregado lavado después de ser tamizado para el ensayo de Abrasión los Ángeles	112
Figura 56: Agregado secado para colocar a la máquina de los Ángeles	113
Figura 57: Máquina de los Ángeles antes del ensayo	113
Figura 58: Agregado tamizado después de proceso de desgaste.....	114
Figura 59: Agregados para mezcla de concreto	116
Figura 60: Habilitado de materiales para mezcla de concreto.....	117
Figura 61: Habilitado de aditivo para mezcla de concreto.....	117
Figura 62: Colocado de materiales en máquina mezcladora tipo carretilla	117
Figura 63: Mezcla de concreto con materiales y herramientas	118



Figura 64: Moldeado de adoquines con adoquinera manual.....	118
Figura 65: Adoquines de concreto moldeados e identificados.....	118
Figura 66: Tesista verificando los adoquines	119
Figura 67: Curado de adoquines en una mini piscina de plástico	119
Figura 68: Adoquines de concreto secos.....	119
Figura 69: Adoquines preparados para ensayo	120
Figura 70: Vernier y regla metálica.....	121
Figura 71: Registro de dimensiones de adoquines	121
Figura 72: Registro de peso de adoquines sumergidos en agua	123
Figura 73: Adoquines ensayados, saturados superficialmente secos	124
Figura 74: Adoquines retirados del horno para posteriormente enfriados registrar su peso..	124
Figura 75: Adoquines secos y superficialmente secos	126
Figura 76: Sumergido de adoquines para registrar su peso sumergido.....	127
Figura 77: Adoquines saturados con superficie seca	127
Figura 78: Tesista en ensayo de resistencia a compresión de adoquines	129
Figura 79: Adoquines previo al ensayo de resistencia a compresión.....	130
Figura 80: Adoquines colocados en máquina para ensayo de resistencia a compresión	130
Figura 81: Máquina de resistencia a compresión en ensayo de adoquines	131
Figura 82: Tipos de adoquines ensayados.....	131
Figura 83: Habilitado de adoquines para ensayo a flexión	134
Figura 84: Adoquín en maquina para ensayo a flexión.....	135
Figura 85: Tesista en ensayo de flexión de adoquín	135
Figura 86: Adoquín luego de ensayo a flexión	136
Figura 87: Adoquines después de haberse ensayado a flexión	136
Figura 88: Curva granulométrica de arena fina de Pisac	143
Figura 89: Curva granulométrica de confitillo de Vicho	144
Figura 90: Curva granulométrica de agregado fino.....	144
Figura 91: Curva granulométrica de caucho reciclado fino	145
Figura 92: Curva granulométrica de caucho reciclado fino con límites de agregado fino.....	145
Figura 93: Curva granulométrica de agregado grueso de Vicho TMN 3/8”	146
Figura 94: Curva granulométrica de agregado grueso	146
Figura 95: Tolerancia dimensional de adoquín patrón.....	165
Figura 96: Tolerancia dimensional de adoquín con 3% de caucho.....	165
Figura 97: Tolerancia dimensional de adoquín con 6% de caucho.....	166



Figura 98: Tolerancia dimensional de adoquín con 9% de caucho	166
Figura 99: Densidad de adoquines patrón	169
Figura 100: Densidad de adoquines con 3% de caucho	169
Figura 101: Densidad de adoquines con 6% de caucho	170
Figura 102: Densidad de adoquines con 9% de caucho	170
Figura 103: Absorción de adoquines patrón.....	174
Figura 104: Absorción de adoquines con 3% de caucho	174
Figura 105: Absorción de adoquines con 6% de caucho	175
Figura 106: Absorción de adoquines con 9% de caucho	175
Figura 107: Resistencia a compresión de adoquines patrón a los 7 días.....	184
Figura 108: Resistencia a compresión de adoquines patrón a los 28 días.....	184
Figura 109: Resistencia a compresión de adoquines con 3% de caucho a los 7 días.....	185
Figura 110: Resistencia a compresión de adoquines con 3% de caucho a los 28 días.....	185
Figura 111: Resistencia a compresión de adoquines con 6% de caucho a los 7 días.....	186
Figura 112: Resistencia a compresión de adoquines con 6% de caucho a los 28 días.....	186
Figura 113: Resistencia a compresión de adoquines con 9% de caucho a los 7 días.....	187
Figura 114: Resistencia a compresión de adoquines con 9% de caucho a los 28 días.....	187
Figura 115: Resistencia a compresión promedio de adoquines patrón a los 7 días	188
Figura 116: Resistencia a compresión promedio de adoquines patrón a los 28 días	188
Figura 117: Resistencia a compresión promedio de adoquines con 3% de caucho a los 7 días	189
Figura 118: Resistencia a compresión promedio de adoquines con 3% de caucho a los 28 días	189
Figura 119: Resistencia a compresión promedio de adoquines con 6% de caucho a los 7 días	190
Figura 120: Resistencia a compresión promedio de adoquines con 6% de caucho a los 28 días	190
Figura 121: Resistencia a compresión promedio de adoquines con 9% de caucho a los 7 días	191
Figura 122: Resistencia a compresión promedio de adoquines con 9% de caucho a los 28 días	191
Figura 123: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines patrón a los 7 días	192



Figura 124: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines patrón a los 28 días	192
Figura 125: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 3% de caucho a los 7 días	192
Figura 126: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 3% de caucho a los 28 días	193
Figura 127: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 6% de caucho a los 7 días	193
Figura 128: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 6% de caucho a los 28 días	193
Figura 129: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 9% de caucho a los 7 días	194
Figura 130: Desviación estándar de resistencia a compresión de adoquines con 9% de caucho a los 28 días	194
Figura 131: Resistencia a la flexión de adoquines patrón a los 28 días	200
Figura 132: Resistencia a la flexión de adoquines con 3% de caucho a los 28 días	200
Figura 133: Resistencia a la flexión de adoquines con 6% de caucho a los 28 días	201
Figura 134: Resistencia a la flexión de adoquines con 9% de caucho a los 28 días	201
Figura 135: Resistencia a la flexión promedio de adoquines patrón a los 28 días	202
Figura 136: Resistencia a la flexión promedio de adoquines con 3% de caucho a los 28 días	202
Figura 137: Resistencia a la flexión promedio de adoquines con 6% de caucho a los 28 días	203
Figura 138: Resistencia a la flexión promedio de adoquines con 9% de caucho a los 28 días	203
Figura 139: Resistencia a la flexión de adoquines patrón a los 28 días	204
Figura 140: Resistencia a la flexión de adoquines con 3% de caucho a los 28 días	204
Figura 141: Resistencia a la flexión de adoquines con 6% de caucho a los 28 días	205
Figura 142: Resistencia a la flexión de adoquines con 9% de caucho a los 28 días	205
Figura 143: Tolerancia dimensional de adoquines Patrón, con 3%, 6% y 9% de caucho	208
Figura 144: Densidad de adoquines Patrón, con 3%, 6% y 9% de caucho	209
Figura 145: Absorción de adoquines Patrón, con 3%, 6% y 9% de caucho	210
Figura 146: Tendencia de absorción de adoquines Patrón, con 3%, 6% y 9% de caucho	211



Figura 147: Resultado de resistencia a la compresión individual de adoquines global a los 7 días	213
Figura 148: Resultado de resistencia a la compresión de adoquines promedio por tipo a los 7 días	214
Figura 149: Resultado de resistencia a la compresión individual de adoquines global a los 28 días	216
Figura 150: Resultado de resistencia a la compresión de adoquines promedio por tipo a los 28 días	217
Figura 151: Resultado de resistencia individual a la flexión de adoquines global a los 28 días	219
Figura 152: Resultado de resistencia a la flexión de adoquines promedio por tipo a los 28 días	220



Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1 Identificación del problema

1.1.1 Descripción del problema

Los adoquines en la provincia de Cusco se encuentran en estado de degradación, presentándose deteriorados principalmente en las calles y avenidas del Centro Histórico de Cusco. Entre las causas principales de deterioro se encuentra el modo de fabricación de los adoquines de concreto, que en su mayoría son de procedencia artesanal los cuales son económicos, pero con escasas especificaciones técnicas, lo cual hace que no se tenga un control total de los adoquines en cuanto a sus propiedades físico - mecánicas, causando así su pronta degradación y desintegración de las unidades de este tipo de pavimento. Así también se tiene como causas fundamentales el clima variable que se presenta en la ciudad de Cusco.

Asimismo, observamos que el parque automotor de la provincia de Cusco, cada vez va en aumento, hecho por el cual también aumenta el número de neumáticos usados, los cuales son depositados en almacenes informales o quedan abandonados en las calles, avenidas y carreteras, ocupando espacio e interrumpiendo la movilidad y transporte eficiente de personas y vehículos. Cada año cerca de 1000 millones de neumáticos en el mundo alcanzan el final de su vida útil, (Chavez More, 2018); A su vez los neumáticos usados son difíciles de degradarse con el tiempo, por ello nace la necesidad de darle nuevos usos al caucho reciclado. Por tanto, para el presente trabajo de investigación se utilizó el caucho reciclado fino proveniente de neumáticos usados, como un agregado que reemplaza parcialmente al agregado fino en porcentajes de 3%, 6% y 9 % para la elaboración de adoquines de concreto.

Por lo tanto, si los adoquines poseen resistencias a la compresión superiores a 380 kg/cm² como mínimo según NTP 399.611 para el presente caso adoquín 6 tipo II. Por tanto, hace que sean más rígidos; entonces al reemplazar parcialmente caucho reciclado fino por el agregado fino se tiene la necesidad de evaluar las propiedades físico - mecánicas, para conocer el comportamiento del adoquín 6 tipo II para la presente investigación.



Figura 1: Neumáticos en desuso



1.1.2 Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál será la evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 Tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019?

1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos

- **Problema específico N° 01**

¿Cuál será la tolerancia dimensional del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado?

- **Problema específico N° 02**

¿Cuál será la densidad del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado?

- **Problema específico N° 03**

¿Cuál será la absorción de las unidades individuales del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado?

- **Problema específico N° 04**

¿Cuál será la absorción promedio de cada 3 unidades del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado?

- **Problema específico N° 05**

¿Cuál será la resistencia a la compresión de las unidades individuales del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado?

- **Problema específico N° 06**

¿Cuál será la resistencia a la compresión promedio de cada 3 unidades del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado?

- **Problema específico N° 07**

¿Cuál será la resistencia a la flexión del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado?



1.2 Justificación e importancia de la investigación

1.2.1 Justificación técnica

La presente investigación aporta al estudio de la utilización de nuevos materiales de construcción, en este caso particular el comportamiento de las propiedades físico - mecánicas del Adoquín 6 Tipo II, reemplazando con caucho reciclado al agregado fino. Por tanto, cabe mencionar que al estudiar las propiedades físico - mecánicas del adoquín de concreto se obtuvieron conclusiones respecto al comportamiento del adoquín elaborado con caucho reciclado, material potencialmente utilizable en el concreto, así como en el caso del adoquín.

La presente investigación pertenece a la rama de la Ingeniería Civil, denominada tecnología de materiales, en donde los materiales de construcción cumplen un rol importante en la ingeniería civil, por ello la importancia del estudio de nuevos materiales para su utilización en la construcción.

1.2.2 Justificación social

La utilización del caucho reciclado es importante para la sociedad, porque permite contribuir sustancialmente a la reducción de los neumáticos en desuso, debido a que los resultados obtenidos en la presente investigación son favorables para el uso en la elaboración de adoquines de concreto. El estudio y evaluación de nuevos materiales de construcción genera oportunidades laborales, es el caso del caucho reciclado utilizado en adoquines de concreto debido a que hace posible la generación de nuevas oportunidades de trabajo, al conocer y reciclar el caucho procedente de neumáticos usados de vehículos para la utilización como material de construcción de adoquines de concreto y otros elementos de concreto a utilizar al servicio de la sociedad.

1.2.3 Justificación por viabilidad

La viabilidad para la presente investigación es favorable, debido a que se cuenta con los materiales en el mercado a utilizar, así como los agregados, cemento, aditivos y caucho reciclado fino. Asimismo, los costos de los materiales son accesibles y están al alcance de la economía de la sociedad. Se cuenta con los laboratorios que tienen los equipos necesarios para la realización de los ensayos requeridos por la investigación, los cuales se realizó según las Normas necesarias para su evaluación.



1.2.4 Justificación por relevancia

Los tiempos actuales requieren mayor universo de materiales innovadores, que mejoren las características de los elementos de construcción. Por tanto, para el presente caso incluyendo material reciclado como es el caucho, en la elaboración de adoquines con mejores propiedades físico - mecánicas. La investigación permite conocer el comportamiento del adoquín de concreto teniendo como componentes a los agregados procedentes de las canteras de Vicho y de Pisac, asimismo el caucho reciclado fino, cemento Yura tipo HE y aditivo plastificante.

1.3 Limitaciones de la investigación

1.3.1 Limitaciones geográficas

- La presente investigación se desarrolló en la Universidad Andina del Cusco, ubicada en el distrito de San Jerónimo, también se desarrolló en la vivienda del tesista, ubicada en el distrito de San Sebastián. Ambos distritos pertenecientes a la provincia y departamento del Cusco.

1.3.2 Limitaciones del adoquín

- El adoquín a estudiar se encuentra clasificado en la Norma Técnica Peruana 399.611 2010 (revisada el 2015), denominada “Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos”. En donde se caracteriza al adoquín por el tipo, espesor y resistencia a la compresión:

Adoquín 6, que hace referencia a 6 cm.

Tipo II, que hace referencia al adoquín “vehicular ligero”.

Por lo tanto, la investigación realizó un diseño previsto para adoquines de concreto con dimensiones: Longitud de 20 cm, ancho de 10 cm y espesor de 6cm.

1.3.3 Limitaciones normativas para ensayos

La presente investigación se limita a la utilización de las siguientes normas:

Normas para la evaluación del adoquín 6 tipo II:

- NTP 399.611 2010 (revisada el 2015). “Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos”.

La investigación hizo uso de la norma para la evaluación de la resistencia a la compresión de los adoquines, tolerancia dimensional y absorción.

- NTG 41086 (aprobada el 2012) “Adoquines de concreto para pavimentos. Especificaciones”.



La investigación hizo uso de la Norma Técnica Guatemalteca, para la evaluación de la resistencia a la flexión de los adoquines. Se toma en consideración esta norma técnica ya que la evaluación de resistencia a la flexión no está contemplada en la NTP 399.611.

Normas para realizar los ensayos a los adoquines.

- NTP 399.604. 2002 Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto.

La investigación hizo uso de la norma para realizar los ensayos de: Resistencia a la compresión, tolerancia dimensional, absorción, densidad y refrendado de adoquines.

- NTG 41087 h1 2012 Métodos de ensayo. Determinación del módulo de ruptura de los adoquines de concreto.

La investigación hizo uso de la norma para realizar el ensayo de Flexión (Módulo de ruptura) de adoquines.

Normas para ensayos de materiales:

- MTC E 202. Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (N° 200) por lavado.
- MTC E 203. Peso unitario y vacíos de los agregados.
- MTC E 204. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.
- MTC E 205. Gravedad específica y absorción de agregados finos.
- NTP 400.022 2013. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.
- MTC E 206. Peso específico y absorción de agregados gruesos.
- MTC E 207. Abrasión los ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”).
- MTC E 215. Método de ensayo para contenido de humedad total de los agregados por secado.

1.3.4 Limitaciones de los materiales

La investigación se limitó al uso de los siguientes materiales:

- La investigación hizo uso de agregados de las canteras de: Pisac (arena fina) y de Vicho (confitillo, agregado grueso).
- Agregado fino: Resultado de la combinación de (30% de confitillo de Vicho, 70% arena fina de Pisac).
- Agregado grueso: Resultado de la combinación de (34% de agregado grueso de Vicho con Tamaño Máximo Nominal de 3/8”, 66% de confitillo de Vicho).



- Caucho reciclado: Se utilizó caucho reciclado fino de Tamaño Máximo Nominal de N°4 (4.75 mm), proveído por la reencauchadora Choque, ubicado en el distrito de Oropesa, el cual es proveniente de la trituración de neumáticos en desuso.
- Cemento: Se utilizó el cemento industrial Yura tipo HE de 42.5 Kg.
- Agua: Se utilizó agua potable a temperatura ambiente, de la red pública del distrito de San Sebastián.
- Aditivo: Se utilizó aditivo SikaCem plastificante de la marca Sika, en dosificación recomendada en la hoja de datos del producto para superplastificante.

1.3.5 Limitaciones de las herramientas

- Molde de adoquines: La investigación se limita a la utilización del molde metálico manual para adoquines, diseñado por el tesista.
- En el vaciado de adoquines: La investigación se limita a la utilización de una mezcladora portátil tipo trompo carretilla.

1.3.6 Limitaciones de diseño

- La investigación se limita al reemplazo del agregado fino por caucho reciclado fino en porcentajes de: 3%, 6% y 9% con respecto al “peso” del agregado fino.
- El diseño de mezcla se basa en el método del comité 211 del A.C.I.
- Se precisa un $F'c = 420 \text{ kg/cm}^2$ como resistencia de diseño para el adoquín 6 Tipo II, debido a que está especificado en la NTP 399.611 2010 “Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos”.
- La dosificación del diseño de mezcla se realizó en peso (cemento: agregado grueso: agregado fino: agua), con dosificación de aditivo como superplastificante con 500 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg.
- El curado de adoquines se realizó por inmersión, en una mini piscina de plástico llena de agua de la red pública del distrito de San Sebastián.
- La investigación se limita a la evaluación de resistencia a compresión de adoquines a los 7 y 28 días y a la evaluación de flexión a los 28 días.
- La investigación se limita a la evaluación de las propiedades físico - mecánicas como la resistencia a compresión de los adoquines, en “unidades completas” de adoquines para su análisis.



1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 Tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.

1.4.2 Objetivos específicos

- **Objetivo específico N° 01**

Determinar la tolerancia dimensional del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado.

- **Objetivo específico N° 02**

Determinar la densidad del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado

- **Objetivo específico N° 03**

Determinar la absorción de las unidades individuales del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado.

- **Objetivo específico N° 04**

Determinar la absorción promedio de cada 3 unidades del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado.

- **Objetivo específico N° 05**

Determinar la resistencia a la compresión de las unidades individuales del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado.

- **Objetivo específico N° 06**

Determinar la resistencia a la compresión promedio de cada 3 unidades del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado.

- **Objetivo específico N° 07**

Determinar la resistencia a la flexión del adoquín 6 Tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado.



Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la tesis o investigación actual

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional

Antecedente nacional numero 1:

Título: 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.

Autor: Erick Daniel Rey Angulo

Institución: Universidad Privada del Norte

Lugar: Cajamarca – Perú, 2018.

El objetivo general de la tesis en mención fue “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.”

Respecto a la metodología, el tipo de diseño de la tesis fue: Experimental.

Respecto a los resultados, en base a los ensayos realizados tales como: Resistencia a compresión, tensión y absorción, se observó que al ser reemplazado el agregado grueso con polipropileno (10% y 15%), caucho al (10% y 15%), respecto de la resistencia a compresión el porcentaje que mejor resultado presento es el de 10% para el polipropileno y caucho, de igual manera para el ensayo de tensión se encontró un mejor comportamiento al reemplazo del 10%. Sin embargo, respecto al ensayo de absorción el reemplazo de polipropileno y caucho al 15%, presentaron menores porcentajes de absorción que los de reemplazo al 10% para ambos casos.

Respecto a las conclusiones, se encontró que el reemplazo que mejor resultado mostro es el de polipropileno al 10%, y los reemplazos de polipropileno al 15% es similar al reemplazo del caucho al 10%. La tesis menciona también que los adoquines con reemplazo del 10% y 15% de polipropileno y reemplazo de caucho al 10% pueden ser utilizados como una alternativa en pavimentos articulados de transito liviano.

Respecto a la relación con la tesis, se considera importante el uso de caucho con reemplazos del 10% y 15%. De donde se observa que de los dos reemplazos el que mejor resultado presenta es el de 10% respecto a la resistencia a la compresión y tensión. Mientras que por el ensayo de absorción el que menor porcentaje de absorción obtuvo fue el porcentaje de 15% de reemplazo



para ambos casos. Por tanto, se considera como antecedente el uso de menores porcentajes de reemplazo de caucho para obtener mejores respuestas al comportamiento de los adoquines.

Antecedente nacional numero 2:

Título: Diseño de mezcla del concreto para elaboración de adoquines con material reciclado de neumáticos en la provincia de Huancavelica

Autores:

- Bachiller: Ledezma Chumbes, Felipe
- Bachiller: Yauri Huiza, Wilder

Institución: Universidad Nacional de Huancavelica

Lugar: Lircay – Huancavelica, 2018

El objetivo general de la tesis en mención fue: “Determinar la influencia del material reciclado de neumáticos en la resistencia a la compresión y tensión, en el diseño de mezcla de concreto para la elaboración de adoquines en la Provincia de Huancavelica”

Respecto a la metodología, la tesis menciona la que el nivel de investigación es aplicativo.

Respecto a los resultados, en base a los ensayos tales como: Resistencia a compresión se observó la adición de polvo de llanta en porcentajes de 25%, 35% y 40%, en donde los resultados de resistencia a la compresión disminuyeron a medida que aumentaba el porcentaje de adición de polvo de llanta, esto en función al adoquín patrón. Asimismo, para el ensayo de flexión de adoquines, los resultados fueron desfavorables a medida que aumentada la adición de polvo de llanta.

Respecto a las conclusiones, la tesis menciona que la adición de polvo de llanta a la mezcla de concreto para adoquines es de provecho para el medio ambiente. Así también menciona que una de las causas del descenso de la resistencia a la compresión de adoquines con polvo de llanta se debe a la porosidad que este origina. La tesis menciona que de los porcentajes de adición que considero, el que mejores resultados obtuvo fue la adición del 25% de polvo de llanta.

En relación con la tesis, se consideró importante el uso de caucho reciclado, denominado “polvo de llanta”, que al adicionarlo a la mezcla de concreto en porcentajes de 25%, 35% y 40%, el que mejores resultados presento fue del 25%. Por tanto, se toma como antecedente el uso de caucho en porcentajes menores, ya que en porcentajes altos sus propiedades disminuyen.



2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

Antecedente internacional numero 1:

Título: Caracterización de las propiedades mecánicas de adoquines de concreto con adición de residuo de caucho reciclado producto de llantas usadas.

Autores:

- Seidel Manuela Plazas Riaño
- Gustavo Adolfo Gamba Valenzuela

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Lugar: Bogotá D.C, 2015

El objetivo general de la tesis en mención fue: “Desarrollar un adoquín que cumpla las características físicas y mecánicas de los adoquines que actualmente se encuentran en el mercado de la construcción, a través del uso de una mezcla de concreto hidráulico que contenga caucho triturado producto del reciclaje de llantas usadas como porción de agregado fino con el fin de crear una alternativa de reúso de este caucho que contribuya a reducir el impacto que estos generan al medio ambiente.”

Respecto a la metodología la tesis menciona que utilizo un enfoque cuantitativo.

Asimismo, la tesis menciona la adición de residuo de caucho reciclado producto de llantas usadas en porcentajes de 0%, 5%, 10% y 15%.

Respecto a los resultados, la resistencia a flexo – tracción de las mezclas de 0%, 5% y 10% fueron las que cumplieron con la resistencia exigida por la NTC 2017. Respecto al ensayo de absorción todas las mezclas cumplieron con la NTC 2017. Respecto al ensayo de densidad se encontró que a medida que se le adiciona caucho reciclado a la mezcla, disminuye la densidad de las mezclas con referencia a la mezcla con 0% de adición de caucho reciclado.

Respecto a las conclusiones, dentro de las principales conclusiones que la tesis hace en mención es que la ventaja principal de la elaboración de adoquines con caucho, es el uso de materiales reciclados. Menciona también que el uso de caucho triturado en la fabricación de adoquines reduce la resistencia a la flexo – tracción, sin embargo a pesar de la reducción los adoquines que cumplen con las especificaciones técnicas respecto a las adiciones del 5% y 10%.

Con relación a la tesis se resalta la importancia del uso de porcentajes menores de caucho reciclado para la elaboración de las mezclas de concreto para la fabricación de adoquines que



brinden buenos y eficientes resultados respecto a las normas técnicas. Resaltando el uso de la adición de caucho en el 5% y 10%, con referencia a mejor comportamiento respecto al ensayo de flexo – tracción.

Antecedente internacional numero 2:

Título: Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales

Autor: Ing. José Luis Montiel Miguel

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México

Lugar: Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 2017.

El objetivo general de la tesis en mención fue “Realizar un estudio teórico y experimental en el que se muestre si es o no factible el uso de agregados reciclados producidos en planta para la fabricación de adoquines”

Respecto a los resultados, se observó que los adoquines adicionados con caucho mejoró la trabajabilidad de la mezcla de concreto. Asimismo, respecto al ensayo de resistencia a la compresión de adoquines rectangulares y de forma I no se obtuvieron los resultados de diseño, sin embargo, el adoquín que mejor comportamiento de adición mostro fue el de menor adición de caucho (12%), respecto al adoquín con adición del 25%.

Respecto a las conclusiones referente a los ensayos de compresión y flexión, las resistencias de los adoquines se redujeron considerablemente, sin embargo, respecto a los ensayos de abrasión y de impacto al concreto mejoraron sus propiedades.

En relación de la tesis, como antecedente de la tesis se considera importante el uso del caucho reciclado para la fabricación de adoquines. Asimismo, se pudo observar que el caucho adicionado en porcentajes mayores no favorece al concreto. Por ello se recomienda utilizar porcentajes menores de adición de caucho.

Antecedente internacional numero 3:

Título: Análisis de las propiedades mecánicas de adoquines elaborados con hormigón y polvillo de caucho de neumáticos reciclados y su correlación con adoquines convencionales.

Autor: Yugsi Toapanta Adriana Elizabeth

Institución: Universidad Central del Ecuador



Lugar: Quito – Ecuador, 2018.

El objetivo general de la tesis en mención fue “Analizar las propiedades mecánicas del adoquín elaborado con hormigón convencional y polvillo de caucho de neumáticos reciclados como sustituto parcial al agregado fino, comparándolas con los adoquines convencionales, en base a la norma NTE INEN 3040”

Se fabricaron adoquines patrón y adoquines con sustitución parcial de agregado fino, por el polvillo de caucho en porcentajes de 0%, 4%, 8%, 12% y 16%.

Respecto a los resultados, la resistencia a la tracción indirecta promedio se redujo al sustituir el agregado fino con el polvillo de caucho. Sin embargo, todos los porcentajes cumplieron con el valor de las especificaciones que indican la normativa. Asimismo, el porcentaje que mejor comportamiento mostro entre los porcentajes a sustituir fue el de 8%. Respecto a los resultados obtenidos basados en el ensayo de resistencia a la compresión, los adoquines que mejor comportamiento mostraron son los porcentajes de 0%, 4% y 8% de sustitución con polvillo de caucho. Respecto al ensayo de absorción los resultados fueron similares en las sustituciones de polvillo de caucho. Asimismo, respecto al ensayo densidad los resultados son similares. Sin embargo, el que mayor densidad mostraron los porcentajes de 12% y 16% de sustitución con polvillo de caucho.

En cuanto a las conclusiones mencionadas en la tesis, respecto a las propiedades mecánicas de los adoquines sustituidos con polvillo de caucho de neumáticos reciclados, menciona que no mejoran generalmente propiedades, pero que si hay porcentajes óptimos 8% y 12% que cumplen con la norma NTE INEN 3040 (2015).

Respecto a los ensayos de tracción indirecta no cumplen con lo especificado en la norma NTE INEN 3040. Respecto al ensayo de absorción se tienen valores similares los cuales son en promedio del 5%.

En relación con la tesis, se consideró como antecedente indicado en las conclusiones donde menciona que generalmente los adoquines elaborados con polvillo de caucho no mejoran sus propiedades, pero que si hay porcentajes óptimos como 8% y 12%.



2.2 Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1 El adoquín

2.2.1.1 Adoquines:

Componen la parte de mayor calidad del pavimento, las cuales recibe directamente cargas para transmitir las amortiguadas a las capas inferiores del pavimento y resistiendo la acción de agentes atmosféricos. Aparte de tener la misión de resistencia, los adoquines también deben ser funcionales tanto como para una (rodadura segura y cómoda), así también estéticamente ya que son la parte visible del pavimento. Las capas de sub base y de base, según sean las condiciones del tráfico y explanada, pueden no ser necesarias en el pavimento (IECA, 2014).

2.2.1.2 Adoquín de concreto

Elemento prefabricado de concreto compactado, que tiene forma de prisma recto, donde sus bases pueden ser polígonos, las cuales permiten conformar superficies que componen un pavimento articulado, estos pueden ser bicapa o monocapa (NTG 41086, 2012).

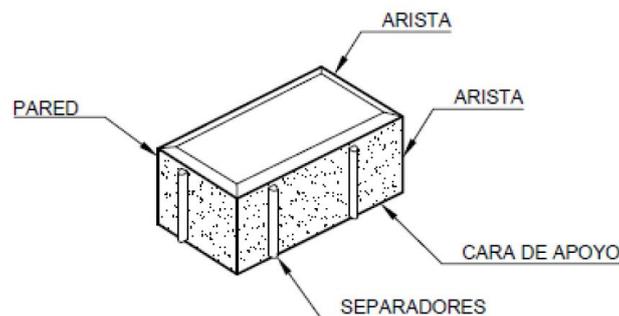


Figura 2: Partes del adoquín

Fuente: (NTG 41086, 2012)

2.2.2 Clasificación de adoquines

Respecto a la clasificación de adoquines, la presente investigación toma en consideración la siguiente clasificación en base a las normas técnicas: NTG 41086 (2012), NTC 2017 (2004) y NTP 399.611 (2015).

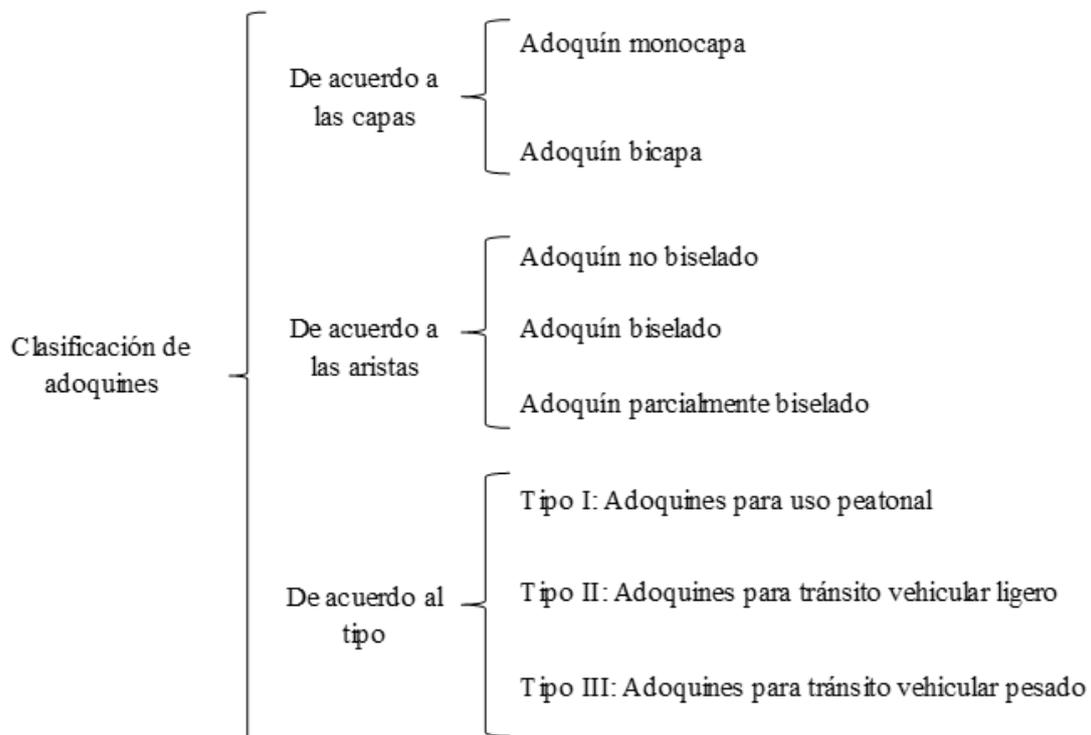


Figura 3: Clasificación de adoquines

2.2.2.1 Clasificación de los adoquines de acuerdo a las capas

La NTG 41086 (2012) define a los adoquines debido a sus capas:

2.2.2.1.1 Adoquín monocapa.

Es un elemento compuesto por una sola capa de concreto de características específicas.

2.2.2.1.2 Adoquín bicapa

Es un elemento compuesto por dos capas de concreto, las cuales tienen características diferentes, en donde la capa de desgaste no deberá tener menos de 8 mm de espesor. Las capas que componen el adoquín no deberán presentar desprendimiento o separación parcial o total de las dos capas ya sea en su uso o en el proceso de ensayo a flexión.

2.2.2.2 Clasificación de los adoquines de acuerdo a las aristas

La NTC 2017 (2004) define a los adoquines debido a sus aristas:



2.2.2.2.1 Adoquín no biselado

Es el adoquín que no tiene bisel ni tampoco otra modificación en las aristas que corresponde a la cara de desgaste.

2.2.2.2.2 Adoquín biselado

Es el adoquín que tiene la cara de desgaste limitada por un bisel en todas sus aristas

2.2.2.2.3 Adoquín parcialmente biselado

Es el adoquín que tiene la cara de desgaste limitada por un bisel en alguna de sus aristas.

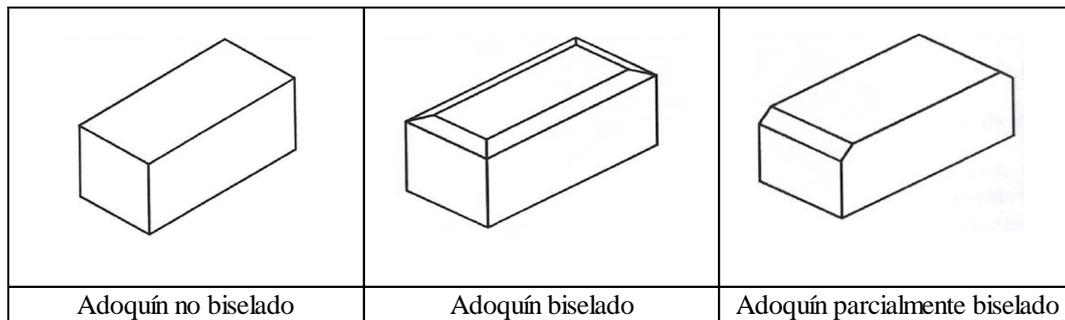


Figura 4: Adoquines de acuerdo a sus aristas

Fuente: (NTC 2017, 2004)

2.2.2.3 Clasificación de los adoquines por el tipo

La NTP 399.611 (2015) clasifica a los adoquines de concreto de la siguiente manera:

Tipo I: Adoquines para pavimentos de uso peatonal.

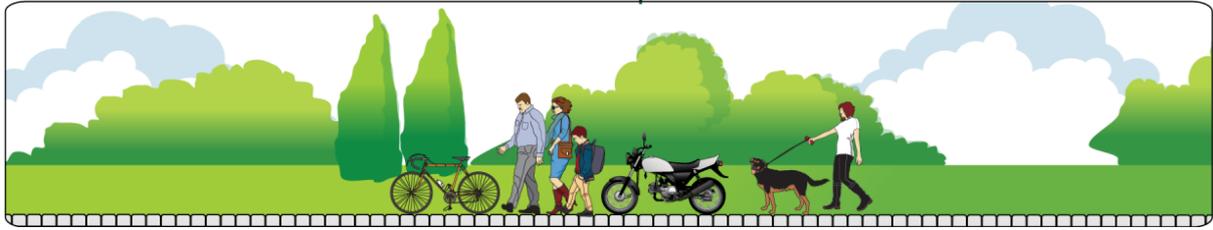
Tipo II: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.

Tipo III: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

De donde podemos definir los tipos de la siguiente manera:

2.2.2.3.1 Adoquines para pavimentos de uso peatonal:

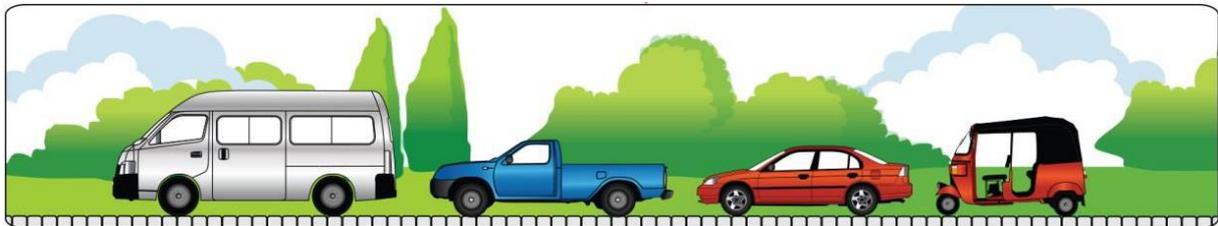
Los adoquines tendrán un uso exclusivo en zonas peatonales, así también en espacios públicos y eventualmente para bicicletas y motocicletas. Incluye desde tránsito peatonal muy bajo hasta tránsito peatonal alto, ejemplo como zonas céntricas de la ciudad con alta afluencia de peatones; centros de comercio, centros empresariales, centros educativos, zonas deportivas, áreas de mercado (supermercados o plazas): así también como áreas que están cerca de vías principales en zonas con actividades comerciales u otras similares (NTG 41085, 2015)



*Figura 5: Adoquines para pavimentos de uso peatonal
Fuente: (NTG 41085, 2015)*

2.2.2.3.2 Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero:

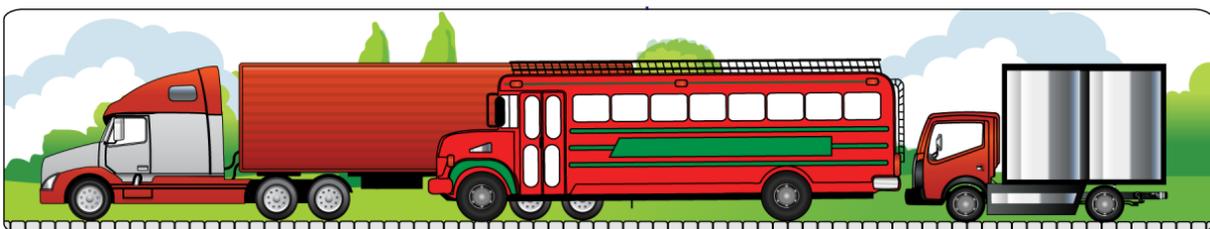
Los adoquines serán usados en calles o arterias que tengan tránsito vehicular ligero, las cuales se presentan en entradas de garajes de edificios o residenciales, también en parqueos para vehículos de centros comerciales, ciclovías, universidades, entradas de servicio a restaurantes y almacenes, etc. (NTG 41085, 2015)



*Figura 6: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero
Fuente: (NTG 41085, 2015)*

2.2.2.3.3 Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores:

Los adoquines son para uso en zonas que están sometidas a cargas de tránsito pesado tales como: Calles o avenidas principales, Puertos, aeropuertos, terminales de autobuses, patios de maniobras en zonas industriales, entradas a instalaciones industriales y comerciales, zonas de carga de centros comerciales, etc.



*Figura 7: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores
Fuente: (NTG 41085, 2015)*



2.2.3 Requisitos normativos para evaluación de adoquines

2.2.3.1 Requisitos físicos

2.2.3.1.1 Tolerancia dimensional

Respecto a la tolerancia dimensional se tiene la siguiente tabla, donde la NTP 399.611 (2015) indica que se aplica para todos los tipos.

Tabla 1: Tolerancia dimensional

Tolerancia dimensional, máx. (mm)		
Longitud	Ancho	Espesor
± 1,6	± 1,6	± 3,2

Fuente: (NTP 399.611, 2015)

2.2.3.1.2 Densidad

Respecto a los requerimientos físicos para densidad de los adoquines se tomó como referencia el promedio de los valores obtenidos de los mismos adoquines evaluados.

2.2.3.1.3 Absorción

Respecto a la absorción la NTP 399.611 (2015) presenta la siguiente tabla:

Tabla 2: Absorción

Tipo de Adoquín	Absorción, máx. (%)	
	Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I y II	6	7.5
III	5	7

Fuente: (NTP 399.611, 2015)

2.2.3.2 Requisitos mecánicos

2.2.3.2.1 Resistencia a la compresión

Respecto a la resistencia a la compresión de adoquines, la NTP 399.611 (2015) menciona que es la relación entre la carga de rotura a compresión de un adoquín y su sección.



Tabla 3: Espesor nominal y resistencia a la compresión

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, mín. MPa (kg/cm ²)	
		Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I (peatonal) Tipo B,C y D *Todos los tipos	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
II (Vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥ 80	55 (561)	50 (510)

Fuente: (NTP 399.611, 2015)

2.2.3.2.2 Resistencia a la flexión

Respecto a la resistencia a la flexión (módulo de ruptura) la NTG 41086 (2012) indica que los adoquines de concreto deben tener un módulo de ruptura promedio (3 especímenes saturados por 24 horas).

Tabla 4: Resistencia mínima a flexión del adoquín

Clase	Espesores mínimos del adoquín (mm)	Resistencia mínima a flexión del adoquín MPa (kg/cm ²)	
		Promedio de 3 adoquines	Mínimo de un adoquín individual
A	80	5.4 (55)	4.6 (46.8)
B	80	4.1 (42)	3.5 (35.7)
C	60	4.1 (42)	3.5 (35.7)

Fuente: (NTG 41086, 2012)

2.2.4 Ensayos a los adoquines de concreto

2.2.4.1 Tolerancia dimensional NTP 399.604 (2002)

Respecto a los especímenes la NTP 399.604 (2002), indica que se medirán tres unidades enteras para el ancho, altura y longitud. Mientras que respecto a la tolerancia dimensional indica que por cada unidad se registrara el ancho superior e inferior, en la longitud media de las superficies, la altura y longitud en la parte media de cada cara.



2.2.4.2 Densidad NTP 399.604 (2002)

El cálculo de la densidad de los especímenes secados al horno mediante la siguiente expresión:

Densidad en (kg/m³):

$$D = [Wd / (Ws - Wi)] \times 1000$$

Dónde:

Wd = Peso seco del adoquín en (kg)

Ws = Peso saturado del adoquín en (kg)

Wi = Peso sumergido del adoquín en (kg)

2.2.4.3 Absorción NTP 399.604 (2002)

De la NTP 399.604 (2002) se refiere los siguientes puntos:

- Se harán uso de tres unidades enteras las cuales estén debidamente marcadas, pesadas y registradas.
- Sumergir los especímenes en agua por un periodo de 24 horas. Registrar los pesos de los especímenes totalmente sumergidos, después de sacarlos del agua y drenado 1 minuto, después del secado de los especímenes (peso secado al horno).
- Calcular la absorción con la siguiente expresión:

Absorción en (kg/m³):

$$Ab = [(Ws - Wd) / (Ws - Wi)] \times 1000$$

Absorción en (%):

$$Ab = [(Ws - Wd) / Wd] \times 100$$

Dónde:

Ws = Peso saturado del adoquín en (kg)

Wi = Peso sumergido del adoquín en (kg)

Wd = Peso seco del adoquín en (kg)

2.2.4.4 Resistencia a la compresión NTP 399.604 (2002)

De la NTP 399.604 (2002) se refiere los siguientes puntos, respecto al ensayo:

- Respecto a la máquina de ensayo, esta será equipada mediante dos bloques de soporte de acero, uno de los cuales transmitirá la carga a la superficie superior del espécimen y la otra un bloque rígido sobre el cual descansará el espécimen.
- Refrendar las superficies de apoyo de las unidades por los métodos especificados.



- Respecto al ensayo de los especímenes, los cuales deben realizarse con el centroide de sus superficies de las cuales se apoyan, en donde estarán alineadas verticalmente con el centro de empuje de la rótula de la máquina de ensayo.

- **Área bruta en (mm²):**

Es el área total de la sección perpendicular a la dirección de la carga.

$$A_g = L \times W$$

Dónde:

A_g = Área bruta del espécimen (mm²)

L = Longitud promedio del espécimen (mm²)

W = Ancho promedio del espécimen (mm²)

- **Resistencia a Compresión del área bruta en (MPa):**

Esfuerzo a compresión del área bruta del espécimen.

$$R_c = \frac{P_{max}}{A_g}$$

Dónde:

P_{max} = Carga (N)

A_g = Área bruta del espécimen (mm²)

2.2.4.5 Resistencia a la flexión NTG 41087 h1

- El presente método respecto a la NTG 41087 h1 (2012) indica que se debe llevar hasta la ruptura al igual que una viga apoyada. El adoquín a ensayar debe colocarse en la máquina de ensayo en una posición en la que la superficie de desgaste este arriba. Se debe utilizar barras lisas de diámetro comprendido de 9.50 mm y 16.00 mm como elementos de transmisión de carga, los cuales deben colocarse paralelos entre sí a una distancia de 10 mm hacia adentro respecto a los lados menores del rectángulo inscrito. La carga de ensayo aplicado al adoquín será a una velocidad de 0.5 MPa por segundo. El módulo de ruptura debe calcularse por la siguiente formula:

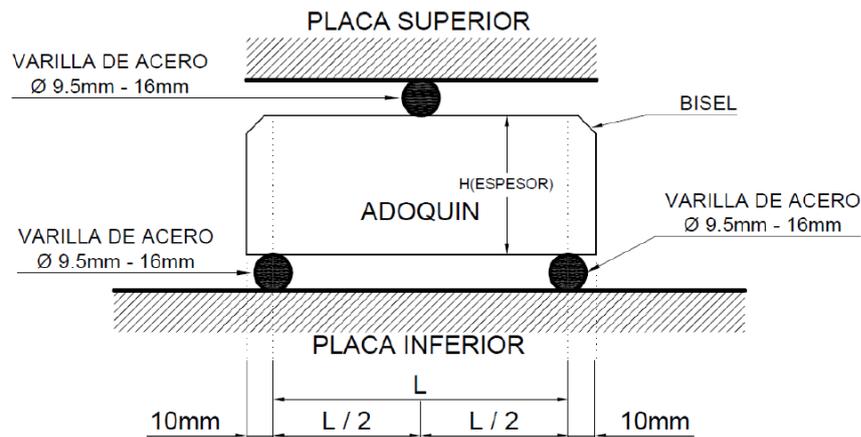


Figura 8: Esquema de ensayo a flexión
Fuente: (NTG 41087 h1, 2012)

- **Módulo de ruptura (MPa):**

$$MR = \frac{3PL}{2BH^2}$$

Dónde:

MR = Módulo de ruptura en (MPa)

P = Carga máxima aplicada en (N)

L = Distancia entre los ejes de los apoyos en (mm)

B = Longitud del eje menor del rectángulo inscrito en (mm)

H = Espesor del adoquín en (mm)

2.2.5 Pavimento articulado

Capa de rodadura constituida por adoquines, los cuales son elementos de concreto, colocados, debidamente entrelazados y uniformemente compactados, permitiendo la transferencia de cargas aplicadas en los elementos que los recibe, dirigidos hacia otros elementos de sus adyacentes, los cuales trabajan sólidamente sin la posibilidad de ser extraídos individualmente (NTG 41085, 2015).

2.2.6 Estructura de un pavimento de adoquín

La estructura de un pavimento según la NTG 41085 (2015) indica que los pavimentos de adoquín, son estructuras las cuales están compuestas por varias capas de distintos materiales que son construidas sobre un terreno natural. La selección de materiales se realiza considerando los costos y la disponibilidad.

Los espesores de las capas de pavimento están en función del tránsito que soportara el pavimento durante el periodo de diseño, de la capacidad de soporte de los suelos y materiales

los cuales compondrán las capas del pavimento, los cuales deben ser de calidad para que el pavimento pueda soportar el peso del tránsito, ya que no podrán deformarse ni deteriorarse durante un tiempo determinado.

A continuación, se detalla la estructura típica del pavimento, en donde no todos los elementos están compuestos en el pavimento, en donde la presencia de todos los elementos en un pavimento de adoquín depende del diseño:

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

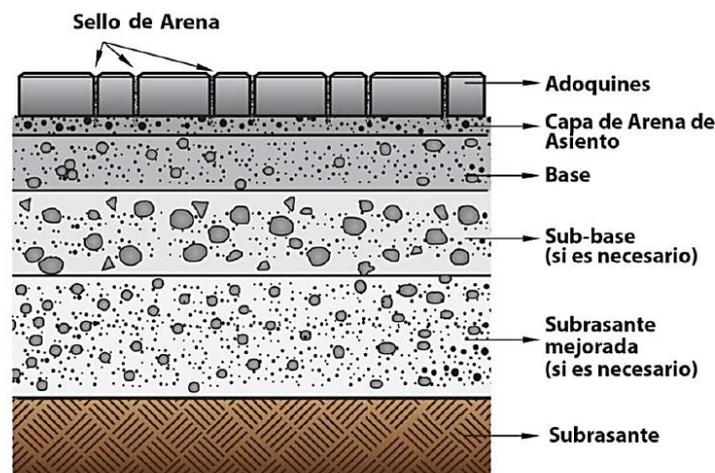


Figura 9: Estructura típica de un pavimento de adoquín.
Fuente: (NTG 41085, 2015).

2.2.7 Manejo de los adoquines

Deberán protegerse en todo momento, de la contaminación o daño con aceites, lodo, tierra, mezclas de concreto, cemento, marcas de acero, ácidos de lavado de fachadas, descargas de materiales y cualquier otro agente externo que maltrate el funcionamiento o apariencia de los adoquines. Se recomienda que los adoquines se ubiquen lo más cerca posible al lugar de instalación, así se evitara si mayor manipulación y posible deterioro; si no es posible entonces se ubicaran a una distancia máxima de 20 m para no afectar al rendimiento de la instalación de los adoquines (NTG 41085, 2015).



2.2.8 Ventajas de pavimentos articulados

2.2.8.1 Escasos gastos de conservación

En un pavimento de adoquines el cual está sometido a la acción del medio ambiente y a la acción de las cargas, su mantenimiento se reduce a la eliminación de la vegetación que eventualmente se produce entre sus juntas de los bloques, también a suministrar la arena de sello. Por otro lado, también se tiene la corrección de regularidad superficial, en caso sea necesario. Este pavimento es el que presenta la mayor facilidad de levantamiento, con la posibilidad de ser reutilizado los mismos adoquines, en consecuencia tiene un mayor valor residual, esto hace que sea el pavimento más indicado para zonas que aún no cuentan con los servicios básicos instalados, o para zonas de rellenos susceptibles al asentamiento (IECA, 2014)

2.2.8.2 Amplias posibilidades expresivas

Solamente limitadas por la imaginación del propio proyectista, dada la gran variedad de colores, diversidad de formas y múltiples combinaciones que admiten las piezas. Por tanto podemos decir que en conjunto se consigue un importante efecto estético (IECA, 2014).

2.2.8.3 Ventajas medioambientales

Como todo elemento construido con concreto, el cual posee ciertas ventajas medioambientales que están relacionadas con la durabilidad del material, a su vez del uso de materiales locales para su fabricación. La ubicación cercana de las plantas de prefabricados de concreto, facilita y disminuye los impactos medioambientales generados al ser transportados. Más aún se debe considerar su completo reciclado, así como la posibilidad de reutilización como pavimento de adoquines (IECA, 2014).

2.2.8.4 Facilidad de instalación

Respecto a la instalación de adoquines, se considera de gran facilidad la colocación de los elementos prefabricados a ser instalados, ya que dentro de los tipos de adoquines se cuenta con unidades que son factibles a ser cogidos con la mano. Esto hace importante considerar la maniobrabilidad y comodidad en su instalación.



Figura 10: Instalación de los adoquines
Fuente: (NTG 41085, 2015)

2.2.9 Limitaciones de pavimentos de adoquines

2.2.9.1 Rendimiento de ejecución del pavimento

La colocación de adoquines se realiza básicamente de forma manual, aunque ya se han desarrollado algunos equipos para realizar la colocación mecánica de los adoquines. Sin embargo hay que considerar la combinación de colores con las que se disponga en planta, porque pueda no ser posible la utilización de estos equipos en la colocación de los adoquines (IECA, 2014).

2.2.9.2 Velocidad de circulación limitada

Los pavimentos de adoquines por la regularidad superficial y por la forma en que están compuestas no permiten velocidades de circulación elevadas. Lo cual hace que sea perfectamente adecuado al nivel de velocidad que usualmente tienen las ciudades (IECA, 2014).

2.2.10 El caucho

Es una materia prima proveniente de especies intertropicales entre las que destaca el árbol *Hevea Brasiliensis*. En donde por cortes en su corteza se rompen conductos lactíferos de los árboles que producen caucho, segregando un líquido lechoso y turbio el cual contiene caucho el cual tiene un aspecto emulsionado. Este producto es recogido en recipientes los cuales permiten almacenarlo hasta que son recogidos y recolectados para luego ser sometidos a un tratamiento de solidificación ya sea por evaporación o coagulación, ahumado, etc. Esto en el mismo lugar en donde se cosecha (CASTRO, 2008).

2.2.10.1 Caucho natural

Es un producto que proviene del látex las cuales son originadas en la corteza del tronco de algunas especies vegetales como defensa frente a heridas. El caucho natural está compuesto por una mezcla de grasas, hidrocarburos, algunas proteínas y azúcares de origen vegetal. En función de la especie vegetal la presencia del caucho esta entre un 80% y 95% siendo esencialmente un polímero del isopreno. Principalmente los árboles de donde se extraen el látex son los



euforbiáceas del genero *Hevea*, de donde es importante mencionar que la más representativa es la *Hevea brasiliensis*, que es originario de la cuenca hidrográfica del Amazonas. Es posible encontrar otras especies también según las zonas en donde se encuentren, como es el caso de la *Urceola elástica* de Asia y también la *Funtumia elástica* de África occidental o la *Castilla elástica* de México (Martín G., 2015).



Figura 11: Árbol de caucho (Hevea)

Fuente: (wiki.ead.pucv.cl/Archivo:Hevea.jpg, 2010)

2.2.10.1.1 Propiedades del caucho natural

Respecto a las propiedades químicas y físicas CASTRO (2008) menciona lo siguiente:

- El caucho en estado natural es un hidrocarburo de color blanco o incoloro.
- El compuesto de caucho más simple es el isopreno
- El caucho de 0°C a 10°C es frágil y opaco. Sin embargo, por encima de 20°C se vuelve flexible, blando y transparente.
- Al amasar mecánicamente el caucho o al aumentar su temperatura calentándolo por encima de 50°C el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso.
- Asimismo, al someter al caucho a temperaturas de 200°C o más este llega a descomponerse.
- El caucho puro es insoluble al contacto con el agua, álcali o ácidos débiles, pero soluble en benceno, petróleo, hidrocarburos clorados y disulfuro de carbono.
- El caucho con agentes químicos oxidantes se oxida prontamente. Sin embargo, con el oxígeno de la atmosfera este proceso es más lento.
- Las propiedades físicas del caucho en bruto tienden a variar con la temperatura. Cuando las temperaturas son bajas el caucho se vuelve rígido, y al congelarse en estado de



extensión obtiene estructura fibrosa. Al calentarlo a más de 100°C se ablanda y permanentemente sufre alteraciones.

- El caucho en bruto presenta una deformación permanente, esto se debe a su naturaleza plástica. Esta plasticidad es variable presentando distintas plasticidades de un árbol a otro.
- La plasticidad puede ser modificada por la acción de productos químicos, pero dentro de ciertos límites.
- La densidad del caucho a 0°C es de 0.950, mientras que a 20°C es de 0.934.
- El caucho en bruto deshelado después de la masticación por cilindros fríos no presenta variación de su densidad.
- Cuando el caucho es estirado durante un periodo de tiempo, este no vuelve a su estado original completamente. Es así que es calentado y entonces su recuperación es mayor en comparación a cuando está en temperatura ordinaria, este fenómeno se llama deformación residual o estiramiento permanente el cual es propio del caucho.
- El caucho bruto tiene la capacidad de absorber agua.

2.2.10.2 Caucho sintético

Es un producto elaborado artificialmente, habitualmente a partir de los refinados petrolíferos, las cuales poseen propiedades similares al caucho. Por lo tanto, se puede decir que tiene la capacidad de sufrir deformaciones elásticas mayores a otros materiales recuperando su forma original sin deformación permanente. El caucho sintético es producido a partir de la polimerización de una variedad de monómeros entre los que se encuentra el isopreno y el isobutileno, las cuales mediante adiciones controladas es posible modificar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas (Martín G., 2015).

2.2.10.3 El neumático

Respecto al neumático CASTRO (2008) menciona que es un elemento el cual hace posible a un vehículo poder desplazarse en forma suave a través de superficies lisas. Compuesta por una cubierta principalmente de caucho el cual contiene aire que a su vez soporta al vehículo y su carga. Su invención se debe al norteamericano Charles Goodyear quien fue el que descubrió en 1880, el proceso de vulcanización que le da resistencia y solidez requerida al caucho para fabricar neumáticos. La fabricación de neumáticos constituye un 60% de la producción anual de la industria del caucho.

Tabla 5: Composición media en peso de un neumático de turismo y un neumático de camión

COMPONENTE	Neumático de turismo % en peso	Neumático de camión % en peso
Caucho/Elastómeros	43%	42%
Negro de Carbono y Sílice	28%	24%
Acero	13%	25%
Textil	5%	-
Óxido de Zinc	2%	2%
Azufre	1%	1%
Acelerantes/antioxidantes	2,5%	2,2%
Ácido esteárico	1%	0,7%
Aceites	7%	1,6%

Fuente: (Pérez Aparicio & Sainz Rodríguez, 2018)



Figura 12: Composición de neumáticos

Fuente: buscadordetalleres.com

2.2.10.4 Neumáticos fuera de uso

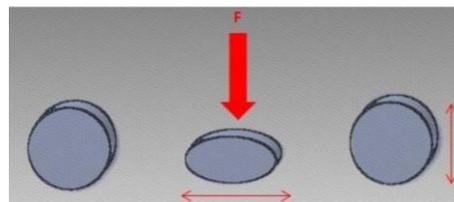
El neumático más conocido como llanta es fabricado principalmente a base de caucho, que es colocado en la rueda de un vehículo para proporcionarle adherencia al pavimento, estabilidad y confort. De todas las partes del vehículo solamente el neumático tiene contacto con el pavimento o suelo, motivo por el cual de aquí depende muchas veces el comportamiento del vehículo. Cada año cerca de 1000 millones de neumáticos en el mundo alcanzan el final de su vida útil, causando efectos negativos hacia el medio ambiente y también a las personas. Este número cada vez va en aumento. Por ejemplo en los Estados Unidos el consumo de neumáticos es mínimamente superior a una llanta por habitante/año, 275 millones (CHAVEZ MORE, 2018)



Figura 13: Neumáticos en desuso

2.2.10.5 Reciclado del caucho por trituración mecánica

La trituración mecánica es la forma más eficiente y económica para la reducción sustancial del tamaño de los neumáticos fuera de utilización. Asimismo en consideración del principio de trituración mecánica específicamente esta se da al separar la estructura de las moléculas de un sólido en el que se aplicó un esfuerzo que supera su límite de fluencia, el caucho al estar compuesto por largas cadenas poliméricas, esto hace que su comportamiento este caracterizado por ser muy elástico y tiende a recuperar su forma inicial al dejar de aplicar la fuerza sobre él (Luna Morocho, 2013)



*Figura 14: Recuperación elástica del caucho.
Fuente: (Luna Morocho, 2013)*

Respecto al proceso de trituración CHAVEZ (2018) indica que el caucho granulado es el resultado final del proceso de trituración el cual a su vez puede ser dividido en caucho molido o polvo de caucho. El caucho molido tiene partículas de tamaños de entre 9.5 mm y 0.85 mm, mientras que el polvo de caucho tiene partículas con tamaños de entre 1.2mm hasta 0.42 mm, es más se pueden encontrar partículas menos a 0.075 mm. La gravedad específica del polvo de caucho varía entre 1.10 y 1.20; los cuales ya no deberían estar con restos de acero, nylon u otros elementos contaminantes. El caucho granulado es usado en diversas industrias, como en las superficies de las canchas deportivas, productos y aplicaciones industriales (materiales para techado, absorción sonora, tapetes vibradores, etc.), en mezclas bituminosas y piezas



moldeadas. También ha sido investigado en el uso como agregado en la elaboración de morteros o concreto.

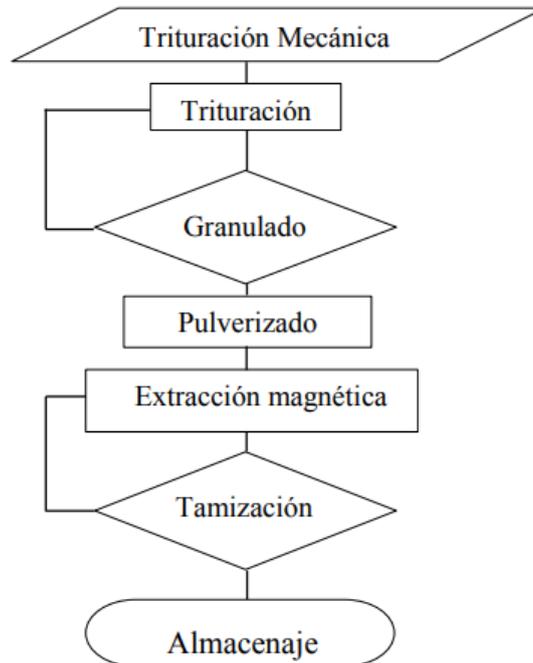


Figura 15: Flujo de trabajo en una planta de trituración mecánica de neumáticos

Fuente: (Luna Morocho, 2013)



Figura 16: Caucho triturado producto de neumáticos en desuso

2.2.10.6 Ventajas y desventajas de la trituración mecánica

Respecto a las ventajas y desventajas de la trituración mecánica de los neumáticos Luna (2013) indica las siguientes ventajas y desventajas:

2.2.10.6.1 Ventajas

- Escasa generación de los residuos. Por tanto, se evita los efectos que dañan el medio ambiente.
- Permite la reutilización de un material bastante elaborado en la fabricación de productos nuevos, lo que permite evitar así su degradación total.
- Los productos que se obtienen son de muy buena calidad, también libres de impurezas al no mantener contacto con factores químicos.
- El proceso de trituración por procedimientos mecánicos son el paso previo en los distintos métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos que están fuera de uso.

2.2.10.6.2 Desventajas

- Existe un costo alto por los requerimientos de un mantenimiento permanente de la maquinaria.
- El aprovechamiento de este producto que se ha obtenido aún no está sustancialmente desarrollado pese a que cuenta con un amplio mercado.



Figura 17: Proceso de tratamiento de los neumáticos al final de su vida útil

Fuente: (Pérez Aparicio & Sainz Rodríguez, 2018)



2.2.10.7 Aplicación del caucho granulado en la construcción

Se tienen estudios sobre la adición del caucho granulado que proviene de los neumáticos fuera de uso en cemento u concreto, en donde los mejores resultados encontrados fueron sobre el cemento autocompactante o Portland. A pesar de que el uso de las partículas de caucho en materiales cementosos disminuye la resistencia, su uso se vuelve importante porque mejora la fragilidad del cemento, evitando el colapso. Lo que posibilita la aplicación antisísmica y también para usos no estructurales (en donde la elevada resistencia no es una consideración importante) (Cano Serrano, Cerezo García, & Urbina Fraile, 2007).



Figura 18: Caucho reciclado fino

2.2.11 Cemento Portland

Es un cemento hidráulico producto de la pulverización del clinker el cual está compuesto básicamente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda (NTP 334.009, 2016).

Abanto C. (2009) Es un producto comercial de fácil adquisición el cual al mezclarse con el agua ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, posee la propiedad de reaccionar endureciéndose lentamente hasta formar una masa dura. Básicamente es un clinker finamente molido, producto de la cocción a temperaturas elevadas, de mezclas las cuales contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones especificadas.

2.2.11.1 Fabricación del cemento portland

Las materias primas finamente molidas y mezcladas, se calientan a temperaturas de (1400-1450°C), frecuentemente en hornos grandes y giratorios, que pueden alcanzar a medir más de 200 metros de longitud y 5.50 metros de diámetro. Al material parcialmente fundido que sale del horno se le denomina “clinker” (pequeñas esferas de color gris negruzco, duras y de



diferentes tamaños). El clinker ya frío y molido finamente, es lo que constituye el cemento portland. En el proceso de molienda se le agrega una pequeña cantidad de yeso (3 ó 4%) para controlar el fraguado del cemento (Abanto C., 2009).

2.2.11.2 Clasificación del cemento portland

Respecto a la clasificación del cemento, Abanto C. (2009) refiere la clasificación de los cementos en los siguientes cinco tipos:

- **TIPO I:** Para obras de concreto en general, cuando no es especificada la utilización de los otros cuatro tipos de cemento.
- **TIPO II:** Para obras de concreto en general y obras donde es requerido moderado calor de hidratación o para obras expuestas a la acción moderada de sulfatos.
- **TIPO III:** Es el cemento con alta resistencia inicial. El concreto que es elaborado con este cemento desarrolla una resistencia en tres días igual a la que desarrollan los concretos realizados con cemento tipo I en 28 días.
- **TIPO IV:** Cemento del cual es requerido el bajo calor de hidratación
- **TIPO V:** Cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Respecto a las aplicaciones se encuentran las estructuras hidráulicas, las cuales están expuestas a aguas con elevados contenidos de álcalis y estructuras que estén expuestas al agua de mar.

2.2.11.3 Cemento HE

Yura (2019) Cemento HE es un cemento portland de última generación. Fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico altamente reactivo y yeso. La composición del cemento HE permite la producción de concretos que requieran altas resistencias iniciales, concediendo propiedades adicionales para lograr alta durabilidad para que pueda ser utilizado en obras de construcción en general.

Propiedades:

- Alta resistencia inicial
- Incremento de impermeabilidad
- Resistencia moderada a sulfatos
- Menor calor de hidratación
- Disminuye a la acción nociva de álcali-agregado
- Aumento de la plasticidad y trabajabilidad en concretos



Figura 19: Cemento industrial HE

Fuente: (Yura, 2019)

Norma Técnica para la elaboración del Cemento Tipo HE es la: NTP 334.082 (ASTM C1157).

Beneficios Ambientales: Cuenta con menor consumo energético y menor emisión de CO₂.

Usos: En cuanto a sus usos esta mayormente orientado a unidades prefabricadas de concreto.

2.2.12 Agua

Respecto al agua para la elaboración de concreto TORRE C. (2004) define que las aguas potables, así también aquellas que no tengan sabores u olores pueden utilizarse para elaborar concreto. Es posible que aguas no potables puedan utilizarse para la elaboración de concreto si cumplen con algunos requisitos, frecuentemente en nuestro país se trabajan con aguas no potables más que todo en obras que se ubican en las afueras de las ciudades. Es importante el estudio de las características del agua ya que interviene en la reacción química con el cemento.

Tabla 6: Límites permisibles para el agua de mezcla y curado

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE		
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5,000	ppm	Máximo
Materia Orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1,000	ppm	Máximo
Sulfatos (ión SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ión Cl ⁻)	1,000	ppm	Máximo
pH	5 a 8		Máximo

Fuente: (NTP 339.088, 2006)



2.2.13 Agregados

Denominados también áridos, los cuales son materiales inertes que se pueden combinar con los aglomerantes (cemento, cal, etc) y con el agua formando los concretos y morteros. Los agregados son importantes porque componen el 75% en volumen de una mezcla típica de concreto. Por lo tanto es importante que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad, que tengan una superficie con ausencia de impurezas como barro, limo y materia orgánica que dificulten el enlace con la pasta de cemento (Abanto C., 2009).

La NTP 400.037 (2014) define los siguientes conceptos:

Agregado para concreto: Llamados también áridos, componen un conjunto de partículas, de origen natural o artificial las cuales pueden ser elaboradas o tratadas, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la presente norma NTP 400.037.

Arena: Agregado fino el cual proviene de la desintegración natural de las rocas.

Grava: Es el agregado grueso que proviene de la desintegración natural de material pétreo, usualmente depositados de forma natural en lechos de ríos y canteras.

Piedra chancada: Es el agregado grueso producto de la trituración artificial o mecánica de las gravas o rocas, escorias u otros.

Tamaño máximo: Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

Tamaño máximo nominal: Corresponde al menor tamiz de la serie utilizada, el cual produce el primer retenido entre 5% y 10%.

Módulo de fineza:

TORRE C. (2004) menciona que es un criterio que se estableció en el año de 1925 por Duff Abrams, que a partir de las granulometrías del material es posible conocer una fineza promedio del material que se utiliza mediante la expresión siguiente:

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acumulados retenidos (1}\frac{1}{2}\text{''}, \frac{3}{4}\text{''}, \frac{3}{8}\text{''}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100)}{100}$$

2.2.13.1 Clasificación de los agregados

2.2.13.1.1 Por su naturaleza

TORRE C. (2004) clasifica a los agregados por su naturaleza como:



- a) **El agregado fino:** Definido como aquel que pasa el tamiz 3/8", quedando retenido en la malla N°200, siendo el más usual la arena producto de la desintegración de las rocas.
- b) **El agregado grueso:** Queda retenido en el tamiz N° 4, el cual proviene de la desintegración de las rocas, es posible clasificarse en piedra chancada y grava.
- c) **El hormigón:** Conformado por una mezcla en proporciones arbitrarias de arena y grava, se utiliza tal cual se extrae en la cantera ya que se encuentra en forma natural en la cortea terrestre.

2.2.13.1.2 Por su densidad

Es posible la clasificación de agregados de peso específico normal los cuales están comprendidos entre 2.50 a 2.75. Para agregados ligeros los pesos específicos son menores a 2.50 y para agregados pesados los pesos específicos son mayores a 2.75 (TORRE C., 2004)

2.2.13.1.3 Por su origen, forma y textura superficial

TORRE C. (2004) en términos descriptivos indica que la forma de los agregados puede ser:

- Angular: Con bordes bien definidos, escasa evidencia de desgaste en bordes y caras, formado por la intersección de sus caras planas.
- Sub angular: Se evidencia poco desgaste en caras y bordes. Sin embargo, las caras están intactas.
- Sub redondeada: Considerable es el desgaste en sus bordes y caras.
- Redondeada: Los bordes están desgastados, casi eliminados
- Muy redondeada: Sin presencia de caras ni bordes.

Con referencia a la textura superficial pueden ser:

- Lisa
- Áspera
- Granular
- Vítrea
- Cristalina

Respecto a la textura superficial esta depende de la dureza, el tamaño de grano y las características de la roca original. La forma y la textura puede ser que influyan en la resistencia a la flexión del concreto, características a considerar obligatoriamente en concretos de alta resistencia. Asimismo, la forma y la textura de las arenas tienen una influencia en el agua requerido en el concreto.



2.2.13.1.4 Por su tamaño

TORRE C. (2004) menciona que los agregados para concreto tienen la siguiente clasificación:

- Agregados finos (arenas)
- Agregados gruesos (piedras)



Figura 20: Agregados fino y grueso

2.2.13.2 Propiedades de los agregados

2.2.13.2.1 Propiedades físicas

a) Densidad:

Está en función de la gravedad específica de sus componentes sólidos así también como de la porosidad del mismo material. Esta propiedad en los agregados es importante cuando se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las densidades bajas indican que el material es poroso, débil y de alta absorción (TORRE C., 2004).

b) Porosidad:

La palabra porosidad proviene de poro el cual significa espacio que no está ocupado por materia sólida, en la partícula de agregado es sumamente importante ya que influye en otras de sus propiedades como: estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, permeabilidad y absorción (TORRE C., 2004).

c) Peso unitario:

Comprende el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al ser incluidos los espacios entre las partículas influye la forma de acomodo de estos. Para su determinación los procedimientos se encuentran normalizados en la ASTM C 29 y NTP 400.017. Es un valor que permite hacer transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa (TORRE C., 2004).



d) Porcentaje de vacíos:

PASQUEL (1998) define el porcentaje de vacíos como la medida de volumen que esta expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. También depende de cómo se acomoden las partículas entre sí, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. La misma norma ASTM C-29 proporciona la fórmula para calcularlo, utilizando valores de peso específico y peso unitario estándar:

$$\% \text{ de Vacíos} = 100 \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Donde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

M = Peso unitario compactado seco

e) Humedad:

TORRE (2004) define la humedad como la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, influye en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla: En donde:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso natural} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

2.2.13.2.2 Propiedades resistentes

a) Resistencia:

La propiedad de resistencia de los agregados, depende de cómo este su composición textura y estructura. Por tanto, la resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados. Si las partículas de los agregados no se encuentran bien cementados entonces estos serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá permitir la resistencia total de la matriz cementante. Para medir la compresión de agregados la norma británica estableció un método que utiliza cilindros de 25.4 mm de diámetro y altura (TORRE C., 2004).



b) Tenacidad:

Esta característica está relacionada directamente con la flexión, textura del material y angularidad. También está asociada con la resistencia al impacto del material (TORRE C., 2004)

2.2.13.3 Requisitos normativos para agregados

2.2.13.3.1 Granulometría

Para el agregado fino, así como para el agregado grueso se tienen los siguientes requisitos especificados en la norma NTP 400.037

a) Agregado fino

Tabla 7: Granulometría del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	05 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente: (NTP 400.037, 2014)



b) Agregado grueso

Tabla 8: Requisitos granulométricos del agregado grueso

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (3/4 pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	63 mm a 37,5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 ½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25,0 mm a 12,5mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25,0 mm a 4,75mm (1 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	19,0 mm a 4 mm (¾ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	12,5 mm a 9,5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10
9 ^A	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10

Fuente: (NTP 400.037, 2014)

c) Sustancias dañinas

Respecto a las sustancias dañinas TORRE (2004) menciona que no excedan los siguientes porcentajes máximos:

Tabla 9: Sustancias dañinas

Descripción	Agregados	
	Fino	Grueso
Partículas deleznales	3%	5%
Material más fino que el tamiz N° 200	5%	1%
Carbón y lignito	0.5	0.50%

Fuente: (TORRE C., 2004)

d) Resistencia mecánica

Respecto a la resistencia mecánica de los agregados TORRE (2004) menciona que al ser determinados conforme a la NTP correspondiente, tales valores no excederán a los siguientes:



Tabla 10: Resistencia mecánica

Tipo de Resistencia Mecánica	% Máximo
Abrasión (Método de los Angeles)	50
Impacto	30

Fuente: (TORRE C., 2004)

2.2.14 Aditivos:

Respecto a los aditivos Abanto (2009) menciona que se denomina aditivo a las sustancias que son añadidas a los componentes del concreto, con el objetivo de modificar alguna de sus propiedades para realizarlo mejor, para el fin en que este destinado el concreto.

2.2.14.1 Tipos de aditivos

Abanto (2009) los aditivos son considerados en la norma de acuerdo a la siguiente clasificación:

- a) **Plastificante, reductor de agua:** Este aditivo reduce la cantidad de agua para el mezclado que se necesita para elaborar concreto. Asimismo, mejora la consistencia del concreto.
- b) **Retardador:** Alarga el tiempo de fraguado del concreto
- c) **Acelerador:** Reduce el tiempo de fraguado y desarrolla su resistencia inicial del concreto.
- d) **Plastificante y retardador:** Acorta la cantidad de agua requerido para el mezclado en la producción de un concreto con una consistencia dada y atrasa el fraguado.
- e) **Plastificante y acelerador:** Acorta la cantidad de agua para el mezclado para elaborar un concreto con una consistencia dada y desarrolla su resistencia.
- f) **Incorporadores de aire:** Introducen burbujas diminutas en la mezcla de cemento endurecida lo que genera un aumento en la resistencia del concreto frente a la acción de las heladas. Las burbujas funcionan como amortiguadores frente a los esfuerzos producidos por la congelación y descongelación.
- g) **Adhesivos:** Mejoran la capacidad de adherencia con el refuerzo
- h) Impermeabilizantes e inhibidores de corrosión.

2.2.14.1.1 Aditivo Plastificante SikaCem:

Es un aditivo líquido para la elaboración de morteros y concretos fluidos. Tiene la capacidad de reducir la cantidad de agua en aproximadamente 10% incrementando la resistencia, este aditivo no contiene cloruros por tanto no corroe los metales (Sika, 2019).



2.2.15 Concreto

Es un material usado comúnmente el cual se obtiene mediante la mezcla de tres componentes esenciales los cuales son: Cemento, agregados y agua, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente designado como aditivo. Estos componentes al ser mezclados producen lo que se denomina como concreto, a donde se introduce simultáneamente un quinto componente representado por el aire. La mezcla de los componentes del concreto produce una masa plástica, la cual es moldeada y compactada fácilmente. Sin embargo después de unas horas pierde gradualmente esta característica y comienza a adquirir comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, el cual se torna rígido, para finalmente convertirse en el concreto endurecido que viene a ser mecánicamente resistente (TORRE C., 2004).

Asimismo Abanto C. (2009) indica que el concreto está compuesto por una mezcla de cemento portland, agregado grueso, agregado fino, aire y agua dosificadas en proporciones apropiadas para obtener propiedades establecidas, especialmente la resistencia.

$$\text{CONCRETO} = \text{CEMENTO PORTLAND} + \text{AGREGADOS} + \text{AIRE} + \text{AGUA}$$

La reacción química del cemento y el agua unen las partículas de los agregados, componiendo un material heterogéneo. Algunas veces se aumentan sustancias, llamadas aditivos las cuales mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

2.2.15.1 Importancia del concreto

En la actualidad el concreto es el material de construcción de mayor uso. Es así que las posibilidades de uso del concreto son cada vez mayores, utilizándose actualmente en una amplia variedad de propósitos. Sin embargo en su calidad final depende del conocimiento profundo del material como también del profesional (TORRE C., 2004).

2.2.15.2 Materiales que componen el concreto

Según Abanto C. (2009) los materiales que componen el concreto son lo siguientes:

Ligantes: Cemento, agua.

Agregados: Agregado fino (arena), agregado grueso (grava, piedra chancada, confitillo y escoria de hornos).

Observación:

$$\text{Pasta} = \text{Cemento} + \text{agua}$$

$$\text{Hormigon} = \text{Agregado fino} + \text{agregado grueso}$$



Los procedimientos en la producción del concreto variarán en función de la obra requerida y con el tipo de concreto que se produzca. La producción de un buen concreto tiene las siguientes etapas:

1. Dosificación
2. Mezclado
3. Transporte
4. Colocación
5. Consolidación
6. Curado

2.2.15.3 Propiedades del concreto

2.2.15.3.1 Trabajabilidad

Es la facilidad que el concreto fresco presenta para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin presentar segregación y exudación durante el desarrollo de estas operaciones. Esta propiedad generalmente se puede observar en los ensayos de consistencia (Abanto C., 2009).

2.2.15.3.2 Consistencia

Respecto a la consistencia del concreto en estado fresco TORRE C. (2004) denomina la consistencia a la mayor o menor facilidad que tiene el concreto fresco para ser capaz de deformarse o adaptarse a una forma específica. La consistencia depende de:

- Agua de amasado
- Tamaño máximo nominal
- Granulometría
- Forma de los agregados.

Tabla 11: Clases de mezclas según su asentamiento

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	MÉTODO DE COMPACTACIÓN
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	>5"	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: (Abanto C., 2009)



2.2.15.3.3 Segregación

Es una propiedad del concreto en estado fresco que consta en la desintegración de las partes componentes del concreto, el agregado grueso se separa del mortero. La segregación es un fenómeno que perjudica el concreto produciendo bolsones de piedra, cangrejas, capas de arena, etc. Generalmente durante la manipulación y colocación del concreto son las causantes del fenómeno de segregación en las mezclas. La segregación sucede cuando parte del concreto se mueve más rápido que el concreto adyacente, como ejemplo la sacudida de las carretillas con ruedas metálicas producen los agregados se separe (Abanto C., 2009).

2.2.15.3.4 Exudación

Es la subida de una parte de agua perteneciente a la mezcla de concreto hacia la superficie a consecuencia de que los sólidos se han sedimentado. Esta anomalía se presenta luego de la colocación del concreto en el encofrado. La exudación puede ser a consecuencia de la inadecuada dosificación de la mezcla, por el exceso de agua, del uso de aditivos y de la temperatura ya que a mayor temperatura se tiene mayor es la velocidad de exudación. La exudación es perjudicial para el concreto ya que disminuye su resistencia ya que la relación agua – cemento se incrementó. Como consecuencia se obtiene un concreto poroso y poco durable (Abanto C., 2009).

2.2.15.3.5 Resistencia a compresión

La resistencia del concreto usualmente se determina a los 28 días de vaciado el concreto. Sin embargo, en estructuras especiales como presas y túneles, o cuando se utilizan cementos especiales, se pueden especificar a tiempos menores o mayores a 28 días. En túneles es muy frecuente la utilización de la resistencia a compresión a los 7 días o menos, mientras que en las presas se utiliza como referencia la resistencia a compresión a los 56 días o más (TORRE C., 2004).

2.2.15.3.6 Factores que afectan la resistencia

Abanto C.(2009) Define los siguientes factores que afectan a la resistencia del concreto:

- a) **La relación agua-cemento (a/c):** La relación a/c afecta la resistencia a compresión de los concretos con o sin aire incorporado. resistencia se reduce en ambos casos con el aumento de la relación a/c. por tanto es el factor principal que influye en la resistencia del concreto.
- b) **El contenido de cemento:** A medida que se reduce el contenido de cemento la resistencia disminuye.



- c) **El tipo de cemento:** La rapidez desarrollada por la resistencia tendrá variaciones en los concretos elaborados con diferentes tipos de cemento.
- d) **Las condiciones de curado:** El concreto se debe mantener en estado húmedo durante el periodo de curado, para que pueda aumentar su resistencia con el tiempo. Ya que las reacciones de hidratación del cemento ocurren solo en presencia de una cantidad de agua adecuada.

2.2.15.3.7 Resistencia a la flexión

Es importante conocer esta propiedad, dado que esta propiedad nos sirve para el diseño de estructuras que estarán cargadas. Normalmente su valor corresponde al 10% de la resistencia a compresión del concreto (TORRE C., 2004).

2.2.15.3.8 Durabilidad

El concreto debe tener la capacidad de resistir a la acción de la intemperie, a la acción de productos químicos y al desgaste, a los cuales estará expuesta a sometimiento en su servicio. Los daños ocasionados en gran medida por los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos efectos dañinos puede mejorarse incrementando la impermeabilidad incluyendo de 2 a 6% de aire con un agente inclusor de aire, o también aplicando revestimientos que protejan su superficie. Los agentes químicos dañan el concreto. Cuando ocurre un contacto entre el concreto y estos agentes, se debe proteger el concreto un revestimiento resistente. La resistencia al desgaste generalmente se logra con un concreto denso, de alta resistencia, elaborado con agregados duros (Abanto C., 2009)

2.2.15.3.9 Impermeabilidad

La impermeabilidad es definida por TORRE C. (2004) como la capacidad que tiene un material de dejar pasar agua a través de sus poros. El concreto por ser un sistema poroso de ningún modo va a ser totalmente impermeable. Para mejorar la impermeabilidad es posible utilizar aditivos impermeabilizantes, así también mantener una relación a/c muy baja. La permeabilidad depende de:

- Finura del cemento
- Cantidad de agua
- Compacidad



2.2.16 Diseño de mezcla

Respecto al diseño de mezcla TORRE (2004) menciona que el diseño de mezclas es el proceso de aplicación de los conocimientos técnicos y prácticos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, el cual permite lograr un material que satisface más eficiente y económicamente los requerimientos específicos del proyecto constructivo. Por tanto, permite la selección de las proporciones de los materiales que componen la unidad cubica del concreto.

Antes de dosificar una mezcla se debe conocer la siguiente información:

- Los materiales.
- El elemento a vaciar, tamaño y forma de las estructuras.
- Resistencia a la compresión requerida.
- Condiciones ambientales durante el vaciado.
- Condiciones a la que estará expuesta la estructura.

2.2.16.1 Método ACI 211

TORRE (2004) afirma que el procedimiento propuesto por el comité ACI 211, está basado en el empleo de tablas elaboradas por el Comité ACI 211, la secuencia para el diseño es la siguiente:

1. Seleccionar la resistencia requerida (f'_{cr})
2. Seleccionar el TMN del agregado grueso.
3. Seleccionar el asentamiento Tabla 14.
4. Seleccionar el contenido de aire atrapado Tabla 15.
5. Seleccionar el contenido de agua Tabla 16.
6. Seleccionar la relación agua/cemento, el cual sea por resistencia a compresión o por durabilidad. Tablas 17 y 18.
7. Calcular el contenido de cemento (5) / (6).
8. Calcular el peso del agregado grueso "Tabla 19", el cual proporciona el valor de b/b_0 , donde b_0 y b son los pesos unitarios secos con y sin compactar respectivamente del agregado grueso).
9. Cálculo de la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar el agregado fino.
10. Calcular el volumen del agregado fino.
11. Calcular el 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.

2.2.16.1.1 Procedimiento

1. Seleccionar la resistencia requerida (f'_{cr})

Caso 1: Si se cuenta con datos estadísticos de producción en obra, así como resultados de la rotura de probetas.

Se utilizarán las fórmulas para calcular el f'_{cr} :

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34Ds$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33Ds - 35$$

Donde:

f'_c : Resistencia a la compresión especificada (Kg/cm²)

f'_{cr} : Resistencia a la compresión requerida (Kg/cm²)

Ds: Desviación estándar en obra (Kg/cm²)

De los resultados se elegirá el mayor, siendo este el f'_{cr} requerido con el cual se va a diseñar.

Caso 2: No se cuenta con datos estadísticos necesarios (entre 15 y 30 resultados)

Se utilizarán las fórmulas anteriores, en donde al valor de Ds se amplificará multiplicando por un factor de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 12: Factor de incremento por número de ensayos

Nº ENSAYOS	FACTOR DE INCREMENTO
Menos de 15	Usar tabla Caso 3
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Fuente: (TORRE C., 2004)

Por tanto, para calcular el f'_{cr} tendremos:

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34(\alpha Ds)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33(\alpha Ds) - 35$$

Dónde:

α = Es el factor de amplificación



Caso 3: Se cuenta con escasos (menos de 15 ensayos) o ningún dato estadístico.

En este caso el Comité del ACI indica aplicar la siguiente tabla para determinar el f'_{cr} .

Tabla 13: Resistencia a la compresión requerida por resistencia a la compresión especificada

f'_c especificado	F'_{cr} (Kg/cm ²)
< 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
> 350	$f'_c + 98$

Fuente: (TORRE C., 2004)

2. Seleccionar el TMN del agregado grueso.

El Tamaño Nominal Máximo del agregado grueso no deberá ser mayor de uno de estos puntos:

- 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, torones o ductos de presfuerzo.
- 1/3 del peralte de las losas

3. Seleccionar el asentamiento Tabla 14.

Tabla 14: Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras

TIPO DE ESTRUCTURA	SLUMP MÁXIMO	SLUMP MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: (TORRE C., 2004)



4. Seleccionar el contenido de aire atrapado Tabla 15.

Tabla 15: Contenido de aire atrapado

TNM 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: (TORRE C., 2004)

5. Seleccionar el contenido de agua Tabla 16.

Tabla 16: Volumen de agua

Asentamiento	Agua en lt/m ³ , para TNM agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
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	187	184	174	166	154	--

Fuente: (TORRE C., 2004)

6. Seleccionar la relación agua/cemento, el cual sea por resistencia a compresión o por durabilidad. Tablas 17 y 18.

Tabla 17: Relación agua/cemento por resistencia

f _c Kg/cm ²	Relación a/c en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.8	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: (TORRE C., 2004)



Tabla 18: Condiciones especiales de exposición

Condiciones de exposición	Relación a/c máxima, en concretos con agregados de peso normal	Resistencia en compresión mínima en concretos con agregados livianos
Concreto de baja permeabilidad		
Expuesto al agua dulce	0.50	260
Expuesto ala agua de mar o aguas solubles	0.45	
Expuesto a la acción de aguas cloacales	0.45	
Concretos expuestos a procesos de congelación y deshielo en condiciones húmedas		
Sardineles, cunetas, secciones delgadas	0.45	300
Otros elementos	0.50	
Protección contra la corrosión del concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salubres, neblina o rocío de estas aguas	0.40	325
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45	300

La resistencia f_c no debera ser menor de 245 Kg/cm² por razones de durabilidad

Fuente: (TORRE C., 2004)

7. Calcular el contenido de cemento dividiendo los pasos (5) / (6).

Se calculará dividiendo (5) / (6)

8. Calcular el peso del agregado grueso “Tabla 19”, el cual proporciona el valor de b/bo, donde bo y b son los pesos unitarios secos con y sin compactar respectivamente del agregado grueso).

Respecto a la estimación del contenido del agregado grueso Abanto C. (2009) proporciona la siguiente expresión:

$$C.A.G. = (V.A.G. de tabla) \times (P.U.S. y C.A.G.)$$

C.A.G. = Cantidad de agregado grueso en (kg)

V.A.G = Volumen de agregado grueso en (m³)

P.U.S. y C.A.G. = Peso unitario seco y compactado del agregado grueso en (kg/m³)



Tabla 19: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

TNM del agregado Grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de 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

Fuente: (TORRE C., 2004)

9. Cálculo de la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar el agregado fino.

Considerando la siguiente formula:

$$Volumen = \frac{Peso Seco}{Peso Específico}$$

10. Calcular el volumen del agregado fino.

Considerando la siguiente formula:

$$Volumen del agregado fino (m3) = (1 - volumen absoluto (m3))$$

11. Calcular el peso en estado seco del agregado fino.

$$Peso seco del A.F. (kg) = (Paso N°10) (m3) \times Peso específico seco A.F. (kg/m3)$$

12. Presentación del diseño en estado seco.

Cemento (kg), Agua (lt), Aire (%), Agregado grueso (kg), Agregado fino (kg) y Aditivo (lt).

13. Corrección del diseño por el aporte de humedad de los agregados.

Respecto a la corrección por humedad Abanto C. (2009) proporciona las siguientes expresiones:

- Peso de los agregados húmedos:

$$Peso humedo A.G. (kg) = (Peso A.G.seco) \times \left(1 + \frac{\% humedad A.G.}{100}\right)$$

$$Peso humedo A.F. (kg) = (Peso A.F.seco) \times \left(1 + \frac{\% humedad A.F.}{100}\right)$$



- Aporte de agua a la mezcla:

$$\text{Agua en A. G. (lt)} = (\text{Peso A. G. seco}) \times \left(\frac{\% \text{ humedad A. G.} - \% \text{ absorción A. G.}}{100} \right)$$

$$\text{Agua en A. F. (lt)} = (\text{Peso A. F. seco}) \times \left(\frac{\% \text{ humedad A. F.} - \% \text{ absorción A. F.}}{100} \right)$$

- Agua efectiva:

$$\text{Agua efectiva (lt)} = (\text{Agua de diseño}) - (\text{Agua en A. G.} + \text{Agua en A. F.})$$

14. Presentación del diseño en estado húmedo.

Cemento (kg), Agua (lt), Aire (%), Agregado grueso (kg), Agregado fino (kg) y Aditivo (lt).

2.2.17 Desviación estándar y coeficiente de variación en el concreto

- **Desviación estándar:** La desviación estándar es el parámetro que indica el grado de dispersión que existe entre la resistencia a compresión para un determinado $f'c$ (TORRE C., 2004). Está definida como:

$$Ds = \sqrt{\frac{\sum(X - X_{prom})^2}{n - 1}}$$

Dónde:

Ds = Desviación estándar

X_{prom} = Resistencia promedio

X = Resistencia individual

N = Número de ensayos

- **Coficiente de Variación:** Respecto al el coeficiente de variación TORRE (2004) indica que se tiene como expresión la siguiente formula:

$$V = \frac{Ds}{X_{prom}} \times 100$$

Dónde:

Ds = Desviación estándar

X_{prom} = Resistencia promedio



2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

- La evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 Tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019, cumplen con las normas que evalúan sus propiedades.

2.3.2 Sub hipótesis

- **Sub hipótesis N° 01**

La tolerancia dimensional del adoquín 6 tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, varía dentro de (+- 1.6 de Longitud), (+-1.6 de Ancho) y (+-3.2 de Espesor).

- **Sub hipótesis N° 02**

La densidad del adoquín 6 tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, es menor respecto al adoquín sin reemplazo.

- **Sub hipótesis N° 03**

La absorción de las unidades individuales del adoquín 6 tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, es menor de 7.5%.

- **Sub hipótesis N° 04**

La absorción promedio de cada 3 unidades del adoquín 6 tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, es menor de 6%.

- **Sub hipótesis N° 05**

La resistencia a la compresión de las unidades individuales del adoquín 6 tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, es mayor a 380kg/cm².

- **Sub hipótesis N° 06**

La resistencia a la compresión promedio de cada 3 unidades del adoquín 6 tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, es mayor a 420kg/cm².

- **Sub hipótesis N° 07**

La resistencia a la flexión del adoquín 6 tipo II reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, es mayor a 35.7kg/cm².

2.4 Definición de variables

2.4.1 Variables independientes

X1: Adoquín 6 tipo II con caucho reciclado



Unidad de albañilería de concreto para pavimento de tránsito vehicular ligero, elaborado con agregados seleccionados y reemplazado el agregado fino con caucho reciclado en porcentajes progresivos.

2.4.1.1 Indicadores de variables independientes

Indicadores de la variable independiente X1:

- Cantidad de agua (Lt)
- Cantidad de cemento industrial HE (kg)
- Cantidad de agregado fino y grueso (kg)
- Cantidad de caucho reciclado fino (kg)
- Cantidad de aditivo (mLt)
- Tipo de Diseño
- Dimensiones (L (cm), A (cm), H (cm)).

2.4.2 Variables dependientes

Y1: Propiedades físicas del adoquín 6 tipo II

Características de la unidad de albañilería susceptible a ser medida, que definen y describen el comportamiento del adoquín de concreto. Propiedades tales como: Tolerancia dimensional, densidad y absorción.

Y2: Propiedades mecánicas del adoquín 6 tipo II

Características de la unidad de albañilería susceptible a ser medida, que definen y describen el comportamiento del adoquín de concreto al interactuar con otro elemento externo. Propiedades tales como: Resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

2.4.2.1 Indicadores de variables dependientes

Indicadores de la variable dependiente Y1:

- Longitud, ancho y espesor de adoquines (mm)
- Porcentaje de absorción de adoquines (%)
- Densidad de adoquines (kg/m³)

Indicadores de la variable dependiente Y2:

- Resistencia a la compresión promedio e individual de adoquines (Mpa) (Kg/cm²)
- Resistencia a la flexión de adoquines (Mpa) (kg/cm²)



2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 20: Matriz de operacionalización de variables

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL ADOQUÍN 6 TIPO II, REEMPLAZANDO EL AGREGADO FINO POR CAUCHO RECICLADO, CUSCO 2019.				
VARIABLE INDEPENDIENTE	DESCRIPCION DE VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
X1: Adoquín 6 tipo II con caucho reciclado	Unidad de albañilería de concreto para pavimento de tránsito vehicular ligero, elaborado con agregados seleccionados y reemplazado el agregado fino con caucho reciclado en porcentajes progresivos.	<p>Para X1:</p> 1) Agua 2) Cemento 3) Agregados 4) Caucho reciclado 5) Aditivo 6) Diseño de mezcla 7) Dimensiones del adoquín	<p>Para X1:</p> 1) Cantidad de agua (Lt) 2) Cantidad de cemento industrial tipo HE (kg) 3) Cantidad de agregado fino y grueso (kg) 4) Cantidad de caucho reciclado (kg) 5) Cantidad de aditivo (mLt) 6) Tipo de Diseño 7) Dimensiones (L(cm), A(cm), H(cm)).	Método ACI 211 Ensayos de agregados en laboratorio Fichas técnicas
VARIABLE DEPENDIENTE	DESCRIPCION DE VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Y1: Propiedades Físicas del adoquín 6 tipo II	Características de la unidad de albañilería susceptible a ser medida, que definen y describen el comportamiento del adoquín de concreto. Propiedades tales como: Tolerancia dimensional, densidad y absorción.	<p>Para Y1:</p> 1) Tolerancia dimensional 2) Densidad 3) Absorción promedio e individual	<p>Para Y1:</p> 1) Longitud, ancho y espesor de adoquines (mm) 2) Densidad de adoquines (kg/m3) 3) Porcentaje de absorción de adoquines (%)	Ensayos del adoquín de concreto en laboratorio Fichas técnicas Normas:
Y2: Propiedades Mecánicas del adoquín 6 tipo II	Características de la unidad de albañilería susceptible a ser medida, que definen y describen el comportamiento del adoquín de concreto al interactuar con otro elemento externo. Propiedades tales como: Resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.	<p>Para Y2:</p> 1) Resistencia a la compresión (promedio e Individual) 2) Resistencia a la flexión.	<p>Para Y2:</p> 1) Resistencia a la Compresión promedio e individual de adoquines (Mpa) (Kg/cm2) 2) Resistencia a la flexión de adoquines (Mpa) (kg/cm2)	NTP 399.611 2010 NTG 41086 NTP 399.604 NTG 41087 h1



Capítulo III: Metodología

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Enfoque de la investigación

Cuantitativo: La presente investigación tiene carácter cuantitativo porque permite la obtención de datos respecto a las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II. Asimismo, permite evaluar los resultados obtenidos de donde se obtiene conclusiones para comprender mejor el comportamiento del adoquín 6 tipo II al reemplazar el agregado fino por caucho reciclado fino en porcentajes de 3%, 6% y 9%.

Hernández, Fernández & Baptista (2014) indican que el enfoque cuantitativo hace uso de la recolección de datos que permiten comprobar la hipótesis planteada, basándose en mediciones numéricas y estadísticas. Lo que posibilita establecer pautas de comportamiento y comprobar las teorías.

3.1.2 Nivel o alcance de la investigación

Descriptivo - correlacional: La presente investigación tiene un alcance descriptivo – correlacional, en base a que se describe y asocia específicamente la evaluación de las propiedades físico - mecánicas de los adoquines de concreto reemplazados al agregado fino con caucho reciclado fino en porcentajes de 3%, 6% y 9% con la evaluación de las propiedades físico - mecánicas el adoquín patrón.

Hernández, Fernández & Baptista (2014) indican que los estudios descriptivos busca especificar la importancia de las propiedades y características de cualquier fenómeno analizado. Asimismo describe las tendencias de una población o grupo.

Hernández et al. (2014) indican que los estudios correlacionales asocian las variables mediante un predecible patrón para una población o grupo.

3.1.3 Método de investigación

Método Hipotético – Deductivo: La presente investigación basa los estudios en el método Hipotético – deductivo, con referencia al planteamiento de hipótesis a ser evaluadas. Posteriormente deducirlas para contrastar las hipótesis de cumplimiento o no al ser evaluadas.



3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño metodológico

Diseño Cuasiexperimental: La presente investigación tiene un diseño Cuasiexperimental, basado en la designación y conformación de las variables independientes como dependientes. Se observa que la variable independiente “adoquín 6 tipo II con caucho reciclado” genera efecto sobre las variables dependientes las cuales son “propiedades físicas del adoquín 6 tipo II, propiedades mecánicas del adoquín 6 tipo II”.

Hernández, Fernández & Baptista (2014) indican que los diseños cuasi experimentales manipulan mínimamente una variable independiente, para observar el efecto que genera sobre una o más variables dependientes. En los diseños Cuasiexperimentales los grupos de estudio ya están conformados con anterioridad al experimento, razón por la cual los sujetos y grupos no son asignados al azar.



3.2.2 Diseño de ingeniería

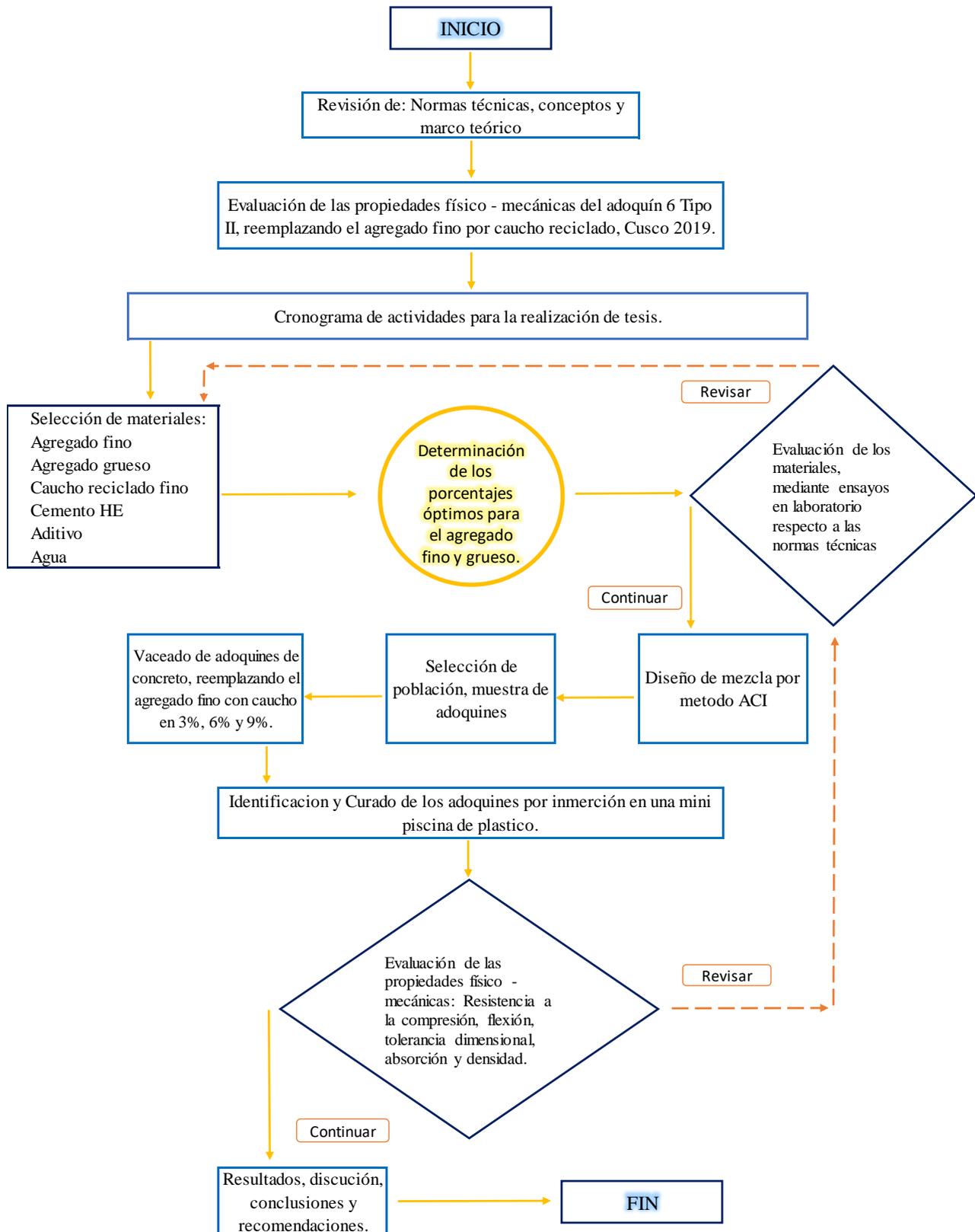


Figura 21: Diseño de ingeniería



3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción de la población

Estadísticamente se denomina población o universo al conjunto de elementos que serán estudiados. Ejemplo si deseamos estudiar el coeficiente de inteligencia de los universitarios del Perú, entonces el universo o población vendrían a ser todos los estudiantes universitarios del Perú. Asimismo si deseáramos estudiar sobre las deficiencias estructurales de las viviendas de la ciudad de Chiclayo, el universo o población sería el total de viviendas que se ubican en esta ciudad (Borja S., 2012).

La muestra de la presente investigación está compuesta por la fabricación del adoquín 6 tipo II, Con dimensiones de 20 cm de longitud, 10 cm de ancho y 6 cm de espesor. Adoquines que están compuestos por el adoquín patrón, adoquín con 3% de caucho, adoquín con 6% de caucho y adoquín con 9% de caucho.

3.3.1.2 Cuantificación de la población

Respecto a la cantidad de adoquines que componen la población de la presente investigación, se tiene la cantidad de 96 unidades del adoquín 6 tipo II con las dimensiones de 20 cm de longitud, 10 cm de ancho y 6 cm de espesor. Adoquines a los que se les ha reemplazado por el agregado fino, con caucho reciclado fino en porcentajes de 3%, 6% y 9%.

Tabla 21: Cuantificación de población

Descripción	Cantidad
Adoquin patrón	24
Adoquin con 3% de reemplazo de caucho	24
Adoquin con 6% de reemplazo de caucho	24
Adoquin con 9% de reemplazo de caucho	24
Total de adoquines	96



3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

Hernández, Fernández & Baptista (2014) define la muestra como un sub grupo del universo o población. El uso y aplicación es por aspectos económicos, de recursos y de tiempo. El cual permite definir la unidad de análisis y muestreo de la población o universo. Asimismo, necesita delimitar la población o universo para establecer parámetros y generalizar resultados.

La muestra de la presente investigación es idéntica a la población. Se delimita toda la población como muestra como unidad de análisis, en donde la muestra representa 96 unidades del adoquín 6 tipo II con las dimensiones de 20 cm de longitud, 10 cm de ancho y 6 cm de espesor, a los que se les ha reemplazado por el agregado fino, con caucho reciclado fino en porcentajes de 3%, 6% y 9%.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

La población y muestra de la presente investigación, el tamaño de la muestra corresponde a 96 unidades del adoquín 6 tipo II, de donde se designó 6 unidades por cada variación de porcentaje de reemplazo de caucho reciclado fino, para determinar sus propiedades físico - mecánicas.

Respecto a la NTP 399.604 (2002) en donde menciona que para la determinación de la resistencia a la compresión, absorción, densidad y contenido de humedad, **se seleccionan 6 unidades de cada 10 000 unidades o menos**. Asimismo, se seleccionan 12 unidades de cada lote de más de 10 000 y menos de 100 000 unidades. Para lotes de más de 100 000 unidades, se seleccionan 6 unidades por cada lote de 50 000 unidades o su fracción. Si se adicionan especímenes mediante acuerdo entre comprador y vendedor.

- Para la presente investigación se toma como referencia lo mencionado por la NTP 399.604, para los ensayos realizados como son: Resistencia a la compresión, absorción, densidad y tolerancia dimensional.

Respecto a la NTG 41086 (2012) en donde menciona que los lotes de menor de 10 000 unidades, se seleccionan 9 unidades muestreadas, de donde previamente a la realización de las pruebas, 5 unidades se utilizaran para verificar las características geométricas. Seguidamente, 3 unidades para la prueba de absorción, otras **3 unidades se ensayarán para determinar el módulo de ruptura**, los 3 restantes para la resistencia a la abrasión.

- Para la presente investigación se toma como referencia lo mencionado en la NTG 41086, específicamente para el ensayo de resistencia a la flexión (módulo de ruptura).



La muestra cuantificada para la presente investigación tiene la siguiente distribución:

Tabla 22: Cuantificación de la muestra

Adoquines con reemplazo de agregado fino por caucho reciclado fino en (%)	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión	Resistencia a la flexión	Tolerancia dimensional, densidad y absorción.
Adoquin patrón	6	6	6	6
Adoquin con 3% de reemplazo de caucho	6	6	6	6
Adoquin con 6% de reemplazo de caucho	6	6	6	6
Adoquin con 9% de reemplazo de caucho	6	6	6	6
Adoquines por ensayo	24	24	24	24
Total de adoquines (unidad)	96			

3.3.2.3 Método de muestreo

3.3.2.3.1 Muestra no probabilística:

Denominadas también muestras dirigidas, en donde la selección de muestras tiene una orientación basada en las características propias de la investigación. Donde vemos que la elección de las muestras no se basa en la probabilidad. Este método de muestreo se utiliza en investigaciones cuantitativas y cualitativas (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Muestra por cuotas: Muestra no probabilística, donde Borja S. (2012) define que es la selección de objetos de estudio que es representada proporcionalmente a la población.

Por lo tanto coincidimos, en que la muestra de la presente investigación es “no probabilística”, debido a que la muestra elegida proporcionalmente a la población y no tiene una selección estadística. Asimismo la cantidad de la muestra es igual a la cantidad de la población, en donde el tamaño de la población es finita.

A continuación se tiene la distribución de las muestras por ensayo:



Tabla 23: Cuantificación de la muestra para ensayo de resistencia a compresión

Adoquines con reemplazo de agregado fino por caucho reciclado fino en (%)	Resistencia a la compresión	Resistencia a la compresión
	7 días	28 días
Adoquin patrón	6	6
Adoquin con 3% de reemplazo de caucho	6	6
Adoquin con 6% de reemplazo de caucho	6	6
Adoquin con 9% de reemplazo de caucho	6	6
Adoquines por ensayo	24	24
Total de adoquines (unidad)	48	

Tabla 24: Cuantificación de la muestra para ensayo de resistencia a flexión

Adoquines con reemplazo de agregado fino por caucho reciclado fino en (%)	Resistencia a la flexión
	28 días
Adoquin patrón	6
Adoquin con 3% de reemplazo de caucho	6
Adoquin con 6% de reemplazo de caucho	6
Adoquin con 9% de reemplazo de caucho	6
Adoquines por ensayo	24
Total de adoquines (unidad)	24

Tabla 25: Cuantificación de la muestra para ensayo de Tolerancia dimensional, densidad y absorción

Adoquines con reemplazo de agregado fino por caucho reciclado fino en (%)	Tolerancia dimensional, densidad y absorción.
	28 días
Adoquin patrón	6
Adoquin con 3% de reemplazo de caucho	6
Adoquin con 6% de reemplazo de caucho	6
Adoquin con 9% de reemplazo de caucho	6
Adoquines por ensayo	24
Total de adoquines (unidad)	24



3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra

Respecto a los criterios de evaluación de la muestra, se tomaron las siguientes medidas previas:

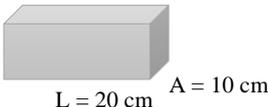
- El vaciado de adoquines se realizó siguiendo el diseño de mezcla realizado para la presente investigación.
- Los adoquines fabricados fueron debidamente seleccionados e identificados como: adoquín patrón, adoquín con 3% de caucho, adoquín con 6% de caucho y adoquín con 9% de caucho.
- Los adoquines fabricados tengan un proceso adecuado de curado, para el presente caso se realizó mediante inmersión.
- Los adoquines de concreto sean cuidadosamente transportados y preparados para su evaluación.

Es así que, ya contando con todas las muestras listas para la evaluación, se realizaron los siguientes ensayos, con respecto a las normas técnicas específicas para cada caso.



• Normas técnicas para la evaluación de adoquines

Tabla 26: Normas técnicas para la evaluación del adoquín 6 tipo II

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS							
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.							
Dimensiones de adoquín:	Adoquín	Tipo	Longitud	Ancho	Espesor	E = 6 cm  L = 20 cm A = 10 cm	
	6	II	200 mm	100 mm	60 mm		
Ensayos	Requisitos					Norma de evaluación	Norma de ensayo
Tolerancia dimensional	Adoquín 6	Tipo	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	NTP 399.611 2010 (Revisada el 2015)	NTP 399.604 2002
		II	+- 1.6	+- 1.6	+- 3.4		
Absorción (máxima)	Adoquín 6	Tipo	Promedio de 3 unidades		Unidad individual	NTP 399.611 2010 (Revisada el 2015)	NTP 399.604 2002
		II	<= 6%		<= 7.5%		
Densidad	Adoquín 6	Tipo	Promedio de 3 unidades		Unidad individual	Respecto a adoquín Patrón	NTP 399.604 2002
		II	en kg/m3		en kg/m3		
Resistencia a la compresión (mínima), respecto al área bruta	Adoquín 6	Tipo	Promedio de 3 unidades		Unidad individual	NTP 399.611 2010 (Revisada el 2015)	NTP 399.604 2002
		II	41 Mpa 420 kg/cm2		37 Mpa 380 kg/cm2		
Resistencia a la flexión (módulo de ruptura)	Valores de resistencia a la flexión mínima, equivalentes para el Adoquín 6 Tipo II		Promedio de 3 unidades		Unidad individual	NTG 41086 (2012)	NTG 41087 h1
			4.1 Mpa 42 kg/cm2		3.5 Mpa 35.7 kg/cm2		



3.3.3 Criterios de inclusión

Respecto a los criterios de inclusión de la presente investigación, tenemos:

- La investigación basa la evaluación del adoquín 6 de tipo II, con dimensiones de 20 cm de longitud, 10 cm de ancho y 6 cm de espesor.
- Los adoquines de concreto tienen reemplazos en peso del agregado fino por caucho reciclado fino en porcentajes de: 3%, 6% y 9%.
- El diseño de mezcla basado en el método del comité 211 del A.C.I. Donde la dosificación del diseño de mezcla está en proporciones dadas en peso (cemento: agregado grueso: agregado fino: agua), con dosificación de aditivo como superplastificante con 500 mL por bolsa de cemento HE de 42.5 Kg.
- Molde metálico manual para adoquines, diseñado por el tesista.
- En el vaciado de adoquines realizado con una mezcladora portátil tipo trompo carretilla.
- El curado de adoquines realizado por inmersión, en una mini piscina de plástico llena de agua, de la red pública.
- La evaluación de resistencia a compresión de adoquines es realizada a los 7 y 28 días. Asimismo, la evaluación de flexión, tolerancia dimensional, absorción y densidad realizada a los 28 días.
- La investigación evalúa las propiedades físico - mecánicas como la resistencia a compresión de los adoquines, en “unidades completas” de adoquines para su análisis.
- Se tiene el uso de agregados de las canteras de: Pisac (arena fina) y de Vicho (confitillo, agregado grueso).
- De donde se obtuvo el agregado fino: Resultado de la combinación de (30% de confitillo de Vicho, 70% arena fina de Pisac). Asimismo, el agregado grueso: Resultado de la combinación de (34% de agregado grueso de Vicho con Tamaño Máximo Nominal de 3/8”, 66% de confitillo de Vicho).
- Respecto al caucho reciclado fino de Tamaño Máximo Nominal de N°4 (4.75 mm), proveniente de la reencauchadora Choque, ubicado en el distrito de Oropesa,
- Respecto al cemento que se utilizó, es el cemento industrial Yura tipo HE de 42.5 Kg.
- Respecto al agua que se utilizó, es el agua potable a temperatura ambiente, de la red pública del distrito de San Sebastián.
- Respecto al aditivo que se utilizó, es el aditivo SikaCem plastificante de la marca Sika, en dosificación recomendada en la hoja de datos del producto para superplastificante.



3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

La presente investigación para recolectar y ordenar información tiene como instrumentos de recolección de datos los siguientes formatos:

3.4.1.1 Ensayo de Malla N° 200 (MTC E 202.)

Tabla 27: Ficha para ensayo de Malla N° 200

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Cantidad de material fino que pasa la malla N° 200.			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Muestra				Fecha	
Tesista		CESAR MARIN QUISPE		Lugar	
				Laboratorio IC-UAC	
Datos específicos					
% QUE PASA POR MALLA N°200: _____					
Descripción		Cantidad		Unidad	
Peso seco de la muestra inicial				g	
Peso seco de la muestra lavada				g	
% QUE PASA POR MALLA N°200: _____					
Descripción		Cantidad		Unidad	
Peso seco de la muestra inicial				g	
Peso seco de la muestra lavada				g	



3.4.1.2 Ensayo de Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204.)

- Formato para granulometría de agregados finos.

Tabla 28: Ficha para granulometría de agregados finos.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Granulometria de agregados finos			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Muestra				Fecha	
Tesista		CESAR MARIN QUISPE		Lugar	
				Laboratorio IC-UAC	
Datos específicos					
Tamiz			Peso retenido (g)		
Pulgadas (Pg)		Milímetros (mm)			
3/8"		9.50			
N° 4		4.75			
N° 8		2.36			
N° 16		1.18			
N° 30		0.60			
N° 50		0.30			
N° 100		0.15			
N° 200		0.075			
Fondo		-			
TOTAL					



- Formato para granulometría de agregados gruesos.

Tabla 29: Ficha para granulometría de agregados gruesos

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																
Ensayo		Granulometria de agregados gruesos																																
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.																																		
Datos generales																																		
Muestra				Fecha																														
Tesista		CESAR MARIN QUISPE		Lugar																														
				Laboratorio IC-UAC																														
Datos específicos																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Tamiz</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">Peso retenido (g)</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Pulgadas (Pg)</th> <th style="text-align: center;">Milímetros (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1/2"</td> <td style="text-align: center;">12.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td style="text-align: center;">9.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N° 4</td> <td style="text-align: center;">4.75</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N° 8</td> <td style="text-align: center;">2.36</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N° 16</td> <td style="text-align: center;">1.18</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N° 50</td> <td style="text-align: center;">0.30</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Fondo</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">TOTAL</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Tamiz		Peso retenido (g)	Pulgadas (Pg)	Milímetros (mm)	1/2"	12.50		3/8"	9.50		N° 4	4.75		N° 8	2.36		N° 16	1.18		N° 50	0.30		Fondo	-		TOTAL		
Tamiz		Peso retenido (g)																																
Pulgadas (Pg)	Milímetros (mm)																																	
1/2"	12.50																																	
3/8"	9.50																																	
N° 4	4.75																																	
N° 8	2.36																																	
N° 16	1.18																																	
N° 50	0.30																																	
Fondo	-																																	
TOTAL																																		



3.4.1.3 Ensayo de Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E 203.)

Tabla 30: Ficha para ensayo de peso unitario suelto y compactado de agregados

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo	Peso unitario suelto y compactado de agregados			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.				
Datos generales				
Muestra			Fecha	
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE		Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos				
<u>PESO UNITARIO SUELTO:</u> _____				
Descripción	Cantidad			Unidad
	1	2	3	
Peso del recipiente más el agregado				g
Peso del recipiente				g
Peso del agregado				g
Volumen del recipiente				cm ³
<u>PESO UNITARIO COMPACTADO:</u> _____				
Descripción	Cantidad			Unidad
	1	2	3	
Peso del recipiente más el agregado				g
Peso del recipiente				g
Peso del agregado				g
Volumen del recipiente				cm ³



3.4.1.4 Ensayo de Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205.), (NTP 400.022 2013).

Tabla 31: Ficha para ensayo de Gravedad específica y absorción de agregados finos

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Ensayo	Peso específico y absorción de agregado fino		
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.			
Datos generales			
Muestra		Fecha	
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos			
<u>PESO ESPECIFICO:</u> _____			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso del material secado al horno		g	
Peso del picnometro + peso de agua		g	
Peso del picnometro		g	
Peso del picnometro + peso de agua + peso del material		g	
Peso del material superficialmente seca		g	



3.4.1.5 Ensayo de Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206.)

Tabla 32: Ficha para ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Ensayo	Peso específico y absorción de agregado grueso	
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.		
Datos generales		
Muestra		Fecha
Tesista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar
		Laboratorio IC-UAC
Datos específicos		
<u>PESO ESPECÍFICO</u>		
Descripción	Cantidad	Unidad
Peso de la muestra seca en el aire (A)		g
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (B)		g
Peso en el agua de la muestra saturada (C)		g



3.4.1.6 Ensayo de Abrasión los ángeles (MTC E 207.)

Tabla 33: Ficha para ensayo de Abrasión los ángeles

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Ensayo	Abrasión los ángeles					
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.						
Datos generales						
Muestra		Fecha				
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar				
		Laboratorio IC-UAC				
Datos específicos						
<hr/>						
Descripción	Cantidad	Unidad				
Peso del agregado seco inicial		g				
Peso después del proceso de desgaste		g				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">* Tamaño Nominal Máximo</td> <td style="width: 100px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">* Gradación de la muestra de ensayo</td> <td style="width: 100px; height: 20px;"></td> </tr> </table>			* Tamaño Nominal Máximo		* Gradación de la muestra de ensayo	
* Tamaño Nominal Máximo						
* Gradación de la muestra de ensayo						



3.4.1.7 Ensayo de Contenido de humedad (MTC E 215.)

Tabla 34: Ficha para ensayo de Contenido de humedad

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Porcentaje de humedad de agregados			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Muestra				Fecha	
Tesisista		CESAR MARIN QUISPE		Lugar	
				Laboratorio IC-UAC	
Datos específicos					
<u>PORCENTAJE DE HUMEDAD:</u>					
Descripción		Cantidad		Unidad	
Peso del agregado húmedo				g	
Peso del agregado seco				g	
<u>PORCENTAJE DE HUMEDAD:</u>					
Descripción		Cantidad		Unidad	
Peso del agregado húmedo				g	
Peso del agregado seco				g	



3.4.1.8 Ensayo de tolerancia dimensional NTP 399.604 (2002)

Tabla 35: Ficha para ensayo de tolerancia dimensional

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Tolerancia dimensional de adoquines			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Tesista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC	Fecha	
Datos específicos					
Tolerancia dimensional de adoquines					
Descripción de Adoquines	Longitud real L (mm)	Ancho real A (mm)	Espesor real E (mm)		
Patrón 1					
Patrón 2					
Patrón 3					
Patrón 4					
Patrón 5					
Patrón 6					
3% caucho 1					
3% caucho 2					
3% caucho 3					
3% caucho 4					
3% caucho 5					
3% caucho 6					
6% caucho 1					
6% caucho 2					
6% caucho 3					
6% caucho 4					
6% caucho 5					
6% caucho 6					
9% caucho 1					
9% caucho 2					
9% caucho 3					
9% caucho 4					
9% caucho 5					
9% caucho 6					



3.4.1.9 Ensayo de Densidad NTP 399.604 (2002)

Tabla 36: Ficha para ensayo de densidad de adoquines

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 UAC	
Ensayo		Densidad de adoquines			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Tesista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC	Fecha	
Datos específicos					
Densidad de adoquines					
Descripción de Adoquines		Peso Saturado Ws (Kg)	Peso Sumergido Wi (Kg)	Peso Seco Wd (Kg)	
Patrón 1					
Patrón 2					
Patrón 3					
Patrón 4					
Patrón 5					
Patrón 6					
3% caucho 1					
3% caucho 2					
3% caucho 3					
3% caucho 4					
3% caucho 5					
3% caucho 6					
6% caucho 1					
6% caucho 2					
6% caucho 3					
6% caucho 4					
6% caucho 5					
6% caucho 6					
9% caucho 1					
9% caucho 2					
9% caucho 3					
9% caucho 4					
9% caucho 5					
9% caucho 6					



3.4.1.10 Ensayo de absorción NTP 399.604 (2002)

Tabla 37: Ficha para ensayo de absorción de adoquines

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Absorción de adoquines			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Tesista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC	Fecha	
Datos específicos					
Absorción de adoquines					
Descripción de Adoquines		Peso Saturado Ws (Kg)	Peso Sumergido Wi (Kg)	Peso Seco Wd (Kg)	
Patrón 1					
Patrón 2					
Patrón 3					
Patrón 4					
Patrón 5					
Patrón 6					
3% caucho 1					
3% caucho 2					
3% caucho 3					
3% caucho 4					
3% caucho 5					
3% caucho 6					
6% caucho 1					
6% caucho 2					
6% caucho 3					
6% caucho 4					
6% caucho 5					
6% caucho 6					
9% caucho 1					
9% caucho 2					
9% caucho 3					
9% caucho 4					
9% caucho 5					
9% caucho 6					



3.4.1.11 Ensayo de resistencia a la compresión NTP 399.604 (2002)

Tabla 38: Ficha para ensayo de resistencia a la compresión de adoquines

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Ensayo		Resistencia a la Compresión					
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.							
Datos generales							
Tesista	CESAR MARIN QUISPE		Fecha de moldeo				
Lugar	Laboratorio UNITEST SAC.		Fecha de ensayo				
Datos específicos							
Resistencia a la Compresión							
Descripción de Adoquines	Diseño F'c (kg/cm2)	Edad (días)	Espesor E (cm)	Largo L (cm)	Ancho W (cm)	Área bruta Ag (cm2)	Carga máxima Pmax (Kg)
Patrón 1	420						
Patrón 2	420						
Patrón 3	420						
Patrón 4	420						
Patrón 5	420						
Patrón 6	420						
3% caucho 1	420						
3% caucho 2	420						
3% caucho 3	420						
3% caucho 4	420						
3% caucho 5	420						
3% caucho 6	420						
6% caucho 1	420						
6% caucho 2	420						
6% caucho 3	420						
6% caucho 4	420						
6% caucho 5	420						
6% caucho 6	420						
9% caucho 1	420						
9% caucho 2	420						
9% caucho 3	420						
9% caucho 4	420						
9% caucho 5	420						
9% caucho 6	420						



3.4.1.12 Ensayo de resistencia a la flexión NTG 41087 h1

Tabla 39: Ficha para ensayo de resistencia a la flexión de adoquines

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Resistencia a la Flexión			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Tesista		CESAR MARIN QUISPE		Fecha de moldeo	
Lugar		Laboratorio UNITEST SAC.		Fecha de ensayo	
Datos específicos					
Resistencia a la Flexión					
Descripción de Adoquines	Edad (días)	Longitud del largo del adoquín A (mm)	Longitud del ancho del adoquín B (mm)	Longitud del espesor del adoquín H (mm)	Carga máxima aplicada (N)
Patrón 1					
Patrón 2					
Patrón 3					
Patrón 4					
Patrón 5					
Patrón 6					
3% caucho 1					
3% caucho 2					
3% caucho 3					
3% caucho 4					
3% caucho 5					
3% caucho 6					
6% caucho 1					
6% caucho 2					
6% caucho 3					
6% caucho 4					
6% caucho 5					
6% caucho 6					
9% caucho 1					
9% caucho 2					
9% caucho 3					
9% caucho 4					
9% caucho 5					
9% caucho 6					



3.4.2 Instrumentos de ingeniería

- Tamices: Se utilizó en grupos de (1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200), (N° 200 y N° 16), (1/4", N° 10), (N° 4 y N° 8), (3/8", 1/4" y N° 4), (N° 10).
- Balanza
- Balanza de flotación
- Horno
- Recipientes metálicos
- Bandejas metálicas
- Cucharón
- Recipiente cilíndrico de metal
- Varilla de apisonado
- Huincha
- Brocha
- Tapa y fondo
- Tamizadora
- Picnómetro
- Bomba de vacíos
- Cono más pisón
- Embudo
- Pizeta
- Cesta metálica
- Depósito de agua
- Máquina de los Ángeles
- Billas
- Llave inglesa
- Regla metálica
- Vernier
- Jarra
- Piezas metálicas
- Máquina de compresión
- Máquina mezcladora
- Molde metálico para adoquines



3.5 Procedimientos de recolección de datos

3.5.1 Ensayo de Malla N° 200 (MTC E 202.)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza
- Horno
- Tamices: N° 200 y N° 16
- Recipientes metálicos
- Cucharón

La norma MTC E 202 menciona reportar el porcentaje del material fino que pasa el tamiz N° 200 por lavado con aproximación de 0.1% excepto si el resultado es igual o mayor al 10% en que se reporta el porcentaje con aproximación al número entero.

b) Procedimiento

Se seleccionó la muestra representativa de cada material a ensayar para agregados finos y gruesos. Posteriormente se redujo cada muestra por cuarteo hasta obtener una cantidad suficiente, el cual consistió en realizar un cumulo de cada agregado para luego extenderlo circularmente, luego se dividió en cuatro partes de las cuales se eligió dos partes de mayor equivalencia posible.



Figura 22: Cuarteo de agregado grueso

Posteriormente se secó cada muestra en el horno a temperatura constante de 110 ± 5 °C. Luego de retirar la muestra del horno se hizo enfriar cada muestra para poder determinar su peso.

Ya con los materiales se inició con el lavado de los materiales con las mallas correspondientes, malla N° 200 y N°16.



Figura 23: Habilitado de materiales para ensayo de Malla N° 200 por tesista

El lavado de los materiales se realizó cuidadosamente, para mantener todo el material lavado en los recipientes. El lavado de los materiales se realizó hasta que el agua de lavado del recipiente este transparente.



Figura 24: Materiales de ensayo para ensayo de Malla N° 200



Figura 25: Materiales de ensayo con agregado para ensayo de Malla N° 200



Figura 26: Registro del peso de agregado para ensayo de Malla N° 200

Todo el material lavado y retenido por la malla N° 200 y N° 16 se retornó al recipiente para llevarlo al horno.



Figura 27: Lavado de agregados para ensayo de Malla N° 200

Una vez lavado todas las muestras de agregados tanto finos como gruesos se trasladó al horno para secarlo a una temperatura de 110 ± 5 °C.



Figura 28: Horno en proceso de secado de agregados

Al día siguiente se retiró los agregados del horno, esperar que este frío para obtener el peso de cada agregado.



c) Toma de datos

- Malla N° 200 de los agregados de Pisac y Vicho.

Tabla 40: Datos de malla N° 200 de los agregados de Pisac y Vicho

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Ensayo	Cantidad de material fino que pasa la malla N° 200.		
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.			
Datos generales			
Muestra	Agregados de Pisac y Vicho	Fecha	05/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos			
% QUE PASA POR MALLA N°200: <u>ARENA FINA DE PISAC</u>			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso seco de la muestra inicial	600.00	g	
Peso seco de la muestra lavada	582.50	g	
% QUE PASA POR MALLA N°200: <u>CONFITILLO DE VICHO</u>			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso seco de la muestra inicial	1000.00	g	
Peso seco de la muestra lavada	936.50	g	



- Malla N° 200 del agregado de Vicho TMN 3/8”

Tabla 41: Datos de malla N° 200 del agregado de Vicho TMN 3/8”

	<p align="center">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>		
Ensayo	Cantidad de material fino que pasa la malla N° 200.		
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.			
Datos generales			
Muestra	Agregado de Vicho	Fecha	05/09/2019
Tesista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos			
% QUE PASA POR MALLA N°200: <u>AGREGADO GRUESO DE VICHO TMN 3/8"</u>			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso seco de la muestra inicial	1200.00	g	
Peso seco de la muestra lavada	1186.50	g	



- **Malla N° 200 de los agregados mezclados: Fino y grueso.**

Tabla 42: Datos de malla N° 200 de los agregados mezclados: Fino y grueso.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Ensayo	Cantidad de material fino que pasa la malla N° 200.		
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.			
Datos generales			
Muestra	Agregados mezclados: Fino y grueso	Fecha	05/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos			
% QUE PASA POR MALLA N°200: <u>AGREGADO FINO MEZCLA</u>			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso seco de la muestra inicial	750.00	g	
Peso seco de la muestra lavada	711.30	g	
% QUE PASA POR MALLA N°200: <u>AGREGADO GRUESO MEZCLA</u>			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso seco de la muestra inicial	1064.50	g	
Peso seco de la muestra lavada	1000.10	g	



3.5.2 Ensayo de Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204.)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza
- Tamices: 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200.
- Tapa y fondo
- Tamizadora
- Brocha
- Cucharón
- Recipientes metálicos

b) Procedimiento

Para el presente ensayo se tomaron los agregados finos y gruesos ya muestreados, seleccionados, lavados, preparados y secados en el ensayo de Malla N° 200. Materiales con los que se realizó la granulometría a cada uno de los agregados finos y gruesos, para poder obtener las características de los agregados, de donde se obtuvo la mezcla de agregados mezclados fino y grueso, los cuales cumplen con la curva granulométrica.

- Ya con los agregados fino y grueso, se seleccionó los tamices adecuados para realizar el ensayo, tanto para los agregados finos y gruesos.
- Se seleccionaron los matices necesarios para el ensayo donde: Para agregados finos se tienen (3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200) con tapa y fondo. Para agregados gruesos se tienen (1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16 y N° 50) con tapa y fondo.



Figura 29: Tamizadora mecánica para agregados



- Se realizó el tamizado de cada agregado entre finos y gruesos en la maquina tamizadora, se continuó el tamizado manualmente verificando que ya no sigan pasando agregados, sosteniendo el tamiz en una posición ligeramente inclinada para girar.
- Posteriormente se obtuvo todo el agregado retenido en cada tamiz para pesarlo, tanto para los agregados finos y gruesos.



Figura 30: Tesista tamizando agregados

- Es así que se obtuvieron las granulometrías de cada agregado que seguidamente se ingresaron los datos a una hoja de Excel, lo que permitió la verificación inmediata de las granulometrías de cada agregado entre finos y gruesos. En donde se observó que los agregados ensayados no cumplían en su totalidad con la curva granulométrica tanto para agregados finos y gruesos. Por tanto, se comenzó a mezclar los materiales para poder obtener agregados fino y grueso que cumplan con la curva granulométrica.
- Es así que se realizaron granulometrías de agregados mezclados para el fino y para el grueso, de donde se obtuvieron las siguientes proporciones: Agregado fino (30% de confitillo de Vicho, 70% de arena fina de Pisac). Agregado grueso (34% de confitillo de Vicho, 66% de agregado de Vicho de TMN 3/8”). Por tanto, se denominó a las mezclas de agregados como (agregado fino y agregado grueso).



confitillo de Vicho

+



Arena fina de Pisac

=



Agregado fino mezcla

Figura 31: Granulometría de agregados finos



confitillo de Vicho

+



Agregado grueso de Vicho
TMN 3/8"

=



Agregado grueso mezcla

Figura 32: Granulometría de agregados gruesos

- Asimismo se determinó la granulometría del caucho reciclado fino, mediante el procedimiento para el agregado fino. Donde previamente se obtuvo la muestra de caucho mediante cuarteo para realizar el secado al sol, extendiéndolo uniformemente hasta tener un peso constante.



Figura 33: Cuarteo de caucho reciclado fino

- Con respecto al caucho reciclado fino, el análisis granulométrico se realizó con los tamices que corresponden al agregado fino, debido a que su utilización también como agregado fino respectivamente.



Figura 34: Granulometría de caucho reciclado fino



c) Toma de datos

- Arena fina de Pisac

Tabla 43: Datos de granulometría de arena fina de Pisac

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Granulometria de agregados finos			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Muestra		Agregado fino de Pisac		Fecha	
				06/09/2019	
Tesisista		CESAR MARIN QUISPE		Lugar	
				Laboratorio IC-UAC	
Datos específicos					
				Peso inicial = 582.50 g.	
Agregado fino de Pisac					
Tamiz				Peso retenido (g)	
Pulgadas (Pg)		Milímetros (mm)			
3/8"		9.50		0.00	
N° 4		4.75		4.50	
N° 8		2.36		10.80	
N° 16		1.18		28.30	
N° 30		0.60		99.50	
N° 50		0.30		239.80	
N° 100		0.15		165.70	
N° 200		0.075		31.60	
Fondo		-		2.00	
TOTAL				582.20	



- Confitillo de Vicho

Tabla 44: Datos de granulometría de confitillo de Vicho

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Granulometria de agregados finos			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Muestra	Agregado fino "confitillo de Vicho"			Fecha	06/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE			Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos					
				Peso inicial =	936.50 g.
Agregado fino "confitillo de Vicho"					
Tamiz			Peso retenido (g)		
Pulgadas (Pg)	Milímetros (mm)				
3/8"	9.50		0.00		
N° 4	4.75		143.70		
N° 8	2.36		253.90		
N° 16	1.18		212.00		
N° 30	0.60		130.80		
N° 50	0.30		93.90		
N° 100	0.15		59.70		
N° 200	0.075		37.30		
Fondo	-		4.50		
TOTAL			935.80		



- **Caucho reciclado fino**

Tabla 45: Datos de granulometría de Caucho reciclado fino

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Granulometria de agregados finos			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Muestra	Caucho reciclado fino			Fecha	06/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE			Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos					
				Peso inicial = 500.00 g.	
Caucho reciclado fino					
Tamiz			Peso retenido (g)		
Pulgadas (Pg)	Milímetros (mm)				
3/8"	9.50		0.00		
N° 4	4.75		0.90		
N° 8	2.36		0.50		
N° 16	1.18		6.80		
N° 30	0.60		201.60		
N° 50	0.30		182.80		
N° 100	0.15		82.90		
N° 200	0.075		16.10		
Fondo	-		8.20		
TOTAL			499.80		



- Agregado grueso de Vicho TMN 3/8"

Tabla 46: Datos de granulometría de Agregado grueso de Vicho TMN 3/8"

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Granulometría de agregados gruesos			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Muestra	Agregado grueso de Vicho TMN 3/8"			Fecha	06/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE			Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos					
				Peso inicial =	1186.50 g.
Agregado grueso de Vicho TMN 3/8"					
Tamiz			Peso retenido (g)		
Pulgadas (Pg)	Milímetros (mm)				
1/2"	12.50		0.00		
3/8"	9.50		331.90		
N° 4	4.75		772.60		
N° 8	2.36		67.10		
N° 16	1.18		6.30		
N° 50	0.30		4.20		
Fondo	-		4.00		
TOTAL			1186.10		



- Agregado fino mezcla

Tabla 47: Datos de granulometría de agregado fino mezcla

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Granulometria de agregados finos			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Muestra	Agregado fino mezcla (30% confitillo de Vicho, 70% arena fina de Pisac)			Fecha	06/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE			Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos					
				Peso inicial = 711.30 g.	
<u>Agregado fino mezcla (30% confitillo de Vicho, 70% arena fina de Pisac)</u>					
Tamiz			Peso retenido (g)		
Pulgadas (Pg)	Milímetros (mm)				
3/8"	9.50		0.00		
N° 4	4.75		25.70		
N° 8	2.36		66.10		
N° 16	1.18		74.80		
N° 30	0.60		123.00		
N° 50	0.30		227.70		
N° 100	0.15		154.20		
N° 200	0.075		36.30		
Fondo	-		2.90		
TOTAL			710.70		



- Agregado grueso mezcla

Tabla 48: Datos de granulometría de agregado grueso mezcla

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Granulometria de agregados gruesos			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Muestra	Agregado grueso mezcla (34% Vicho TMN 3/8", 66% confitillo de Vicho)			Fecha	06/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE			Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos					
				Peso inicial = 1000.10 g.	
<u>Agregado grueso mezcla (34% Vicho TMN 3/8", 66% confitillo de Vicho)</u>					
Tamiz			Peso retenido (g)		
Pulgadas (Pg)	Milímetros (mm)				
1/2"	12.50		0.00		
3/8"	9.50		99.80		
N° 4	4.75		407.90		
N° 8	2.36		250.80		
N° 16	1.18		141.20		
N° 50	0.30		81.00		
Fondo	-		18.70		
TOTAL			999.40		



3.5.3 Ensayo de Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205.).

El presente ensayo se realizó en base a la norma (MTC E 205.) y (NTP 400.022 2013).

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza
- Picnómetro
- Horno
- Bomba de vacíos
- Cono más pisón
- Embudo
- Pizeta
- Espátula
- Brocha
- Cucharón
- Recipientes metálicos

b) Procedimiento

Se obtuvo material para agregado fino ya mezclado en proporciones de (30% de confitillo de Vicho, 70% de arena fina de Pisac), donde se redujo por el método del cuarteo y obtener una muestra representativa ya secada para el presente ensayo.



Figura 35: Selección de agregado fino para ensayo de Peso específico

Posteriormente se colocó la muestra de agregado fino a un recipiente con agua para que repose durante 24 horas. Al día siguiente se retiró el agua del recipiente cuidadosamente, para luego colocarlo sobre una bandeja metálica, para hacer secar al aire uniformemente hasta que la muestra esta superficialmente seca.



Figura 36: Registro del peso de agregado fino para Peso específico

Una vez el agregado fino este superficialmente seca se hizo uso del molde cónico para colocar el agregado dentro del molde y apisonarlo suavemente con la varilla 25 veces, luego se levantó el molde metálico, hasta lograr que el agregado tenga condición de superficialmente seca.



Figura 37: Determinación de condición superficialmente seca del agregado fino por el tesista



Figura 38: Agregado fino en condición superficialmente seca



Asimismo se pesó el picnómetro, se pesó también el picnómetro con agua hasta la marca especificada, luego se retiró parte del agua para introducir el agregado preparado y pesado en el picnómetro, luego completando con el agua retirada hasta la marca especificada.



Figura 39: Picnómetro en procedimientos de ensayo

Luego se extrajo las burbujas de aire, mediante la bomba de vacíos y mediante vibrado manual, luego se pesó el picnómetro más el agregado más el agua.



Figura 40: Tesista en uso de bomba de vacíos para sacar el aire en agregado fino

Posteriormente se removió el agregado del picnómetro, se colocó en un recipiente metálico el cual se llevó al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.

Una vez secado el agregado fino llevado al horno, se procedió a retirarlo del horno para hacerlo enfriar, para luego obtener su peso.



c) Toma de datos

- Agregado fino

Tabla 49: Datos de ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Ensayo	Peso específico y absorción de agregado fino		
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.			
Datos generales			
Muestra	Agregado fino	Fecha	10/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos			
PESO ESPECIFICO: AGREGADO FINO			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso del material secado al horno	487.60	g	
Peso del picnometro + peso de agua	635.30	g	
Peso del picnometro	138.60	g	
Peso del picnometro + peso de agua + peso del material	946.90	g	
Peso del material superficialmente seca	500.00	g	



3.5.4 Ensayo de Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206.)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza de flotación
- Cesta metálica
- Depósito de agua
- Tamices: N° 4 y N° 8
- Horno
- Cucharon
- Brocha
- Paño absorbente

b) Procedimiento

Se obtuvo material para agregado grueso ya mezclado en proporciones de (34% de confitillo de Vicho, 66% de agregado de Vicho de TMN 3/8”), donde se redujo por el método del cuarteo y obtener una muestra representativa ya secada para el presente ensayo. Luego se procedió a tamizar el agregado grueso seleccionado, en donde basándonos en la MTC E 206 (2016) indica que se debe descartar el material que pase por el tamiz N° 4. Sin embargo si el agregado grueso tiene una cantidad importante de material más fino que el tamiz N° 4, entonces usar el tamiz N°8 en vez del tamiz N° 4. Es así que se decidió usar el tamiz N° 8 en vez del tamiz N° 4, ya que el agregado grueso tiene una cantidad importante de agregado más fino que el tamiz N° 4.



Figura 41: Selección de agregados grueso para ensayo de peso específico



Figura 42: Registro del peso de agregados por tesista

Luego se colocó la muestra de agregado grueso tamizado a un recipiente con agua para que repose durante 24 horas.



Figura 43: Equipos y materiales para ensayo de peso específico de agregados gruesos

Al día siguiente se retiró el agua del recipiente cuidadosamente y se colocó el agregado sobre un paño absorbente, para hacer secar al aire uniformemente hasta que la muestra esta superficialmente seca.



Figura 44: Procedimiento de secado superficial de agregados gruesos

Una vez el agregado grueso este superficialmente seco se colocó en un molde metálico para obtener el peso superficialmente seco.

Luego se hizo uso de la cesta metálica para colocar el agregado grueso superficialmente seco, para sumergir en agua y obtener el peso sumergido en la balanza de flotación.



Figura 45: Registro de peso de agregados gruesos saturados

Posteriormente se sacó la muestra del agua y se colocó en un molde metálico para llevarlo al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Después de haber secado el agregado grueso se hizo enfriar para obtener su peso.



d) Toma de datos

- agregado grueso

Tabla 50: Datos de ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Ensayo	Peso específico y absorción de agregado grueso		
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.			
Datos generales			
Muestra	Agregado grueso	Fecha	10/09/2019
Tesista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos			
PESO ESPECIFICO: AGREGADO GRUESO			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso de la muestra seca en el aire (A)	1950.00	g	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (B)	2000.00	g	
Peso en el agua de la muestra saturada (C)	1253.80	g	



3.5.5 Ensayo de Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E 203.)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza
- Recipiente cilíndrico de metal
- Varilla de apisonado
- Bandeja metálica
- Cucharón
- Huincha
- Brocha

b) Procedimiento

Para realizar el presente ensayo, primero se realizó el mezclado de agregados para obtener el agregado fino y grueso respectivamente. Mediante el ensayo de granulometría se obtuvo las siguientes proporciones, agregado fino compuesto por (30% de confitillo de Vicho, 70% de arena fina de Pisac) y el agregado grueso compuesto por (34% de confitillo de Vicho, 66% de agregado de Vicho de TMN 3/8”). Se obtuvo la muestra seca ya preparada para el ensayo por el método del cuarteo, para agregado fino y grueso.



Figura 46: Selección de agregados gruesos y finos para ensayo de peso unitario



Figura 47: Equipos para ensayo de peso unitario de agregados

Posteriormente ya con todos los materiales y herramientas para el presente ensayo se preparó el ambiente de trabajo para llenar el recipiente con los agregados. Donde primero se realizó para el peso unitario suelto.



Figura 48: Procedimiento de ensayo de peso unitario de agregados

Con el cucharón se descargó agregado desde una altura no mayor a 2'' hasta que el agregado llene todo el recipiente metálico, inmediatamente después se limpió los bordes del recipiente metálico y se procedió a obtener el peso.



Figura 49: Procedimiento de ensayo de peso unitario de agregado grueso por tesista

Seguidamente se realizó el procedimiento para el peso unitario compactado para ambos agregados fino y grueso. En donde se descargó a los agregados en tres capas proporcionales al recipiente metálico, apisonando con la varilla metálica cada capa con 25 golpes hasta llenar el recipiente y nivelar la superficie del recipiente enrasando con la varilla metálica.



Figura 50: Procedimiento de varillado para el ensayo de peso unitario por el tesista

Luego se limpiaron los bordes del recipiente metálico con una brocha, los restos de agregados que quedaron al exterior del recipiente. Seguidamente pesar el recipiente lleno con agregado.



Figura 51: Registro del peso de agregado más molde para ensayo de peso unitario

Posteriormente se tomaron las dimensiones del recipiente cilíndrico metálico con una huincha, para poder obtener su volumen. Asimismo, se obtuvo el peso del recipiente.



Figura 52: Registro de dimensiones de molde metálico para ensayo de peso unitario de agregados



c) Toma de datos

- **Peso unitario para el agregado fino.**

Tabla 51: Datos de peso unitario suelto y compactado de agregado fino

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo	Peso unitario suelto y compactado de agregados			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.				
Datos generales				
Muestra	Agregado fino		Fecha	16/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE		Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos				
PESO UNITARIO SUELTO: AGREGADO FINO				
Descripción	Cantidad			Unidad
	1	2	3	
Peso del recipiente más el agregado	12150.00	12180.00	12150.00	g
Peso del recipiente	7500.00	7500.00	7500.00	g
Peso del agregado	4650.00	4680.00	4650.00	g
Volumen del recipiente	2942.30	2942.30	2942.30	cm ³
PESO UNITARIO COMPACTADO: AGREGADO FINO				
Descripción	Cantidad			Unidad
	1	2	3	
Peso del recipiente más el agregado	12455.00	12430.00	12435.00	g
Peso del recipiente	7500.00	7500.00	7500.00	g
Peso del agregado	4955.00	4930.00	4935.00	g
Volumen del recipiente	2942.30	2942.30	2942.30	cm ³



- **Peso unitario para el agregado grueso.**

Tabla 52: Datos de peso unitario suelto y compactado de agregado grueso

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo	Peso unitario suelto y compactado de agregados			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.				
Datos generales				
Muestra	Agregado grueso		Fecha	16/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE		Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos				
<u>PESO UNITARIO SUELTO: AGREGADO GRUESO</u>				
Descripción	Cantidad			Unidad
	1	2	3	
Peso del recipiente más el agregado	12385.00	12400.00	12375.00	g
Peso del recipiente	7500.00	7500.00	7500.00	g
Peso del agregado	4885.00	4900.00	4875.00	g
Volumen del recipiente	2942.30	2942.30	2942.30	cm ³
<u>PESO UNITARIO COMPACTADO: AGREGADO GRUESO</u>				
Descripción	Cantidad			Unidad
	1	2	3	
Peso del recipiente más el agregado	12840.00	12780.00	12870.00	g
Peso del recipiente	7500.00	7500.00	7500.00	g
Peso del agregado	5340.00	5280.00	5370.00	g
Volumen del recipiente	2942.30	2942.30	2942.30	cm ³



3.5.6 Ensayo de Contenido de humedad (MTC E 215.)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza
- Horno
- Recipientes metálicos
- Brocha
- Cucharón

b) Procedimiento

Se seleccionó los agregados fino y grueso recién trasladados al laboratorio de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Andina del Cusco. Donde se realizó el mezclado en proporciones de (30% de confitillo de Vicho, 70% de arena fina de Pisac) para agregado fino y (34% de confitillo de Vicho, 66% de agregado de Vicho de TMN 3/8”) para agregado grueso. De donde se redujo por el método del cuarteo para obtener una muestra representativa de cada material para el presente ensayo.



Figura 53: Cuarteo de agregado fino para ensayo de porcentaje de humedad

Teniendo ya preparado los agregados inmediatamente se procedió a registrar el peso tanto para el agregado fino como para el agregado grueso. Luego ya colocados los agregados en recipientes metálicos se llevó al horno una temperatura de 110 ± 5 °C, para secarlos.



Figura 54: Registro de agregado grueso para ensayo de porcentaje de humedad

Posteriormente se sacó del horno, se hizo enfriar las muestras de agregados para seguidamente registrar los pesos del agregado fino y grueso.



c) Toma de datos

- Agregado fino y grueso

Tabla 53: Datos de ensayo de ensayo de contenido de humedad de agregados fino y grueso

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Ensayo	Porcentaje de humedad de agregados		
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.			
Datos generales			
Muestra	Agregados: Fino y grueso	Fecha	13/09/2019
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC
Datos específicos			
<u>PORCENTAJE DE HUMEDAD: AGREGADO FINO</u>			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso del agregado húmedo	1000.00	g	
Peso del agregado seco	970.80	g	
<u>PORCENTAJE DE HUMEDAD: AGREGADO GRUESO</u>			
Descripción	Cantidad	Unidad	
Peso del agregado húmedo	2000.00	g	
Peso del agregado seco	1935.40	g	



3.5.7 Ensayo de Abrasión los Ángeles (MTC E 207.)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Máquina de los Ángeles
- Tamices: (3/8", 1/4" y N° 4), (N°10)
- Tapa y fondo
- Billas
- Llave inglesa
- Cucharón
- Balanza
- Bandejas
- Horno

b) Procedimiento

Se obtuvo el agregado grueso ya mezclado en proporciones de (34% de confitillo de Vicho, 66% de agregado de Vicho de TMN 3/8"), se redujo por el método del cuarteo para obtener una muestra representativa ya secada para el presente ensayo. Luego basándonos en la MTC E 207 (2016) indica que respecto a la gradación de las muestras de ensayo, lavar y secar la muestra a una temperatura de 110 ± 5 °C, para luego tamizar y seleccionar el rango de medidas del agregado conforme para el trabajo. Es así que basándonos en la gradación de las muestras mencionadas en la MTC E 207, la gradación que corresponde al agregado grueso de la presente investigación es la gradación "C", que tiene como medida de tamices a (3/8", 1/4" y N° 4).



Figura 55: Agregado lavado después de ser tamizado para el ensayo de Abrasión los Ángeles



Asimismo, ya teniendo la gradación C, para el agregado se obtuvo el número de esferas a utilizar, donde con respecto a la gradación “C” le corresponde (8 esferas) a utilizar como carga en la máquina de los Ángeles.



Figura 56: Agregado secado para colocar a la máquina de los Ángeles

Ya con el agregado lavado, secado y preparado según para el presente ensayo, se procedió a colocar la muestra en la máquina de los Ángeles, para ensayarla a una velocidad mencionada en la MTC E 207 (2016) donde indica que se debe colocar la muestra en la máquina de los Ángeles (30 rpm a 33 rpm), por 500 revoluciones. Es así que se ensayó el agregado grueso.



Figura 57: Máquina de los Ángeles antes del ensayo

Posteriormente se retiró el agregado ensayado y se procedió a tamizar y lavar con el tamiz N° 10 ya que se contaba con este tamiz más cercano al N°12.



Figura 58: Agregado tamizado después de proceso de desgaste

Seguidamente se llevó al horno para secar a una temperatura de 110 ± 5 °C, de donde se obtuvo el peso después del proceso de desgaste.



- e) Toma de datos
 - agregado grueso

Tabla 54: Datos de ensayo de abrasión los Ángeles del agregado grueso

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
Ensayo		Abrasión los ángeles									
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.											
Datos generales											
Muestra	Agregado grueso			Fecha	16/09/2019						
Tesisista	CESAR MARIN QUISPE			Lugar	Laboratorio IC-UAC						
Datos específicos											
ABRASIÓN LOS ANGELES DE AGREGADO GRUESO											
Descripción		Cantidad		Unidad							
Peso del agregado seco inicial		5000.00		g							
Peso después del proceso de desgaste		3708.60		g							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">* Tamaño Nominal Maximo</td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 40%; text-align: center;">3/8"</td> </tr> <tr> <td>* Gradacion de la muestra de ensayo</td> <td></td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </table>						* Tamaño Nominal Maximo		3/8"	* Gradacion de la muestra de ensayo		C
* Tamaño Nominal Maximo		3/8"									
* Gradacion de la muestra de ensayo		C									



3.5.8 Vaceado de adoquines de concreto

a) Equipos utilizados en la prueba

- Maquina mezcladora tipo carretilla
- Adoquinera manual
- Recipientes de plástico
- Pala
- Jarra de medida
- Balanza

b) Procedimiento

El vaceado de concreto de adoquines se realizó en la vivienda del tesista, en donde se preparó los materiales y herramientas para el vaceado de adoquines de concreto, verificando los materiales como: Agregados (fino, grueso y caucho), cemento, agua, aditivo. Para el vaceado de adoquines se diseñó con anterioridad un molde para adoquines denominado adoquinera manual con las dimensiones requeridas (20 cm de largo, 10 cm de ancho y 6 cm de espesor).

Es así que se dio inicio al preparado de los agregados, mezclando en proporciones siguientes (agregado fino 30 % de confitillo de Vicho con 70% de arena fina de Pisac), (agregado grueso 34% de agregado de Vicho con TMN 3/8” con 66% de confitillo de Vicho).



Figura 59: Agregados para mezcla de concreto

Posteriormente se preparó la mezcla de concreto, colocando primero los agregados, el agua con el aditivo y posteriormente el cemento. Observándose una consistencia seca, la cual es escasa en trabajabilidad, pero sin embargo adecuada para alcanzar la resistencia requerida y diseñada.



Figura 60: Habilitado de materiales para mezcla de concreto



Figura 61: Habilitado de aditivo para mezcla de concreto



Figura 62: Colocado de materiales en máquina mezcladora tipo carretilla



Figura 63: Mezcla de concreto con materiales y herramientas

Ya con la mezcla lista se procedió a colocarlo en la adoquinera manual, para compactarlo manualmente.



Figura 64: Moldeado de adoquines con adoquinera manual



Figura 65: Adoquines de concreto moldeados e identificados



Figura 66: Tesista verificando los adoquines



Figura 67: Curado de adoquines en una mini piscina de plástico



Figura 68: Adoquines de concreto secos



3.5.9 Ensayo de tolerancia dimensional NTP 399.604 (2002)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Regla metálica
- Vernier
- Bandeja metálica

b) Procedimiento

Se procedió a seleccionar las muestras de adoquines para el presente ensayo, tomando como referencia lo mencionado en la NTP 399.604 (2002) donde refiere que se medirá tres unidades enteras para registrar la longitud, el ancho, la altura y los espesores mínimos de los tabiques y de las paredes laterales. De donde para el presente ensayo solo se considera (longitud, ancho y altura) ya que las muestras son adoquines (unidades sólidas).



Figura 69: Adoquines preparados para ensayo

Por lo tanto, se seleccionó tres unidades de cada grupo especificado. (Adoquín patrón, adoquín con 3% de caucho, adoquín con 6% de caucho y adoquín con 9% de caucho). Donde se obtuvo una muestra de 12 adoquines por todo el grupo. Sin embargo, la presente investigación consideró la muestra de 6 adoquines por grupo especificado que en total hacen 24 adoquines para el presente ensayo.



Figura 70: Vernier y regla metálica

Se registraron las medidas de los adoquines muestreados, seleccionados y marcados, considerando la longitud, ancho y espesor.



Figura 71: Registro de dimensiones de adoquines



c) Toma de datos

Tabla 55: Datos de ensayo de tolerancia dimensional de adoquines

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 UAC	
Ensayo		Tolerancia dimensional de adoquines			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Tesista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC	Fecha	18/10/2019
Datos específicos					
Tolerancia dimensional de adoquines					
Descripción de Adoquines	Longitud real L (mm)	Ancho real A (mm)	Espesor real E (mm)		
Patrón 1	200.00	99.50	60.50		
Patrón 2	199.00	99.00	60.00		
Patrón 3	199.50	100.00	60.50		
Patrón 4	200.00	99.50	62.00		
Patrón 5	199.50	99.50	60.50		
Patrón 6	200.00	100.00	60.50		
3% caucho 1	199.50	101.00	61.50		
3% caucho 2	200.00	99.50	60.00		
3% caucho 3	200.50	100.50	61.50		
3% caucho 4	199.50	99.50	60.50		
3% caucho 5	199.50	100.00	62.00		
3% caucho 6	200.00	100.50	60.50		
6% caucho 1	199.00	99.00	60.50		
6% caucho 2	200.00	99.50	61.50		
6% caucho 3	199.50	99.00	61.50		
6% caucho 4	200.00	100.50	60.00		
6% caucho 5	199.50	100.00	60.50		
6% caucho 6	201.00	99.00	61.00		
9% caucho 1	200.00	99.00	60.50		
9% caucho 2	200.00	100.50	61.50		
9% caucho 3	199.00	100.00	62.00		
9% caucho 4	200.00	101.00	60.00		
9% caucho 5	199.50	100.00	61.00		
9% caucho 6	200.00	99.00	61.50		



3.5.10 Ensayo de Densidad NTP 399.604 (2002)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza de flotación
- Canastilla metálica
- Bandejas metálicas
- Horno
- Jarra

b) Procedimiento

Primero se seleccionó las muestras de adoquines para el ensayo, de donde se eligieron 6 muestras de cada grupo especificado de adoquines (Adoquín patrón, adoquín con 3% de caucho, adoquín con 6% de caucho y adoquín con 9% de caucho). Vemos que en total hacen 24 adoquines para el presente ensayo. En donde se analizaron a los adoquines los días 17 y 18 de octubre 12 unidades cada día.

Se colocaron en agua los adoquines seleccionados para ser saturados por 24 horas. Al día siguiente los adoquines seleccionados se sacaron del agua para ser ensayados. Luego se registraron los pesos saturados de cada adoquín.

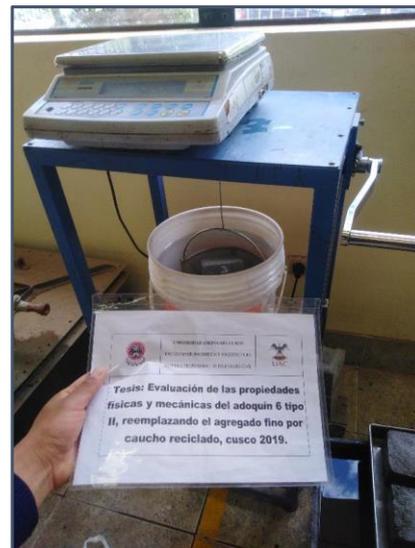


Figura 72: Registro de peso de adoquines sumergidos en agua



Posteriormente se colocaron los adoquines en la cesta metálica uno por uno para registrar los pesos sumergidos. Seguidamente se procedió a colocar los adoquines en bandejas metálicas para trasladarlas al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.



Figura 73: Adoquines ensayados, saturados superficialmente secos

Posteriormente se retiraron los adoquines del horno después de 24 horas, luego se hicieron enfriar los adoquines para poder registrar sus pesos secos.



Figura 74: Adoquines retirados del horno para posteriormente enfriados registrar su peso



c) Toma de datos

Tabla 56: Datos de ensayo de Densidad de adoquines

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Ensayo		Densidad de adoquines			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Tesista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC	Fecha	18/10/2019
Datos específicos					
Densidad de adoquines					
Descripción de Adoquines		Peso Saturado Ws (Kg)	Peso Sumergido Wi (Kg)	Peso Seco Wd (Kg)	
Patrón 1		3.114	1.798	3.081	
Patrón 2		2.878	1.623	2.846	
Patrón 3		2.958	1.704	2.925	
Patrón 4		2.885	1.642	2.851	
Patrón 5		3.072	1.758	3.039	
Patrón 6		2.944	1.664	2.911	
3% caucho 1		2.940	1.675	2.895	
3% caucho 2		3.017	1.696	2.972	
3% caucho 3		3.011	1.727	2.966	
3% caucho 4		3.016	1.701	2.970	
3% caucho 5		3.021	1.730	2.973	
3% caucho 6		2.939	1.655	2.892	
6% caucho 1		2.996	1.693	2.963	
6% caucho 2		2.800	1.651	2.762	
6% caucho 3		2.883	1.632	2.851	
6% caucho 4		2.816	1.655	2.782	
6% caucho 5		3.065	1.740	3.027	
6% caucho 6		2.898	1.633	2.867	
9% caucho 1		2.888	1.608	2.835	
9% caucho 2		2.955	1.543	2.905	
9% caucho 3		2.871	1.604	2.821	
9% caucho 4		2.979	1.534	2.929	
9% caucho 5		2.990	1.686	2.941	
9% caucho 6		2.923	1.587	2.871	



3.5.11 Ensayo de absorción NTP 399.604 (2002)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza de flotación
- Canastilla metálica
- Recipientes metálicos
- Horno

b) Procedimiento

Se seleccionó las muestras de adoquines para el presente ensayo, tomando como referencia lo mencionado en la NTP 399.604 (2002) donde indica que se utilizarán tres unidades enteras que se encuentren marcadas, registradas y pesadas.

Se eligieron 6 muestras de cada grupo especificado de adoquines (Adoquín patrón, adoquín con 3% de caucho, adoquín con 6% de caucho y adoquín con 9% de caucho). Vemos que en total hacen 24 adoquines. En donde para el presente ensayo se analizaron 12 adoquines por día el 17 y el 18 de octubre.

Se colocaron en agua los adoquines seleccionados para ser saturados por 24 horas.



Figura 75: Adoquines secos y superficialmente secos

Al día siguiente se sacaron los adoquines seleccionados del agua, para ser ensayados. Luego de sacar los adoquines se registraron los pesos saturados de cada adoquín.



Figura 76: Sumergido de adoquines para registrar su peso sumergido

Posteriormente se colocaron los adoquines en la cesta metálica uno por uno para registrar los pesos sumergidos. Luego se procedió a colocar los adoquines en bandejas metálicas para llevarlas al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.



Figura 77: Adoquines saturados con superficie seca

Finalmente, después de 24 horas se retiraron los adoquines del horno para poder registrar sus pesos secos, previamente se hicieron enfriar los adoquines antes de ser pesados.



c) Toma de datos

Tabla 57: Datos de ensayo de absorción de adoquines

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 UAC	
Ensayo		Absorción de adoquines			
Tesis: Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del adoquín 6 tipo II, reemplazando el agregado fino por caucho reciclado, Cusco 2019.					
Datos generales					
Tesista	CESAR MARIN QUISPE	Lugar	Laboratorio IC-UAC	Fecha	17/10/2019
Datos específicos					
Absorción de adoquines					
Descripción de Adoquines	Peso Saturado Ws (Kg)	Peso Sumergido Wi (Kg)	Peso Seco Wd (Kg)		
Patrón 1	3.114	1.798	3.081		
Patrón 2	2.878	1.623	2.846		
Patrón 3	2.958	1.704	2.925		
Patrón 4	2.885	1.642	2.851		
Patrón 5	3.072	1.758	3.039		
Patrón 6	2.944	1.664	2.911		
3% caucho 1	2.940	1.675	2.895		
3% caucho 2	3.017	1.696	2.972		
3% caucho 3	3.011	1.727	2.966		
3% caucho 4	3.016	1.701	2.970		
3% caucho 5	3.021	1.730	2.973		
3% caucho 6	2.939	1.655	2.892		
6% caucho 1	2.996	1.693	2.963		
6% caucho 2	2.800	1.651	2.762		
6% caucho 3	2.883	1.632	2.851		
6% caucho 4	2.816	1.655	2.782		
6% caucho 5	3.065	1.740	3.027		
6% caucho 6	2.898	1.633	2.867		
9% caucho 1	2.888	1.608	2.835		
9% caucho 2	2.955	1.543	2.905		
9% caucho 3	2.871	1.604	2.821		
9% caucho 4	2.979	1.534	2.929		
9% caucho 5	2.990	1.686	2.941		
9% caucho 6	2.923	1.587	2.871		



3.5.12 Ensayo de resistencia a la compresión NTP 399.604 (2002)

a) Equipos utilizados en la prueba

- Máquina de compresión
- Piezas metálicas
- Regla metálica
- Vernier
- Yeso y cemento

b) Procedimiento

Primero se seleccionó las muestras de adoquines para el presente ensayo, tomando como referencia lo mencionado en la NTP 399.604 (2002) respecto a los especímenes de prueba indica que de 6 unidades muestreadas, 3 unidades serán ensayadas a compresión. De donde para la presente investigación se eligieron 6 muestras para ser ensayadas las 6 muestras de cada grupo especificado de adoquines (Adoquín patrón, adoquín con 3% de caucho, adoquín con 6% de caucho y adoquín con 9% de caucho). Donde vemos que se tiene 24 adoquines para ensayar a los 7 días y 24 para los 28 días, que en total suman 48 adoquines para el presente ensayo.



Figura 78: Tesista en ensayo de resistencia a compresión de adoquines

Se registró las siguientes dimensiones (longitud, el ancho y la altura) de los adoquines seleccionados y preparados para ser ensayados.



Figura 79: Adoquines previo al ensayo de resistencia a compresión

Se prepararon las piezas metálicas como soporte de contacto para el ensayo de los adoquines en la máquina de compresión.



Figura 80: Adoquines colocados en máquina para ensayo de resistencia a compresión