



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**PROTOTIPO DE ADOQUÍN RECTANGULAR A BASE DE PAPEL Y CARTÓN
RECICLADO PARA REVESTIMIENTO DE CAMINERAS**

TUTOR

MsC. MAX DARÍO ALMEIDA FRANCO

AUTORES

ANGEL ADAN PEÑA ESCOBAR

GARY KENNY PEÑA ESCOBAR

GUAYAQUIL

2022

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Prototipo de adoquín rectangular a base de papel y cartón rectangular para revestimiento de camineras.	
AUTOR/ES: Ángel Adán Peña Escobar Gary Kenny Peña Escobar	REVISORES O TUTORES: MsC. Max Darío Almeida Franco
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil
FACULTAD: Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción	CARRERA: Ingeniería Civil
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2022	N. DE PAGS: 137
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción.	
PALABRAS CLAVE: reciclaje de papel, hormigón, prefabricación, contaminación, ensayos	
RESUMEN: El presente trabajo se enfoca en utilizar materiales reciclables que permitan disminuir la contaminación procedente del sector de la construcción en la elaboración de adoquines. Los adoquines son bloques prefabricados de hormigón que tienen como agregado diferentes materiales. Se propone utilizar papel y cartón reciclado en la elaboración de	

adoquines para su posterior uso en el revestimiento de camineras. Este adoquín tiene 10 cm de ancho, 20 cm de largo y 6 cm de alto. Se diseñaron varios grupos de adoquines con diferentes dosificaciones con la finalidad de comprobar su resistencia y absorción de agua mediante ensayos de laboratorio. Dentro de los grupos existen dos variantes, la primera variante es un grupo de adoquines conformado por tres capas de 2 cm. La capa superior e inferior está compuesta de hormigón con piedra chispa o ripio sin material reciclable. La capa media es una mezcla de hormigón con piedra chispa o ripio, papel y cartón reciclado. La segunda variante es un grupo de adoquines con una mezcla total y sin capas de hormigón con piedra chispa o ripio, papel y cartón reciclado. Los resultados de los ensayos de compresión arrojaron que la mayor resistencia se obtiene con los adoquines con capas y piedra chispa, con un valor de resistencia de 12,05 MPa a los 28 días de fraguado. Los ensayos de absorción demostraron que los adoquines propuestos no cumplen con las normas INEN. Se concluye que los adoquines no son aptos para su uso peatonal, pero si es aplicable como elemento decorativo.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Peña Escobar Ángel Adán Peña Escobar Gary Kenny	Teléfono: 0962585659 0962913029	E-mail: apenae@ulvr.edu.ec gpenae@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Mg. Ing. Milton Gabriel Andrade Laborde. Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 210 E-mail: mandradel@ulvr.edu.ec	

	<p>Mg. Ing. Valle Benítez Alexis Wladimir.</p>
--	--

Director de la Carrera de Ingeniería Civil.

Teléfono: (04)2596500 **Ext.** 242

E-mail: avalleb@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD ACADÉMICA

PROTOTIPO DE ADOQUÍN RECTANGULAR

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ulvr.edu.ec

Fuente de Internet

3%

2

docplayer.es

Fuente de Internet

2%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

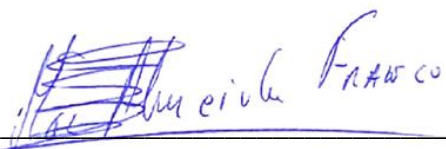
Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

Firma:



MsC. MAX DARÍO ALMEIDA FRANCO

C.C. 0906706981

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El (Los) estudiante(s) egresado(s) **ANGEL ADAN PEÑA ESCOBAR Y GARY KENNY PEÑA ESCOBAR**, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, **PROTOTIPO DE ADOQUÍN RECTANGULAR A BASE DE PAPEL Y CARTÓN RECICLADO PARA REVESTIMIENTO DE CAMINERAS**, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma: 

ANGEL ADAN PEÑA ESCOBAR

C.I. 0923672810

Firma: 

GARY KENNY PEÑA ESCOBAR

C.I.0923672786

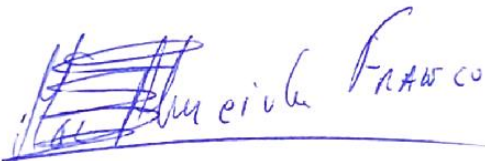
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación **PROTOTIPO DE ADOQUÍN RECTANGULAR A BASE DE PAPEL Y CARTÓN RECICLADO PARA REVESTIMIENTO DE CAMINERAS**, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: **PROTOTIPO DE ADOQUÍN RECTANGULAR A BASE DE PAPEL Y CARTÓN RECICLADO PARA REVESTIMIENTO DE CAMINERAS** presentado por los estudiantes **ANGEL ADAN PEÑA ESCOBAR Y GARY KENNY PEÑA ESCOBAR** como requisito previo, para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**, encontrándose apto para su sustentación.

Firma: _____



MsC. MAX DARÍO ALMEIDA FRANCO

C.C. 0906706981

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero dar mi agradecimiento a Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría necesaria para terminar los estudios de mi carrera.

En segundo lugar, mi agradecimiento profundo a mi familia por brindarme el apoyo continuo durante los momentos más difíciles que he tenido que afrontar. Sin su apoyo incondicional el presente logro no fuera posible.

También quiero darle mi agradecimiento a los profesores de la ULVR quienes me han proporcionado los conocimientos necesarios para culminar mi vida universitaria.

Finalmente, un agradecimiento especial a nuestro tutor, quien nos ha apoyado durante este proceso final con la paciencia y sabiduría necesaria, demostrando su calidad como ser humano.

Ángel Adán Peña Escobar

DEDICATORIA

A mi madre, quien ha sabido apoyarme en todo momento. Su apoyo incondicional me ha permitido demostrar mis capacidades y continuar a pesar de los momentos difíciles. Sus enseñanzas me han cultivado como persona.

A mi padre, quien me ha enseñado a siempre a seguir adelante y lograr mis objetivos propuestos mediante el sacrificio y trabajo duro. Su esfuerzo y lucha continua han logrado que tenga una educación de excelencia.

A mis hermanos, quienes siempre han estado ahí para apoyarme y darme ánimos para terminar mis proyectos y objetivos propuestos. Ellos son mi fuente de inspiración para seguir adelante y realizarme como un profesional.

Ángel Adán Peña Escobar

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme tener a una gran familia, ellos son mi soporte en la mi vida y sin ellos no soy nadie.

Quiero agradecer a mi familia, quienes han estado en mis peores y mejores momentos de mi vida y me han ayudado a cumplir todas las metas que me he propuesto.

Agradezco a los profesores de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil por darme los conocimientos necesarios para mi carrera y los valores que debo aplicar a la hora de ejercer la misma.

Por último, agradezco a todas las personas que me han apoyado para poder graduarme, en especial a nuestro tutor, quien nos dio las últimas pautas con el fin de que entremos a un nuevo y mejor periodo de vida.

Gary Kenny Peña Escobar

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación, el esfuerzo y sacrificio que he aplicado en él, se lo dedico a mi familia en su totalidad.

A mi padre, puesto que él se sacrificó trabajando día y noche por más de 20 años para darme el mejor estudio y la mejor vida posible.

A mi madre, quien dedicó su vida para enseñarme los mejores valores que debo aplicar en mi vida. El esfuerzo que ella aplico en mí, ese esfuerzo finalmente dio sus frutos.

A mis hermanos, quienes estuvieron conmigo apoyándome en todas las cosas que realizaba, ellos me ayudaron a cumplir todas mis metas y este proyecto se lo dedico a ellos.

Gary Kenny Peña Escobar

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	2
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Tema:	2
1.2. Planteamiento del Problema:	2
1.3. Formulación del problema	3
1.4. Objetivo General	3
1.5. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Hipótesis	4
1.7. Línea de Investigación Institucional/Facultad.	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Marco Referencial:.....	5
2.2. Marco teórico	8
2.2.1. Historia del adoquín	8
2.2.2. El adoquín en la actualidad	10
2.2.3. Materiales involucrados en la elaboración del adoquín	11
2.2.3.1. Cemento.....	12
2.2.3.2. Áridos	13
2.2.3.3. Agua.....	15
2.2.4. Tipos de adoquín	16
2.2.5. Formas de elaboración del adoquín de hormigón	17
2.2.5.1. Elaboración manual	17
2.2.5.2. Elaboración semi - manual	18
2.2.5.3. Elaboración automática	18
2.2.6. Proceso para la elaboración del adoquín	19
2.2.7. Papel.....	20
2.2.7.1. Papel reciclado.....	21
2.2.8. Cartón.....	23
2.2.8.1. Cartón reciclado.....	23

2.2.9.	Características químicas del papel y cartón	23
2.2.9.1.	Celulosa	23
2.2.9.2.	Hemicelulosa	24
2.2.9.3.	Lignina.....	25
2.2.9.4.	Otras sustancias químicas.....	25
2.2.10.	Ensayos y pruebas del adoquín	25
2.2.10.1.	Ensayo de compresión	25
2.2.10.2.	Ensayo de absorción de agua, densidad y porosidad.....	26
2.3.	Marco conceptual.....	26
2.4.	Marco Legal.....	27
CAPÍTULO III.....		31
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		31
3.1.	Enfoque de la investigación:.....	31
3.2.	Alcance de la investigación	31
3.3.	Técnicas e instrumentos para obtener los datos	31
3.4.	Población y muestra.....	33
3.5.	Metodología del proceso.....	39
3.6.	Presentación y análisis de los resultados	66
3.6.1.	Resultados de los ensayos aplicados a los prototipos.....	66
3.6.2.	Análisis de resultados obtenidos.....	74
CONCLUSIONES		94
RECOMENDACIONES.....		96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		97
ANEXOS		99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Línea de investigación.....	4
Tabla 2: Calidad del agua para uso en el concreto.	15
Tabla 3: Dosificación de papel y cartón reciclado en adoquines con capas.	38
Tabla 4: Dosificación de papel y cartón reciclado en los adoquines sin capa.	38
Tabla 5: Cantidad de material a utilizar en adoquines con capas.	44
Tabla 6: Cantidad de material a utilizar en adoquines con capas (ripio).	45
Tabla 7: Cantidad de material a utilizar en adoquines sin capa.	47
Tabla 8: Cantidad de material a utilizar en adoquines sin capa (ripio).	47
Tabla 9: Cantidad de material a utilizar en cilindros de hormigón.	50
Tabla 10: Cantidad de material a utilizar en cilindros de hormigón (ripio).	50
Tabla 11: Ensayo de los adoquines con capas a los 7 días de fraguado.	66
Tabla 12: Ensayo de los adoquines con capas a los 14 días de fraguado.	67
Tabla 13: Ensayo de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado.	67
Tabla 14: Ensayo de los adoquines sin capa a los 7 días de fraguado.	68
Tabla 15: Ensayo de los adoquines sin capas a los 14 días de fraguado.	68
Tabla 16: Ensayo de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado.	69
Tabla 17: Ensayo de los adoquines con capas a los 7 días de fraguado (ripio).	69
Tabla 18: Ensayo de los adoquines con capas a los 14 días de fraguado (ripio).	70
Tabla 19: Ensayo de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado (ripio).	70
Tabla 20: Ensayo de los adoquines sin capas a los 7 días de fraguado (ripio).	71
Tabla 21: Ensayo de los adoquines sin capas a los 14 días de fraguado (ripio).	71
Tabla 22: Ensayo de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado (ripio).	72
Tabla 23: Ensayo de cilindros con piedra chispa.	72
Tabla 24: Ensayos de cilindros con ripio.	72
Tabla 25: Peso saturado y seco de adoquines con capas (piedra chispa).	73
Tabla 26: Peso saturado y seco de adoquines sin capa con piedra chispa.	73
Tabla 27: Peso saturado y seco de adoquines con capa (ripio).	73
Tabla 28: Peso saturado y seco de adoquines sin capa con ripio.	74
Tabla 29: Resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 7 días de fraguado.	76

Tabla 30: Resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 14 días de fraguado.	76
Tabla 31: Resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado.	77
Tabla 32: Resistencia a compresión de los adoquines sin capas a los 7 días de fraguado.	77
Tabla 33: Resistencia a la compresión de los adoquines sin capas a los 14 días de fraguado.....	78
Tabla 34: Resistencia a compresión de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado.	78
Tabla 35: Resistencia a compresión de adoquines con capas a los 7 días de fraguado (ripio)....	79
Tabla 36: Resistencia a compresión de adoquines a los 14 días de fraguado (ripio).	79
Tabla 37: Resistencia a compresión de adoquines con capas a los 28 días de fraguado (ripio)..	80
Tabla 38: Resistencia a compresión de adoquines sin capas a los 7 días de fraguado (ripio).	80
Tabla 39: Resistencia de adoquines sin capas a los 14 días de fraguado (ripio).	81
Tabla 40: Resistencia de adoquines sin capas a los 28 días de fraguado (ripio).	81
Tabla 41: Resistencia a la compresión de cilindros con piedra chispa.	82
Tabla 42: Resistencia a la compresión de cilindros con ripio.....	82
Tabla 43: Absorción de agua en adoquines con capa (piedra chispa).	84
Tabla 44: Absorción de agua en adoquines sin capa (piedra chispa).	84
Tabla 45: Absorción de agua en adoquines con capa (ripio).....	85
Tabla 46: Absorción de agua en adoquines sin capa (ripio).....	85
Tabla 47: Cuadro comparativo de resistencias a compresión a los 28 días de fraguado.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Adoquines antiguos.....	9
Figura 2: Adoquines actuales.	11
Figura 3: Cemento Portland.....	12
Figura 4: Arena.....	13
Figura 5: Grava.....	13
Figura 6: Grava proveniente de cantera.....	14
Figura 7: Escoria siderúrgica.....	14
Figura 8: Adoquín peatonal.....	16
Figura 9: Adoquín para tránsito pesado.....	16
Figura 10: Elaboración manual del adoquín.....	17
Figura 11: Elaboración semi- automática del adoquín.	18
Figura 12: Elaboración automática de los adoquines.....	19
Figura 13: Elaboración de un adoquín.....	20
Figura 14: Proceso de reciclaje del papel.....	22
Figura 15: Celulosa.....	24
Figura 16: Estructura de la hemicelulosa.....	24
Figura 17: Lignina.....	25
Figura 18: Máquina para los ensayos de compresión.....	32
Figura 19: Horno de laboratorio.....	32
Figura 20: Piscina para el curado de los adoquines.....	33
Figura 21: Esquema del grupo adoquines con capas.....	34
Figura 22: Adoquín del grupo de prototipos con capas.....	34
Figura 23: Esquema del grupo de adoquines sin capas.....	35
Figura 24: Adoquín del grupo de prototipos sin capas.....	35
Figura 25: Esquema del grupo de adoquines con capas y ripio.....	36
Figura 26: Adoquín del grupo de prototipos con capas y ripio.....	36
Figura 27: Esquema del grupo de adoquines con ripio sin capas.....	37
Figura 28: Adoquín del grupo de prototipos con ripio y sin capas.....	37
Figura 29: Diagrama del proceso investigativo.....	39

Figura 30: Medidas del molde del prototipo de adoquín.....	40
Figura 31: Adoquín con capas.....	41
Figura 32: Adoquín sin capas.....	45
Figura 33: Dimensiones de la probeta cilíndrica de hormigón.....	48
Figura 34: Láminas de papel reciclado.....	51
Figura 35: Papel y cartón reciclado en agua.....	51
Figura 36: Licuado del papel y cartón reciclado.....	52
Figura 37: Secado de papel y cartón reciclado.....	53
Figura 38: Moldes de madera para los prototipos de adoquines.....	53
Figura 39: Preparando el material comprado.....	54
Figura 40: Pesando material para adoquines con capa.....	55
Figura 41: Marcando los 2 cm en cada molde de madera para los adoquines con capa.....	55
Figura 42: Fundición adoquines con capas.....	56
Figura 43: Pesando material para adoquines sin capas.....	56
Figura 44: Fundición de adoquines sin capas.....	57
Figura 45: Realizando la mezcla de los cilindros.....	58
Figura 46: Fundiendo los cilindros.....	58
Figura 47: Adoquines fraguando.....	59
Figura 48: Cilindros fraguando.....	59
Figura 49: Desmoldado de los adoquines.....	60
Figura 50: Rotulado de los adoquines.....	60
Figura 51: Desmoldado de cilindros.....	61
Figura 52: Cilindros desmoldados.....	61
Figura 53: Colocación de adoquines y cilindros en piscinas de agua.....	62
Figura 54: Secado de adoquines y cilindros al aire libre.....	63
Figura 55: Ensayo de compresión de los adoquines.....	64
Figura 56: Ensayo de compresión de los cilindros.....	64
Figura 57: Colocación de los adoquines en horno.....	65
Figura 58: Gráfico de barras de resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado.....	86

Figura 59: Grafico de barras de resistencia a compresión de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado.....	87
Figura 60: Grafico de barras de resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado (ripio).....	88
Figura 61: Grafico de barras de resistencia a compresión de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado (ripio).	89
Figura 62: Gráfico de porcentaje de absorción de agua para adoquines con piedra chispa.	91
Figura 63: Gráfico de porcentaje de absorción de agua para adoquines con ripio.....	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Moldes de madera para fundir los prototipos de adoquines	99
Anexo 2: Fundiendo los prototipos de adoquines	100
Anexo 3: Prototipos de adoquines fundidos y protegidos de la pérdida de humedad.....	101
Anexo 4: Rotulado de los prototipos de adoquines	102
Anexo 5: Desmoldado de los prototipos de adoquines	103
Anexo 6: Colocando los cilindros en la piscina con agua para su respectivo curado	104
Anexo 7: Primer grupo de prototipos de adoquines con piedra chispa (con capas y sin capas)	105
Anexo 8: Segundo grupo de prototipos de adoquines con piedra chispa (con capas y sin capas)	106
Anexo 9: Tercer grupo de prototipos de adoquines con piedra chispa (con capas y sin capas).	107
Anexo 10: Primer grupo de prototipos de adoquines con ripio (con capas y sin capas)	108
Anexo 11: Segundo grupo de prototipos de adoquines con ripio (con capas y sin capas)	109
Anexo 12: Tercer grupo de prototipos de adoquines con ripio (con capas y sin capas)	110
Anexo 13: Adoquines con piedra chispa elaborados para el ensayo de absorción de agua	111
Anexo 14: Pesado de adoquines para el ensayo de absorción de agua	112
Anexo 15: Ensayo de compresión de los prototipos de adoquines	113
Anexo 16: Ensayo de compresión de cilindros	114
Anexo 17: Prototipos de adoquines ensayados	115
Anexo 18: Cilindro ensayado	116
Anexo 19: Diseño de concreto hidráulico	117
Anexo 20: Diseño de concreto hidráulico 2	118

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es el sector que más contamina en el mundo. Los materiales que se utilizan en esta industria provienen de la explotación de canteras y sirven para la elaboración de distintos materiales constructivos como los adoquines.

Por tal motivo, actualmente en la construcción se busca elaborar materiales amigables con el medio ambiente por medio de la reutilización de materias primas más accesibles, como el papel y el cartón reciclado.

En otros países la implementación de papel y cartón en el sector de la construcción está aumentando, especialmente en la elaboración de hogares y estructuras similares. Tal es el caso de Holanda, país en el cual las empresas está trabajando con cartón para la construcción de casas menos contaminantes durante su proceso de construcción.

El presente proyecto de investigación se desarrolla con la finalidad de utilizar el papel y cartón reciclado para la elaboración de adoquines. Se plantea distinguir los beneficios de la utilización de papel y cartón reciclado para conocer si es viable su uso en el campo de la construcción.

CAPÍTULO 1

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Tema:

Prototipo de adoquín rectangular a base de papel y cartón reciclado para revestimiento de camineras.

1.2. Planteamiento del Problema:

Para la elaboración de adoquines el ser humano necesita de la explotación de canteras, que tiene por objetivo obtener recursos naturales como calizas, piedras, pizarras y gravas mediante la destrucción del medio ambiente. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo acciones para disminuir esta explotación de recursos mediante la reutilización de materiales reciclables como el papel y cartón.

Por ejemplo, a nivel mundial se genera un aproximado de 2000 millones de toneladas de basura, de los cuales $\frac{1}{4}$ son de papel y cartón. Según el Banco Mundial solo seis países (Suiza, Suecia, Austria, Bélgica y los Países Bajos), recicla el 50% de su basura (incluyendo papel y cartón) debido a que el gobierno de estos países ha impuesto multas si no se cumple con normas de reciclaje adecuadas. Se tiene previsto que para el 2050 la cantidad de basura aumentará un 70% con respecto a los niveles actuales, por tal razón es necesario buscar nuevos materiales de construcción amigables con el medio ambiente. En el caso de Ecuador se producen 61000 toneladas de basura al año, donde 4200 toneladas pertenecen a la ciudad de Guayaquil y apenas el 14% de esta basura es material reciclable. Considerando los datos del Ministerio de Ambiente

(MAE), de las 4200 toneladas de basura que se producen en la ciudad, el 9,4% corresponde a papel y cartón.

El papel es un material fabricado a partir de componentes vegetales provenientes del medio ambiente. Este papel en su forma de desecho se considera contaminante porque suele obstruir el ecosistema natural donde vaya a depositarse. En el caso del cartón, este es un derivado del papel porque en su proceso de fabricación se utilizan varias capas de celulosa convirtiéndolo en un material más resistente y duradero. Por lo tanto, al igual que el papel, impide el crecimiento natural de la flora del lugar.

Para solucionar la problemática se plantea utilizar el papel y cartón reciclado en la elaboración de adoquines rectangulares con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental y la explotación de canteras.

1.3. Formulación del problema

¿De qué manera influye la adición de papel y cartón reciclado en la elaboración de adoquines rectangulares?

1.4. Objetivo General

Diseñar un prototipo de adoquín rectangular mediante la utilización de papel y cartón reciclado para su uso en el revestimiento de camineras.

1.5. Objetivos Específicos

- Analizar la implementación de material reciclado en la fabricación de adoquines rectangulares.
- Evaluar la resistencia del adoquín rectangular a base de papel y cartón reciclado mediante la elaboración de ensayos de laboratorio.
- Comparar la resistencia del adoquín a base de papel y cartón reciclado frente a un adoquín tradicional.

1.6. Hipótesis

El papel y cartón reciclado mejorará la resistencia del adoquín rectangular a través de un prototipo para el revestimiento de camineras.

1.7. Línea de Investigación Institucional/Facultad.

Tabla 1: Línea de investigación.

LINEA DE INVESTIGACIÓN		
ULVR	FIIC	Sublínea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Materiales de Construcción	Materiales innovadores en la construcción

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Referencial:

Según Daniel Alejandro Gonzales Vera y Edison Omar Guerrero Vera (2021) autores de la tesis titulada **“Prototipo de adoquín a base de lodo residual de aluminio y fibra de cascara de maní para revestimiento de camineras”** para alcanzar el título de ingeniero civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Se determinó la viabilidad del uso de la cascara de maní y lodo residual con el fin de otorgar nuevas aplicaciones a estos residuos y así disminuir en cierta medida la contaminación producida al depositar estos materiales, no de la cascara de maní, pero sí del lodo residual del aluminio. Para esto se desarrollaron 15 muestras de adoquines ajustadas a las dosificaciones de la norma INEN 1488-887. Se pretendía que estos adoquines llegaran a una resistencia de 210 kg/cm². Como resultado de la investigación se obtuvo que no era viable el uso de estos residuos para elaborar adoquines, debido a que la resistencia obtenida era de 18,89 kg/cm², lo cual no llega a el valor establecido por la norma. (Gonzales & Guerrero, 2021)

La utilización de cascara de maní y lodo residual de aluminio es una buena opción para impulsar el uso de materias primas consideradas como desechos. Este tipo de investigación ayuda a conocer nuevos materiales más amigables con el medio ambiente, a su vez, permite tener en consideración que no todas las materias primas desechables pueden ser utilizadas para la elaboración de adoquines, en este caso la combinación de cascara de maní y lodo residual no

funciono porque la resistencia obtenida no fue adecuada y no cumplía con las normas establecidas por la INEN.

Según José Manuel Fierro Muñoz (2019) autor de la tesis titulada **“Obtención de un adoquín como resultado de la mezcla de cascara de maní, pet-1 y elementos tradicionales, para el sector popular”** para alcanzar el título de ingeniero civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Esta investigación tiene como propósito la disminución del impacto ambiental mediante el aprovechamiento de residuos como la cascara de maní y plástico pet-1. Para esto se desarrollaron 20 muestras de adoquines en donde se varió la cantidad de materiales para elaborar los mismos, además fueron sometidos a diferentes ensayos para determinar su características y propiedades. Los adoquines debían cumplir con lo exigido en la norma INEN 3040, la cual menciona que debe tener una resistencia mínima de 350 kg/cm², pero se obtuvieron resultados variados. Los adoquines del segundo, tercero y quinto ensayo fueron buenos estéticamente ya que no se agrietaron y desmoronaron como lo hicieron los otros. Lamentablemente no llegaron a la resistencia establecida por la norma INEN 3040 de 350 kg/cm², la máxima resistencia obtenida fue de 185,88 kg/cm². (Fierro, 2019)

A pesar de que los adoquines elaborados en la investigación no llegaron a la resistencia establecida, sí se aproximaron a ella, por lo tanto, pueden ser utilizados en zonas sin gran tránsito de personas. Esto permite concluir que existen materiales accesibles a los que se les pueden dar muy buenos usos, ampliando de esta manera el mercado en el campo de la construcción.

Según Janeth Stefany Izurieta Pilay y Andrea Paola Rodríguez Almeida (2018) autores de la tesis titulada **“Elaboración de un adoquín para revestimiento de camineras, a partir del**

plástico pet-1 y el caucho reciclado” para alcanzar el título de ingeniero civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. En esta investigación se planteó el uso de plástico pet-1 y caucho NFU para la fabricación de un adoquín. Los primeros adoquines estaban realizados con la combinación de plástico pet-1 y NFU, variando su dosificación. Los primeros resultados no fueron satisfactorios porque los adoquines no llegaron a fraguar bien, la superficie de los adoquines era pésimas al igual que la resistencia, por lo que se decidió hacer adoquines sin combinar ambas materias primas. Los segundos resultados demostraron que los adoquines solo con plástico pet-1 tuvieron más resistencias que los d caucho NFU. (Izurieta & Rodríguez, 2018)

El uso de material PET en la fabricación de adoquines otorgó mejor resistencia al adoquín en comparación con el caucho NFU. Esto indica que el remplazo del agregado grueso que se utiliza en la fabricación de adoquines es posible y viable. Por ende, se demuestra que existen materiales capaces de aportar grandes beneficios a la construcción y también al cuidado del medio ambiente.

Según Luis Daniel Hurtado Cevallos y Kevin Astolfo Pincay Nieto (2019) autores de la tesis titulada **“Elaboración de adoquines utilizando limalla y desperdicios de acero más elementos tradicionales para espacios públicos”** para alcanzar el título de ingeniero civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. La finalidad de su investigación era demostrar que es posible utilizar un material desechable como la limalla de acero para la fabricación de un adoquín. Para esto se elaboraron diferentes prototipos de adoquines, cambiando la dosificación de limalla de acero. Los adoquines en donde se utilizó solo un 5% de limalla de acero alcanzaron las resistencias establecidas por la norma, pero al aumentar ese porcentaje la resistencia del adoquín bajaba. (Cevallos & Pincay, 2019)

Según Joffre René Martínez Mayancela (2016) autor de la tesis titulada “**Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre un adoquín convencional y adoquines preparados con diferentes fibras: sintética (polipropileno), orgánica (estopa de coco), inorgánica (vidrio)**” para alcanzar el título de ingeniero civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte Técnica de Ambato. La finalidad del proyecto es determinar los efectos que tiene la adición de fibras en la resistencia a la compresión de un adoquín. Se utilizó fibras de polipropileno, fibras de estopa de coco y fibras de vidrio para la elaboración de los adoquines. Los resultados obtenidos a los 28 días demostraron que la resistencia aumenta al añadir estas fibras, cuando 0,1% de fibra de polipropileno la resistencia aumento un 22%, cuando se añadió 0,2% de fibra de estopa de coco la resistencia aumento un 13% y cuando se añadió un 0,3% de fibra de vidrio la resistencia aumento un 9%. (Martínez, 2016)

De acuerdo con las resistencias obtenidas en la investigación anterior se concluye que es posible la utilización de ciertas fibras de diferente material en la fabricación de los adoquines, permitiendo de esta manera ampliar los materiales que componen al adoquín y conocer la dosificación exacta para una correcta elaboración de estos.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Historia del adoquín

La historia del adoquín se remonta a muchos siglos atrás cuando el ser humano sintió la necesidad de mejorar los caminos por los cuales transitaban, con la finalidad de tener un ambiente más limpio tanto para los carruajes, caballos y para la población en general. Esta necesidad se incrementó a tal punto que para los comerciantes era indispensable que existiera rutas seguras y rápidas para el transporte de mercancías. (Anónimo, 2019)

Se tiene registro que los primeros adoquines se fabricaron en la época romana por el siglo XV para su uso en carreteras y ciudades europeas. Los pueblos que empezaron con la fabricación de este material y con el adoquinado fueron los romanos y los cartaginenses. (Nuteco, 2019)



Figura 1: Adoquines antiguos.

Fuente: Fenollar (2019).

El proceso de fabricación de los adoquines de aquella época comenzaba con la recolección de material a lo largo de orillas, lechos de ríos y lugares donde existió abundancia de granito y basalto. Estos dos últimos dotaban al adoquín de gran resistencia, fácil tratamiento y durabilidad. Posterior a su recolección se colocaban en arena y se unían con mortero para crear las calles y caminos. (Anónimo, 2019)

Para los siglos XVIII y XIX en la América precolombina y Europa se empezó a utilizar adoquines a base de barro cocido y madera. Los últimos trabajos de adoquinado de calles en esas épocas llegaron hasta Napoleón Bonaparte, quien ordeno la construcción de grandes calles para el traslado de tropas y armamento durante su conquista en Europa. (Anónimo, 2019)

El avance de la tecnología del hombre permitió el desarrollo de nuevas maneras de extracción de material, y para finales del siglo XIX y principios del siglo XX el adoquín paso a ser un material secundario para la construcción de calles, siendo principalmente utilizado como material decorativo. Esto sucedió por dos motivos principales, el primero por la revolución Industrial que permitió al hombre la extracción de material a gran escala de canteras y desarrollar lo que hoy conocemos como concreto, y la segunda por la aparición de medios de transporte masivos como buses o automóviles que implicaban la necesidad de materiales más resistentes, considerando las características superficiales como el peso, el comportamiento de la base, la sub-base y explanada de la calle. (Nuteco, 2019)

A pesar de lo anterior, el adoquín siguió su desarrollo como material fiable, popular y duradero hasta tal punto que en la década de los 70 su producción se disparó en el mercado permitiendo el desarrollo de nuevas tecnologías y sistemas de fabricación y colocación del adoquín. (Nuteco, 2019)

Hoy en día la elaboración del adoquín se realiza con concreto de forma artesanal o mediante el empleo de máquinas especializadas en su producción y se utiliza principalmente para calles residenciales y caminos públicos. (Anónimo, 2019)

2.2.2. El adoquín en la actualidad

El adoquín es un bloque ampliamente utilizado en la construcción de calles, caminos, estacionamientos y cualquier otra aplicación urbanística que requiera de un material fuerte y duradero. Los adoquines son bloques prefabricados de hormigón que tienen como agregado el granito, el cual le otorga alta resistencia y durabilidad. Estos pueden tener una enorme variedad de

tamaños y formatos, pero usualmente son rectangulares por su facilidad de colocación. (Fierro, 2019)



Figura 2: Adoquines actuales.

Fuente: Prefabricados Jara (2020).

2.2.3. Materiales involucrados en la elaboración del adoquín

Existen diversos materiales que se pueden utilizar para la elaboración del adoquín, como el granito o la arcilla, puesto que estos materiales cuentan con buenas propiedades físicas y mecánicas. Hoy en día en la elaboración del adoquín se emplean materias primas como agua, cemento y agregados que cumplen con la norma INEN 3040 “Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo”, esta norma determina el proceso adecuado para obtener un producto de calidad.

2.2.3.1. Cemento

El cemento utilizado en la fabricación de adoquines recibe el nombre de cemento Portland cuyas especificaciones técnicas deben cumplir con la norma INEN 152. Para la elaboración del cemento se utilizan diferentes materiales como la piedra, caliza, arcilla, y arena ferrosa. Estos materiales deben ser molidos y colocados en un horno especializado para obtener el Clinker. Finalmente, el Clinker será molido y combinado con yeso para obtener el cemento. (Fierro, 2019)

El cemento Portland es de uso general debido a que no se necesitan especificaciones especiales como la exposición a sulfatos, altas temperaturas o al contacto continuo con el agua. (Fierro, 2019)



Figura 3: Cemento Portland.

Fuente: EcuRed (2021).

2.2.3.2. Áridos

Los áridos son materiales primos granulares provenientes de la fragmentación de rocas utilizados en el campo de la construcción. Para la utilización de áridos en la elaboración de elementos estructurales como los adoquines es necesario el cumplimiento de la norma nacional INEN 872. (Grupo Grasa, 2019)

De acuerdo con el tamaño de los áridos se clasifican en:

Áridos finos: Son aquellos áridos con un tamaño menor a los 5 milímetros como arena y limo.



Figura 4: Arena.

Fuente: Bloques Cando (2021).

Áridos gruesos: Son aquellos áridos con un tamaño mayor a los 5 milímetros como gravas.



Figura 5: Grava.

Fuente: Rocas y Minerales (2021).

De acuerdo con el tipo de roca pueden clasificarse en:

Áridos naturales: Son áridos que se obtienen directamente de su recolección y de la explotación de canteras como las gravas. (Construmatica, 2018)



Figura 6: Grava proveniente de cantera.

Fuente: Px Here (2021).

Áridos artificiales: Proviene de procesos industriales en donde ciertos materiales son sometidos a altas temperaturas o a químicos, por ejemplo, la escoria siderúrgica generada en la fundición de acero. (Construmatica, 2018)



Figura 7: Escoria siderúrgica.

Fuente: Adec Global (2021).

Áridos reciclados: Estos áridos se obtienen a partir del reciclaje de los escombros de demoliciones de estructuras y residuos generados en obras.

2.2.3.3. Agua

Este recurso es fundamental en la elaboración de elementos estructurales como los adoquines porque está involucrado en su proceso de elaboración y en el proceso de fraguado. Por lo tanto, para obtener un elemento estructural con excelentes propiedades es necesario revisar la calidad del agua considerando los límites de sustancia contenida en la misma, como se señala en la siguiente tabla:

Tabla 2: Calidad del agua para uso en el concreto.

Sustancias y PH	Límite máximo
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	200 ppm
Sales de magnesio	125 ppm
Sales Solubles	300 ppm
Solidos en suspensión	10 ppm
Materia orgánica expresada en oxígeno consumido	0.001 ppm
PH	6<pH<8

Fuente: Gonzales & Guerrero (2021). Prototipo de adoquín a base de lodo residual de aluminio y fibra de cascara de maní para revestimiento de camineras.

2.2.4. Tipos de adoquín

El adoquín se clasifica en dos tipos según su finalidad:

- **Adoquín para tránsito peatonal o vehicular liviano**

Son adoquines utilizados en zonas peatonales y en donde se trasladan vehículos livianos.



Figura 8: Adoquín peatonal.

Fuente: 360 en concreto (2021).

- **Adoquín para tránsito vehicular pesado**

Estos adoquines son utilizados en zonas de tránsito vehicular pesados como buses y camiones con varios ejes.



Figura 9: Adoquín para tránsito pesado.

Fuente: Kriate Industrial Construction (2021).

2.2.5. Formas de elaboración del adoquín de hormigón

Existen 3 formas para elaborar un adoquín dependiendo del grado de intervención de maquinarias y recursos humanos:

1. Manual
2. Semi- manual
3. Automático

2.2.5.1. Elaboración manual

Este proceso requiere del empleo manual de herramientas ligeras para la elaboración del adoquín como martillo, clavos y materiales como la madera o similares para la fabricación del molde del adoquín.



Figura 10: Elaboración manual del adoquín.

Fuente: Vicente Ávila (2018).

2.2.5.2. Elaboración semi - manual

Este proceso de elaboración está compuesto por diferentes actividades manuales y mecanizadas, como el mezclado y el vibro-compactado. El proceso de producción debe cumplir con la norma INEN 3040.



Figura 11: Elaboración semi- automática del adoquín.

Fuente: Sin Ruta (2019).

2.2.5.3. Elaboración automática

Es el proceso industrializado de la fabricación del adoquín, no requiere esfuerzo humano alguno, salvo la operación de la maquinaria y el transporte de los materiales. El proceso automatizado se encarga del mezclado, el moldeado, el vibro- compactado y culmina con el secado del adoquín.



Figura 12: Elaboración automática de los adoquines.

Fuente: Control Procesos (2019).

2.2.6. Proceso para la elaboración del adoquín

Para la elaboración de un adoquín se deben seguir los siguientes pasos:

- 1.** Se define la dosificación de los componentes para elaborar el concreto. Estos componentes son: cemento, agua, agregado. La dosificación varía de acuerdo con el uso que se le va a dar.
- 2.** Realizada la dosificación se mezcla los componentes utilizando maquinaria como la mezcladora o de manera manual mediante una pala. Es recomendable el uso de la maquinaria porque permite la integración de la mezcla de forma eficaz.
- 3.** Al terminar la mezcla, esta se vierte en los moldes cuyas dimensiones deben seguir las normas estatales.

4. Se desmolda los adoquines para comenzar con el proceso del secado, estos deben estar en una zona cubierta del sol y viento alrededor de 4 a 8 horas.
5. Por último, se procede con el curado, el cual consiste en regar periódicamente los adoquines para que estos puedan tener mejores propiedades físicas y mecánicas.



Figura 13: Elaboración de un adoquín.

Fuente: El Entre Ríos (2016).

2.2.7. Papel

Se considera que el papel es una delgada lámina fabricada con celulosa. Esta celulosa es el conjunto de fibras vegetales, que posterior a un proceso artesanal o industrial, se seca formando lo que conocemos como papel. (Definición, 2021)

2.2.7.1. Papel reciclado

El papel reciclado, como su nombre indica, es la reutilización de la fibra de celulosa de un papel. Es importante conocer que no todo tipo de papel puede ser reciclado, si bien es cierto que la gran mayoría se compone de fibra de papel, en ocasiones el proceso del papel y la finalidad de su uso determina si es reciclable o no.

Los papeles considerados reciclables son:

- Papel de periódico.
- Papel de revista
- Papel de impresión general

El reciclaje de este material, de forma general, es de la siguiente manera:

1. Recogida y traslado del papel desechado a la planta de tratamiento.
2. Clasificación del tipo de papel.
3. Extracción de las fibras y eliminación de material que no sea papel en la planta de tratamiento.
4. Procesado, blanqueamiento y secado.
5. Posterior al secado, el papel queda listo para su uso.

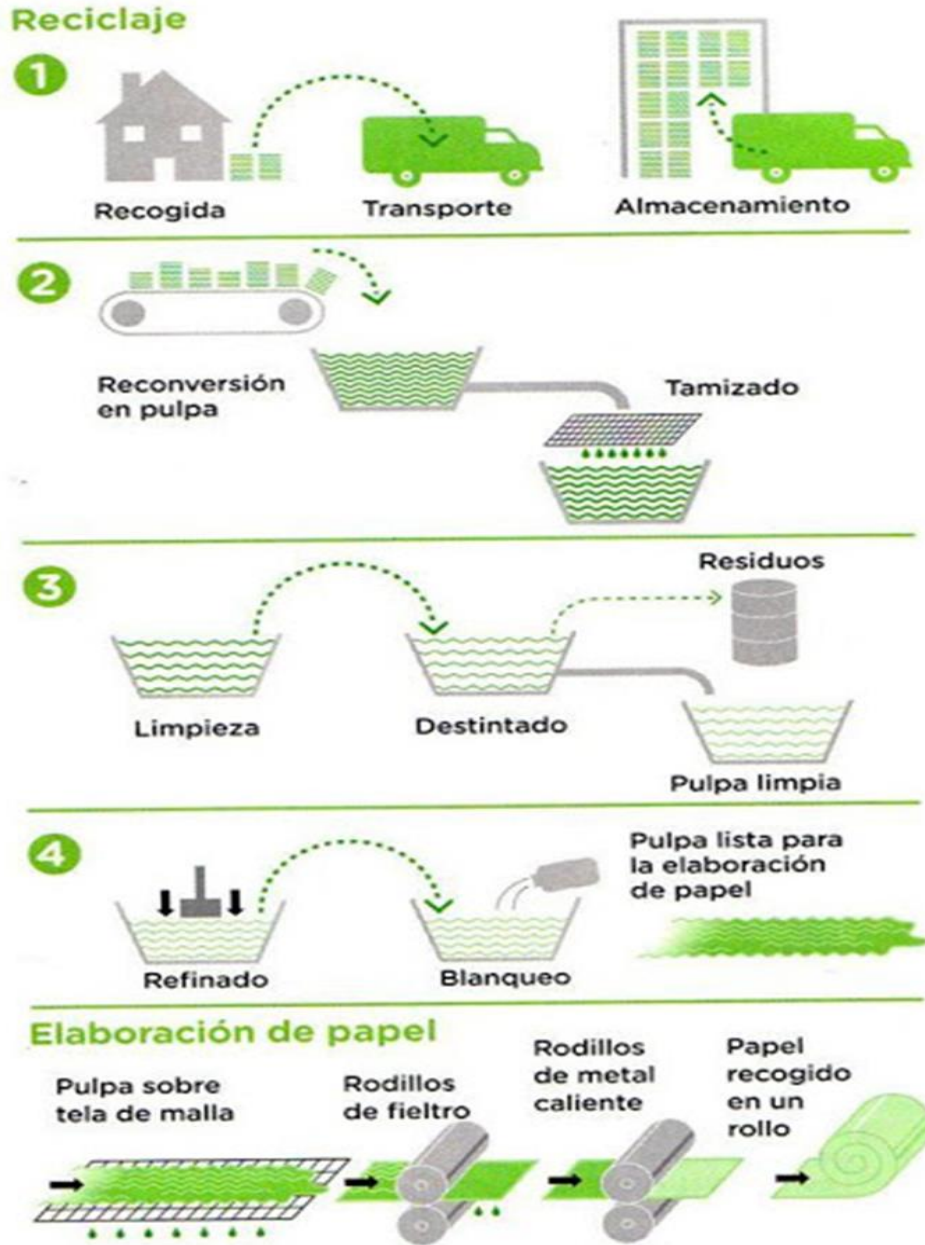


Figura 14: Proceso de reciclaje del papel.

Fuente: Bulmaro Noguera (2021).

2.2.8. Cartón

El cartón es el conjunto de múltiples capas de pasta de papel, estas se adhieren mediante la humedad y posterior a un secado, adquieren la consistencia, resistencia y dureza de lo que llamamos “cartón”. (Definicion, 2021)

2.2.8.1. Cartón reciclado

El cartón reciclado es la reutilización de la fibra de celulosa del cartón original, su método de recuperación es bastante similar al del papel reciclado. El cartón deberá pasar un proceso de limpieza por medios de químicos que permitan remover materiales que no sean parte de la fibra de celulosa (principalmente tintas o líquidos similares). Posterior a este proceso, la fibra de celulosa se utilizará para procesar nuevamente el cartón.

2.2.9. Características químicas del papel y cartón

El papel y el cartón están constituidos por las siguientes sustancias químicas:

2.2.9.1. Celulosa

Es un polímero natural formado en largas cadenas, constituido por la repetición de una unidad individual de celobiosa que a su vez está conformado por glucosa.



Figura 15: Celulosa.

Fuente: Todo en Polímeros (2017).

2.2.9.2. Hemicelulosa

Es una fibra con bases de polisacáridos formada por unidades químicas dependientes del tipo de planta utilizada en la fabricación del papel y cartón, estas son: glucosa, galactosa, manosa, xilosa y arabinosa. (Parafa, 2019)

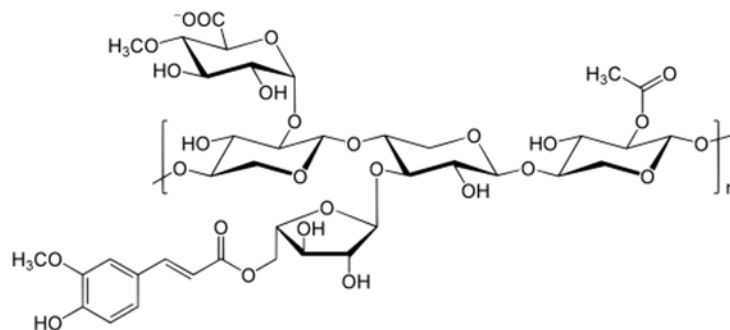


Figura 16: Estructura de la hemicelulosa.

Fuente: Raquel Parada (2019).

2.2.9.3. Lignina

Es una sustancia polimérica que forma una capa exterior entre la celulosa y la hemicelulosa permitiendo su unión y a su vez la unión de otras fibras mediante enlaces covalentes y puentes de hidrogeno. (Gutierrez, 2020)

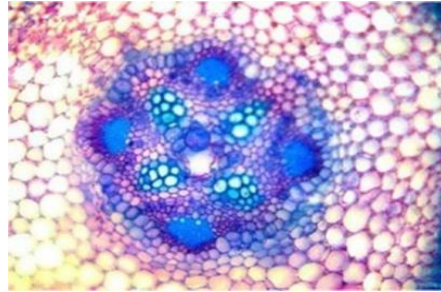


Figura 17: Lignina.

Fuente: Ecu Red (2021).

2.2.9.4. Otras sustancias químicas

En el proceso de fabricación del papel y cartón se hace uso de sustancias químicas como el dióxido de cloro, utilizado para el blanqueamiento de la pasta, también se suele utilizar polipropileno o polietileno con el objetivo de mejorar la resistencia.

2.2.10. Ensayos y pruebas del adoquín

2.2.10.1. Ensayo de compresión

El ensayo se lo debe realizar de acuerdo con la norma INEN 3040, la cual menciona todos los procedimientos a seguir, las maquinarias y herramientas a utilizar. El objetivo del ensayo es conocer la resistencia a compresión del material que se está estudiando. (Caicedo Salguero, sf)

2.2.10.2. Ensayo de absorción de agua, densidad y porosidad

Este ensayo permite determinar el porcentaje de absorción de agua del material estudiado, el porcentaje de porosidad y la densidad del adoquín. Es utilizado generalmente para conocer si cumple con las especificaciones dispuestas con las normas ecuatorianas de la construcción. (Caicedo Salguero, sf)

2.3. Marco conceptual

Siderurgia: Proceso de transformación de materia prima de hierro al acero.

Clinker: Gránulos de tamaño aproximado a 0,5 a 25mm, producto de la calcinación de la arcilla que son utilizados en la elaboración del cemento.

Dosificación: Medida calculada de los materiales para una mezcla de hormigón a mortero.

Flexo-tracción: Aplicación de dos cargas iguales y simétricas sobre un elemento estructural o probeta, si se trata de un ensayo.

Celulosa: Polisacárido que forma la pared de las células vegetales y es el componente fundamental del papel.

MPa: Medida de resistencia a la compresión del hormigón, se refiere a 10^6 Pascales, equivalente a un millón de newtons por metro cuadrado.

Esfuerzo: Carga aplicada a una probeta en un ensayo de tracción o compresión dividida por el área transversal de la probeta. Al calcular el esfuerzo de ingeniería se ignora el cambio del área transversal que se produce con aumentos y disminuciones en la carga aplicada.

Vibro-compactado: Técnica utilizada, principalmente en obras de construcción, para compactar diferentes materiales y proveer de mejores propiedades.

Desgaste: Adelgazamiento gradual de un material.

Corindón: Polvo a base de óxido de aluminio que se utiliza para desgastar materiales, se utiliza frecuentemente en ensayos de resistencia al desgaste.

2.4.Marco Legal

En el presente proyecto las leyes y normativas que se deben considerar son las siguientes:

Constitución de la República del Ecuador

Fundamentados en la vigente Constitución de la Republica del Ecuador, se hace énfasis en los siguientes artículos relacionados con el presente proyecto de investigación.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento, y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

Art. 54.- Las personas o entidades que presten servicios públicos o que produzcan o comercialicen bienes de consumo, serán responsables civil y penalmente por la deficiente prestación del servicio, por la calidad defectuosa del producto, o cuando sus condiciones no estén de acuerdo con la publicidad efectuada o con la descripción que incorpore. Las personas serán responsables por la mala práctica en el ejercicio de su profesión, arte u oficio, en especial aquella que ponga en riesgo la integridad o la vida de las personas.

Art. 66, numeral 15.- El derecho a desarrollar actividades económicas, en forma individual o colectiva, conforme a los principios de solidaridad, responsabilidad social y ambiental.

Art. 38, numeral 6.- Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

Art. 385, numeral 3.- Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulse la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 872:2011

Áridos para hormigón. Requisitos, primera revisión.

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1488: 1986-04

Adoquines Requisitos.

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1 573:2010

Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 3040 2016-04

Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo

Según indica la norma, los adoquines deben cumplir con lo siguiente:

Campo de aplicación

Se aplica a adoquines normales como a adoquines permeables. Para la aplicación de esta norma los adoquines deben satisfacer las siguientes condiciones:

- a) Cualquier sección transversal a una distancia de 50mm de cualquiera de los bordes del adoquín, tiene una dimensión horizontal igual o superior a 50mm.
- b) Su longitud total dividida por su espesor es menor o igual que cuatro. A su vez la norma indica lo siguiente:

Requisitos

En la fabricación de adoquines de hormigón solamente se deben utilizar materiales cuyas propiedades y características sean las adecuadas para ello.

Los requisitos de idoneidad de los materiales utilizados deben recogerse en la documentación de control de producción del fabricante. En el anexo A se indica un esquema de inspección de referencia.

Amianto

Para la fabricación de adoquines, no debe utilizarse amianto o materiales que contengan amianto.

Requisitos de los productos

Generalidades

Los adoquines pueden ser monocapa, con un solo tipo de hormigón, o doble capa, con diferentes tipos de hormigón en su capa superficial y de apoyo.

Cuando los adoquines sean fabricados con capa superficial, o doble capa, esta debe tener un espesor mínimo de 4 mm sobre el área declarada por el fabricante cuando se mida de acuerdo con el anexo C.

Se deben ignorar las partículas asiladas de áridos de su estructura principal que puedan quedar introducidas en la parte interior de la capa superficial. La capa superficial debe considerarse como parte integrante del adoquín.

Una arista puede considerarse biselada; cuando sus proyecciones verticales u horizontales no superen los 2 mm.

Una arista biselada, cuyas proyecciones verticales u horizontales excedan los 2mm debe considerarse como achaflanada. Las dimensiones deben ser declaradas por el fabricante. Los adoquines pueden ser fabricados con perfiles funcionales o decorativos, pero estos no deben ser incluidos en las dimensiones nominales del adoquín.

La superficie de los adoquines puede ser texturizada, ser sometida a un tratamiento secundario o ser tratada químicamente; estos acabados o tratamiento deben ser declaradas y descritos por el fabricante.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación:

El presente trabajo investigativo tiene un enfoque cuantitativo porque se necesita determinar las diferentes dosificaciones del prototipo de adoquín que se ajusten a las propiedades físicas y mecánicas de un adoquín tradicional. A su vez, estas dosificaciones deberán permitir al prototipo de adoquín garantizar su uso establecido por la norma, tanto en resistencia y calidad, como lo hace el adoquín tradicional.

3.2. Alcance de la investigación

La presente investigación se considera como una investigación exploratoria debido a que el objeto de estudio no se ha investigado con los materiales expresos (papel y cartón reciclado). De forma que, las propiedades físicas y mecánicas del adoquín propuesto son desconocidas y los resultados obtenidos después de la investigación ofrecerán nuevos conocimientos de este material.

3.3. Técnicas e instrumentos para obtener los datos

Las técnicas utilizadas en la presente investigación corresponden a ensayos de laboratorio. Estos ensayos de laboratorio son de compresión y de absorción de agua del adoquín, gracias a estas técnicas se obtuvieron los datos necesarios para su análisis posterior.

Los instrumentos utilizados son los siguientes:

Para los ensayos de compresión se utilizó una máquina de compresión de hormigón.



Figura 18: Máquina para los ensayos de compresión.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Para los ensayos de absorción de agua fue necesario el uso de un horno de laboratorio.



Figura 19: Horno de laboratorio.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Para el curado de los adoquines se utilizaron piscinas de agua.



Figura 20: Piscina para el curado de los adoquines.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3.4. Población y muestra

La población considerada para la presente investigación es el conjunto de adoquines elaborados con materiales tradicionales y materiales reciclados en la ciudad de Guayaquil. La muestra a estudiar son la cantidad de adoquines requeridos en los ensayos a realizar, esta cantidad fue de 72 prototipos de adoquines.

Para la muestra a estudiar se determinó cuatro grupos de adoquines, con el fin de analizar su resistencia durante los 7, 14 y 28 días, y cuatro grupos de adoquines para el ensayo de absorción de agua.

Adicionalmente se consideró dos grupos de cilindros para estudiar el comportamiento del hormigón a los 7, 14 y 28 días.

El primer grupo de prototipos de adoquines poseen una capa de 2 cm de hormigón de $F_c=240 \text{ kg/cm}^2$, sin modificación, en la capa superficial. Una capa media de 2cm de material a estudiar (papel y cartón reciclado) con hormigón. Y una capa base de 2 cm de material de hormigón $F_c=240 \text{ kg/cm}^2$. Este adoquín adopta la forma de sandwich debido a las capas de material.

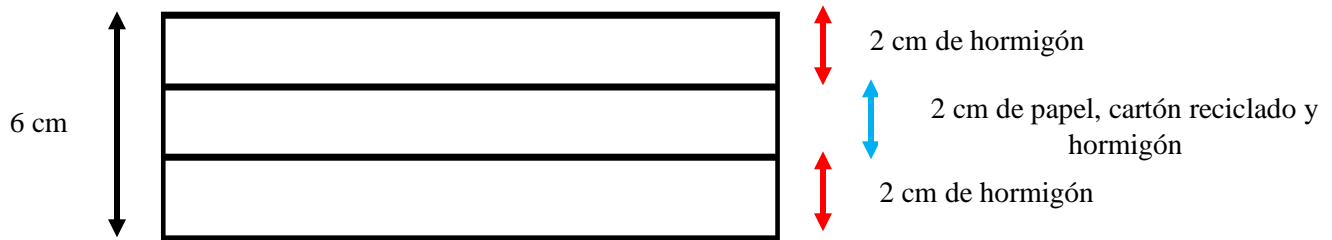


Figura 21: Esquema del grupo adoquines con capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 22: Adorno del grupo de prototipos con capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

El segundo grupo de prototipos de adoquines son una alteración de diseño original del hormigón $F_c=240 \text{ kg/cm}^2$ con papel y cartón reciclado, este grupo de adoquines es homogéneo y sin capas.

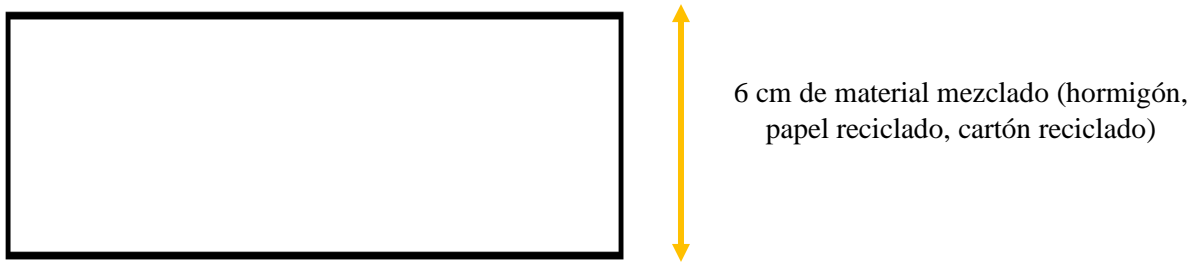


Figura 23: Esquema del grupo de adoquines sin capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 24: Adoquín del grupo de prototipos sin capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

El tercer grupo de prototipos de adoquines utilizan como agregados finos y gruesos el ripio. Estos agregados son los retenidos y los pasantes del tamiz 3/8. Este grupo es similar al primer grupo, poseen capas de 2 cm de material.

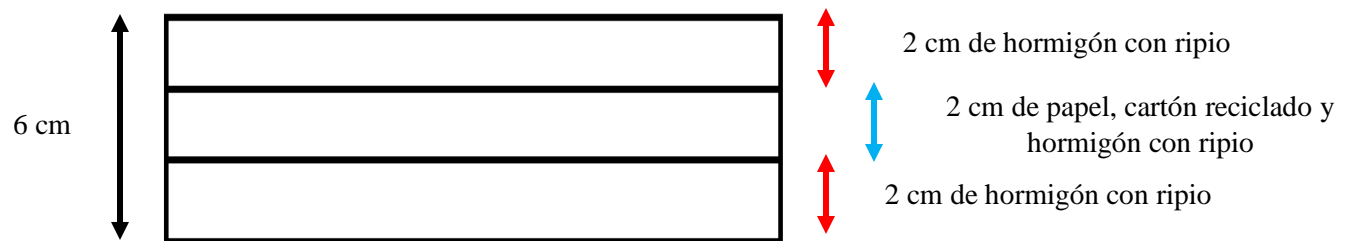


Figura 25: Esquema del grupo de adoquines con capas y ripio.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 26: Adoquín del grupo de prototipos con capas y ripio.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

El cuarto grupo de prototipos de adoquines es un diseño de adorno homogéneo y sin capas utilizando ripio como agregado grueso y fino. Estos agregados son los retenidos y los pasantes del tamiz 3/8.

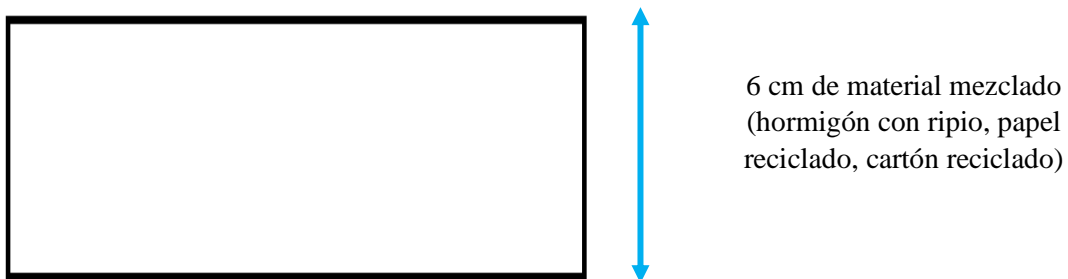


Figura 27: Esquema del grupo de adoquines con ripio sin capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 28: Adoquín del grupo de prototipos con ripio y sin capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Para la dosificación de los adoquines con capas se propone utilizar 200 gramos de material reciclable (papel y cartón reciclado) en el diseño del hormigón, este valor será dividido para la cantidad de adoquines a ensayar. En el caso de los adoquines sin capas se propone utilizar una cantidad de 33,33 gramos dependiendo del adoquín y como se va a ensayar.

La dosificación de papel y cartón reciclado utilizado en los grupos con capas es la siguiente:

Tabla 3: Dosificación de papel y cartón reciclado en adoquines con capas.

Adoquín con capas	Dosificación de papel y cartón reciclado	
	Papel	Cartón
1	33,33 gramos	0 gramos
2	26,64 gramos	6,66 gramos
3	19,98 gramos	13,32 gramos
4	13,32 gramos	19,98 gramos
5	6,66 gramos	26,64 gramos
6	0 gramos	33,33 gramos

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

La dosificación de papel y cartón reciclado utilizado en los adoquines sin capas es la siguiente:

Tabla 4: Dosificación de papel y cartón reciclado en los adoquines sin capa.

Adoquín sin capas	Dosificación de papel y cartón reciclado	
	Papel	Cartón
1	33,33 gramos	0 gramos
2	16,66 gramos	16,66 gramos
3	0 gramos	33,33 gramos

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3.5. Metodología del proceso

Para la presente investigación fue necesario realizar una planificación que permita llevar a cabo todas las acciones necesarias con el fin de cumplir con los objetivos planteados. Esta planificación está constituida de la siguiente forma:

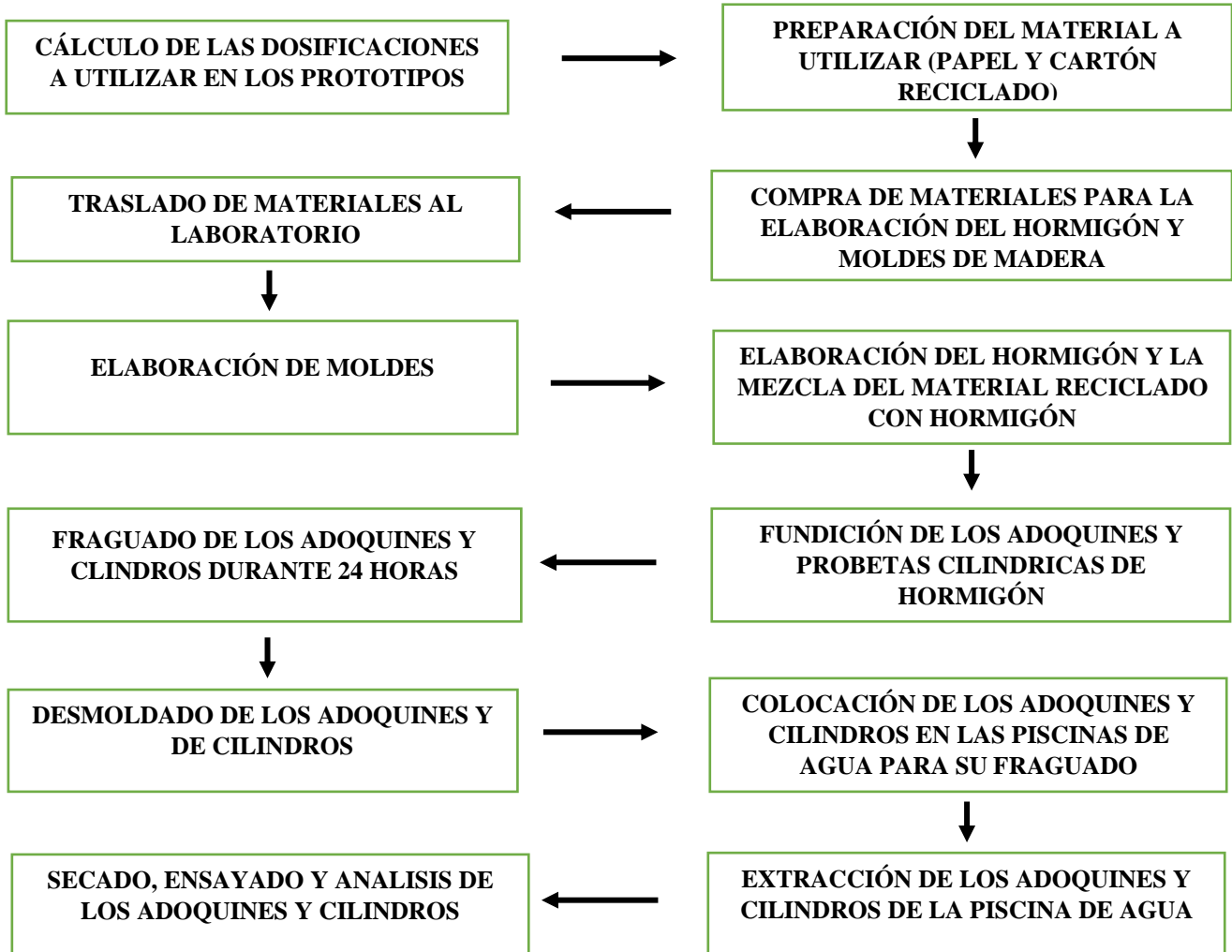


Figura 29: Diagrama del proceso investigativo.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Describiendo el diagrama expuesto, tenemos las siguientes acciones:

1. Cálculo de las dosificaciones a usar en los prototipos

Los moldes de prototipos que se van a elaborar tienen las siguientes medidas:

Largo: 20 centímetros

Ancho: 10 centímetros

Alto: 6 centímetros.

El molde del prototipo de adoquín adopta la siguiente forma:

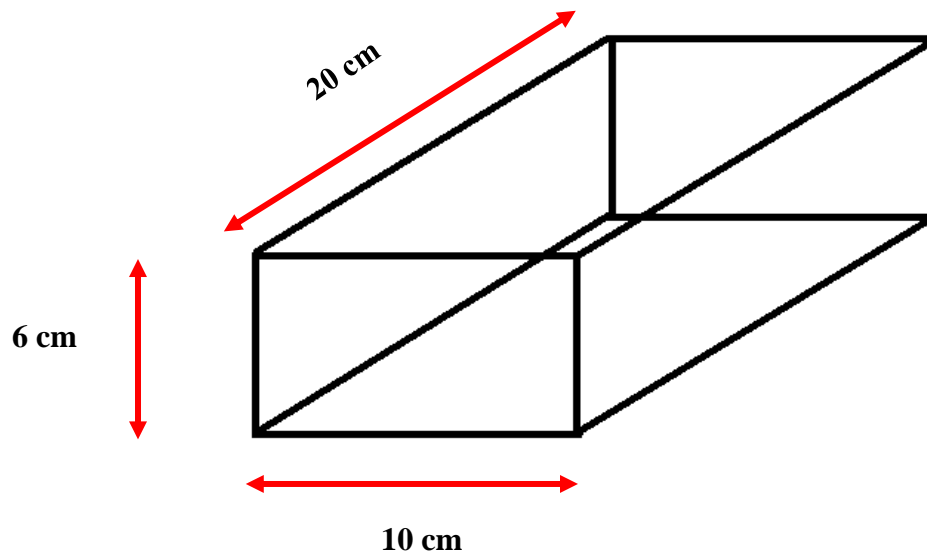


Figura 30: Medidas del molde del prototipo de adoquín.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Para calcular la cantidad de material a utilizar, considerando las medidas del prototipo del adoquín, la medida de los cilindros y teniendo en cuenta el diseño del concreto hidráulico realizado en el laboratorio (*Véase anexo 19 y 20*), se procede de la siguiente forma:

- **Cálculo de volumen de material para el adoquín con capas**

El prototipo de adoquín con capas tiene la siguiente estructura:

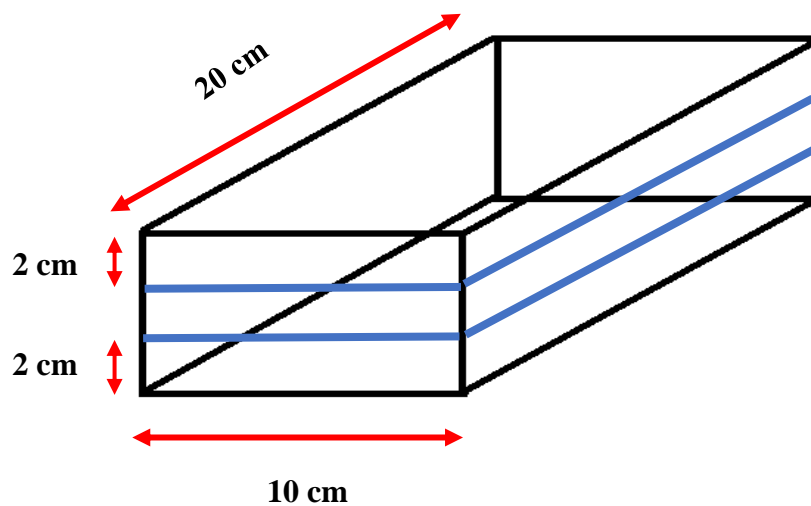


Figura 31: Adoquín con capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Considerando que solo habrá material de hormigón en 4 centímetros, se tiene que:

$$V = 0,20 \text{ m} \times 0,10 \text{ m} \times 0,04 \text{ m} = 0,0008 \text{ m}^3 \times 6 \text{ unidades de adoquines}$$

$$V = 0,0048 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el material a utilizar tiene un volumen de 0,0048 m³. Este volumen multiplicado por un factor de mayorero de precaución por falta de material nos da el siguiente resultado:

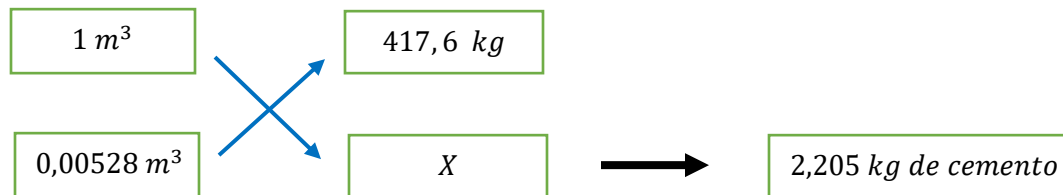
$$V = 0,0048 \times 1,1$$

$$V = 0,00528 \text{ m}^3$$

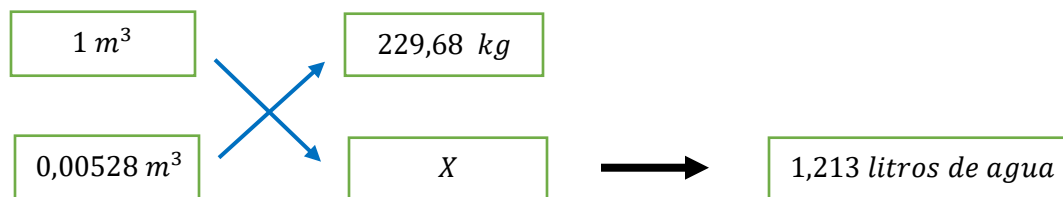
El volumen para los prototipos de adoquines con capas es de 0,00528 m³.

Una vez calculado el volumen se procede a determinar la cantidad de material a utilizar de acuerdo con el diseño del laboratorio con una regla de tres simple. (Véase anexo 19 y 20):

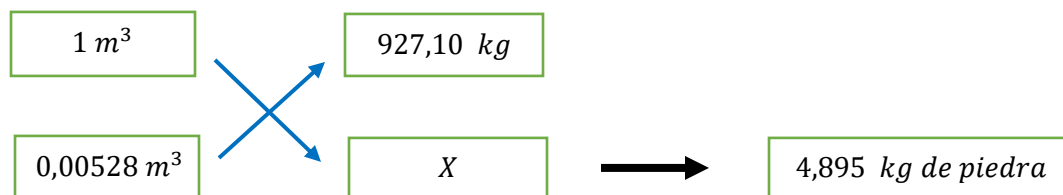
Cemento:



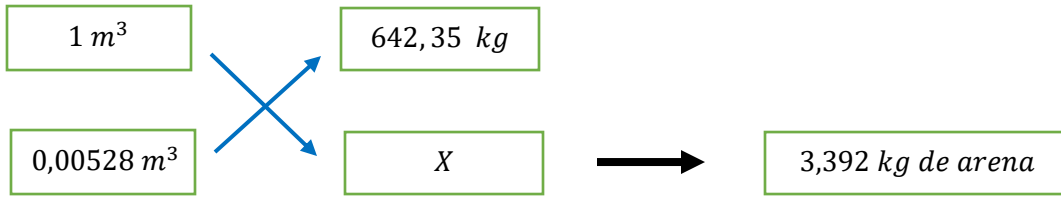
Agua:



Piedra:



Arena:



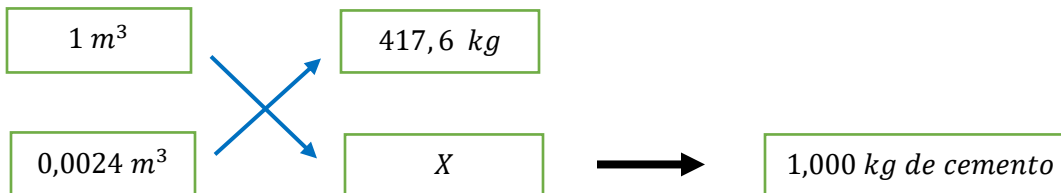
Para determinar la cantidad de material que se debe utilizar en la capa intermedia de 2 centímetros (hormigón, papel y cartón reciclado) se calcula el volumen:

$$V = 0,20 m \times 0,10 m \times 0,02 m = 0,0004 m^3 \times 6 \text{ unidades de adoquines}$$

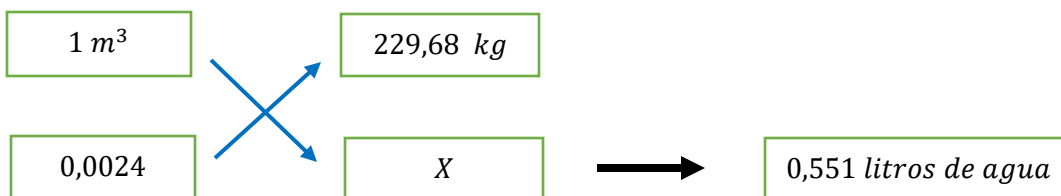
$$V = 0,0024 m^3$$

Una vez calculado el volumen se procede a determinar la cantidad de material a utilizar de acuerdo con el diseño del laboratorio con una regla de tres simple. (Véase anexo 19 y 20):

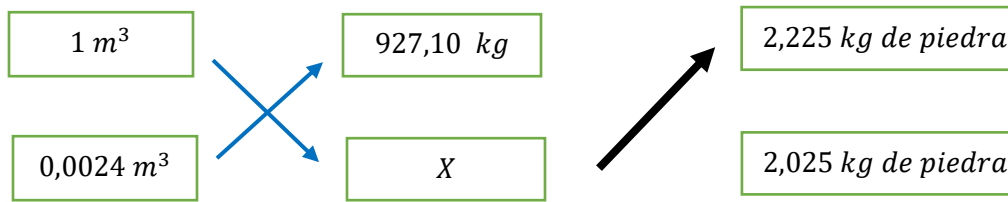
Cemento:



Agua:

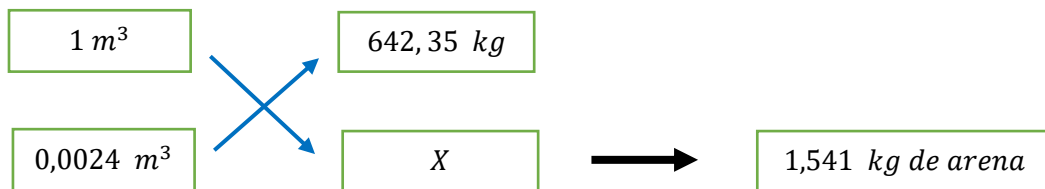


Piedra y material reciclado:



En este apartado del cálculo debemos considerar la cantidad de material reciclado a reemplazar (papel y cartón reciclado), por ende, se propone utilizar 200 gramos de este material. Dando como resultado que la piedra a usar es de 2,025 kg.

Arena:



Considerando los resultados tenemos la siguiente tabla:

Tabla 5: Cantidad de material a utilizar en adoquines con capas.

ADOQUÍN	CAPA SUPERFICIAL Y CAPA BASE				CAPA INTERMEDIA (Kg)			
	(Kg)							
	CEMENTO	AGUA	PIEDRA	ARENA	CEMENTO	AGUA	PIEDRA	ARENA
	2,205	1,213	4,895	3,392	1,000	0,551	2,025	1,541

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

En el caso del ripio, se considera la suma de piedra y arena, teniendo en cuenta que estos agregados son aquellos retenidos y pasantes en el tamiz 3/8. Las cantidades para las capas son las siguientes:

Tabla 6: Cantidad de material a utilizar en adoquines con capas (ripio).

ADOQUÍN	CAPA SUPERFICIAL Y CAPA BASE (Kg)				CAPA INTERMEDIA (Kg)		
	CEMENTO	AGUA	PIEDRA	ARENA	CEMENTO	AGUA	RIPIO
	2,205	1,213	4,895	3,392	1,000	0,551	3,566

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Cálculo de volumen de material para el adoquín sin capas**

El prototipo de adoquín sin capas tiene la siguiente estructura:

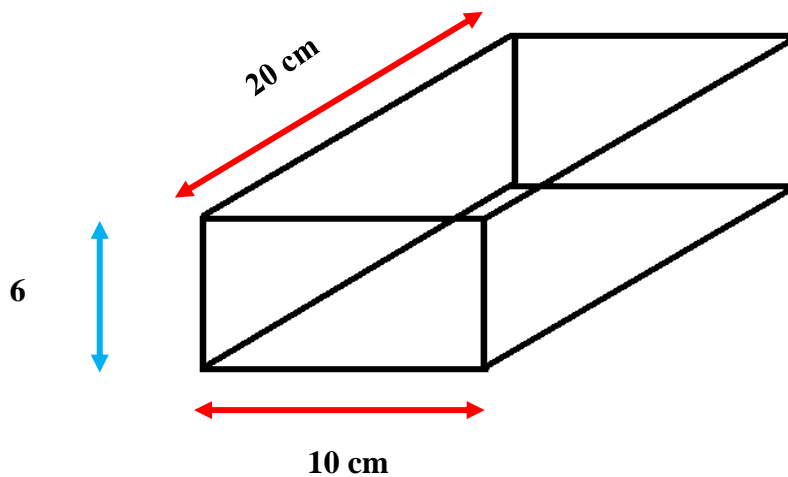


Figura 32: Adoquín sin capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Calculando el volumen del prototipo se tiene lo siguiente:

$$V = 0,20 \text{ m} \times 0,10 \text{ m} \times 0,06 \text{ m} = 0,0012 \text{ m}^3 \times 3 \text{ unidades de adoquines}$$

$$V = 0,0036 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el material a utilizar tiene un volumen de 0,0036 m³. Este volumen multiplicado por un factor de mayorero de precaución por falta de material nos da el siguiente resultado:

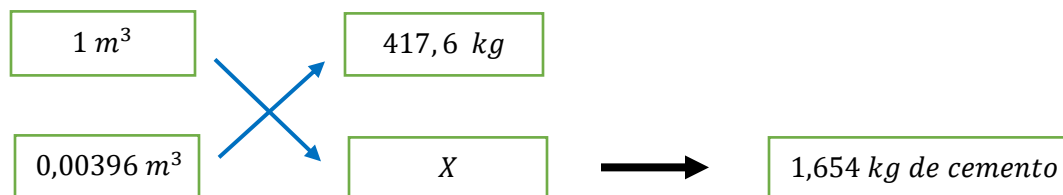
$$V = 0,0036 \times 1,1$$

$$V = 0,00396 \text{ m}^3$$

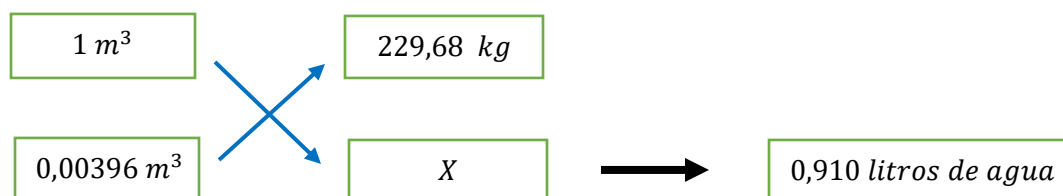
El volumen para los prototipos de adoquines sin capas es de 0,00396 m³.

Una vez calculado el volumen se procede a determinar la cantidad de material a utilizar de acuerdo con el diseño del laboratorio con una regla de tres simple. (Véase anexo 19 y 20):

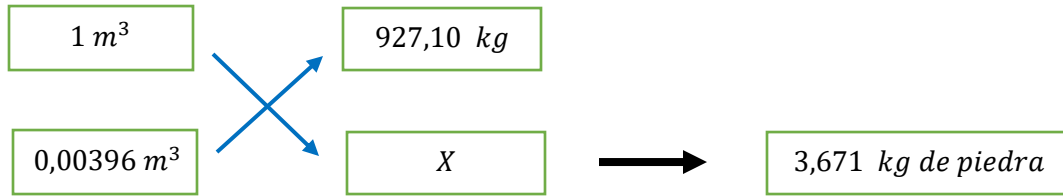
Cemento:



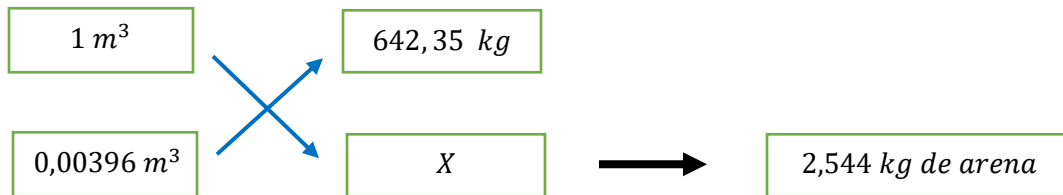
Agua:



Piedra:



Arena:



Considerando los resultados tenemos la siguiente tabla:

Tabla 7: Cantidad de material a utilizar en adoquines sin capa.

ADOQUÍN SIN CAPA (Kg)			
CEMENTO	AGUA	PIEDRA	ARENA
1,654	0,910	3,671	2,544

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Para el material ripio las cantidades para las capas son las siguientes:

Tabla 8: Cantidad de material a utilizar en adoquines sin capa (ripio).

ADOQUÍN SIN CAPA (Kg)		
CEMENTO	AGUA	RIPIO
1,654	0,910	6,215

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Cálculo de volumen de material para las probetas cilíndricas**

La probeta de cilindro a utilizar tiene la siguiente dimensión:

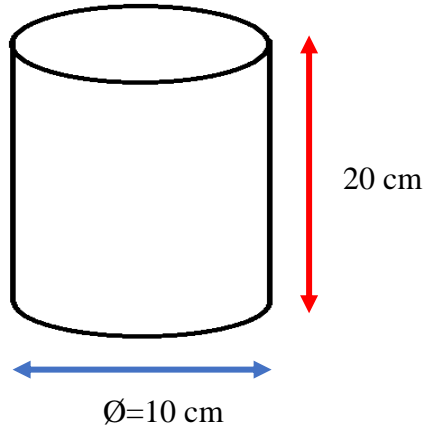


Figura 33: Dimensiones de la probeta cilíndrica de hormigón.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Se calcula el área de la base de la probeta del cilindro de la siguiente manera:

$$A = \frac{\pi \times (0,10^2)m}{4} = 0,00785 m^2$$

Para calcular el volumen, el área hallada se multiplica por la altura del cilindro, a su vez se multiplica por el factor de mayoro de precaución por falta de material, como se muestra a continuación:

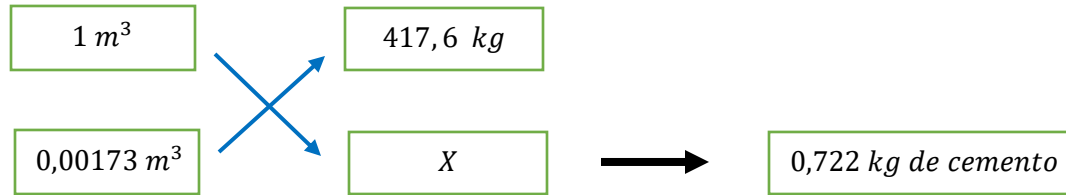
$$V = 0,00785 m^2 \times 0,20 m \times 1,1$$

$$V = 0,00173 m^3$$

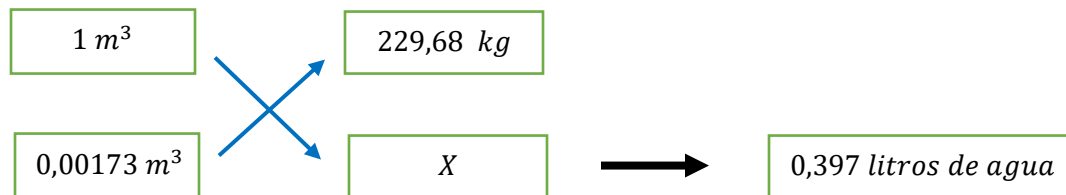
El volumen de las probetas de los cilindros es el siguiente 0,00173 m³.

Una vez calculado el volumen se procede a determinar la cantidad de material a utilizar de acuerdo con el diseño del laboratorio con una regla de tres simple. (Véase anexo 19 y 20):

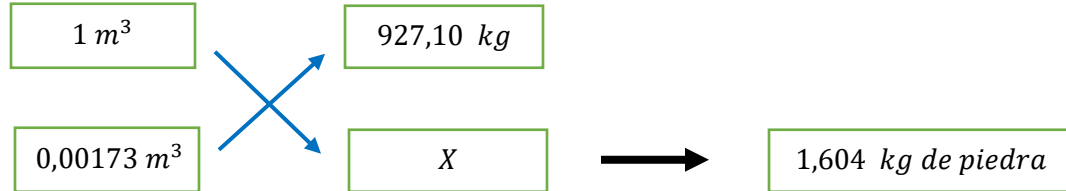
Cemento:



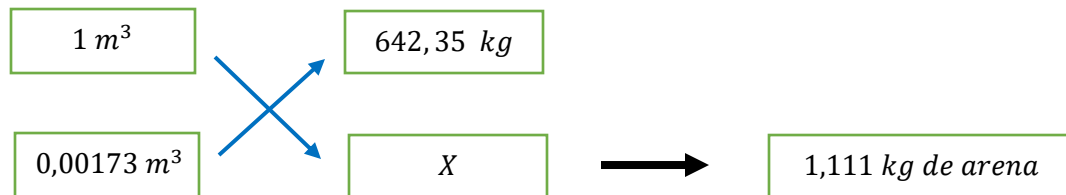
Agua:



Piedra:



Arena:



Considerando los resultados tenemos la siguiente tabla:

Tabla 9: Cantidad de material a utilizar en cilindros de hormigón.

CILINDROS (Kg)			
CEMENTO	AGUA	PIEDRA	ARENA
0,722	0,397	1,604	1,111

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

En el caso del ripio, las cantidades son las siguientes:

Tabla 10: Cantidad de material a utilizar en cilindros de hormigón (ripio).

CILINDROS (Kg)		
CEMENTO	AGUA	RIPIO
0,722	0,397	2,715

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

2. Preparación del material a utilizar (papel y cartón reciclado)

El papel y el cartón reciclado se obtuvieron en la Recicladora Guayaquil. Para que el papel y el cartón reciclado puedan ser utilizados en la elaboración de adoquines fue necesario preparar el material, a continuación, se explica el proceso que se llevó a cabo:

- **Cortado del material reciclado**

El papel y cartón reciclado fue cortado en laminas pequeñas para su fácil manejo en los procesos posteriores.

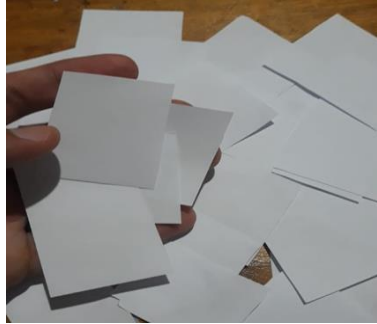


Figura 34: Láminas de papel reciclado.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Mojado del material reciclado**

Las láminas de papel y cartón reciclado se colocaron en baldes con agua, separándolos respectivamente. Este material reciclado permaneció en agua durante 24 horas.



Figura 35: Papel y cartón reciclado en agua.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Licudo del papel y cartón reciclado**

Se procedió a licuar el papel y cartón reciclado para que el tamaño del material disminuya. Una vez licuado el material reciclado, se exprimió el mismo para retirar la mayor cantidad de agua.



Figura 36: Licuado del papel y cartón reciclado.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Secado del papel y cartón reciclado**

Para el secado se extendió el material reciclado sobre una superficie durante 1 semana y después se procedió a utilizar un horno a 75 °C durante 1 hora para que la cantidad de agua contenida en el material reciclado sea lo menor posible.



Figura 37: Secado de papel y cartón reciclado.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3. Elaboración de moldes de madera para los prototipos de adoquines

Para la elaboración de los moldes se compró planchas de plywood, las cuales se cortaron en pedazos pequeños que se ajusten las medidas requeridas por los prototipos de adoquines. Estos moldes respetan la medida 20 cm x 12 cm x 6 cm.

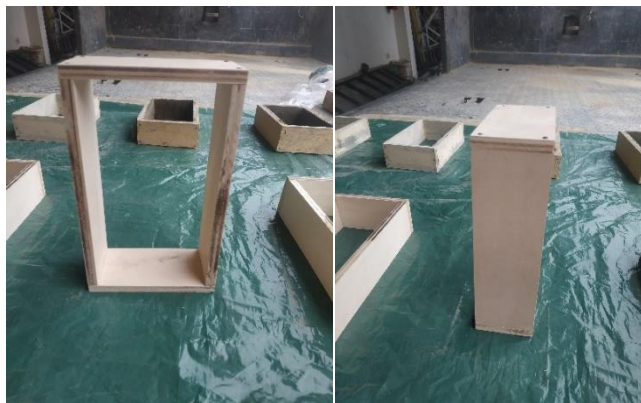


Figura 38: Moldes de madera para los prototipos de adoquines.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

4. Compra de materiales para la elaboración del hormigón

Para elaborar los adoquines fue necesario comprar material. Este material fue 2 sacos de arena, 2 sacos de cemento, 2 sacos de piedra chispa y 2 sacos de ripio. La obtención del agua se realizaba en el laboratorio.



Figura 39: Preparando el material comprado.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

5. Fundición de los prototipos de adoquines y cilindros de hormigón

La fundición de los adoquines fue realizada de la siguiente manera:

- **Fundición de adoquines con capas**

El primer paso para fundir los adoquines con capas es pesar la cantidad de material en la pesa electrónica, la cantidad de material requerido esta expresada en la tabla 4.



Figura 40: Pesando material para adoquines con capa.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Posterior al pesado, se empieza a realizar la mezcla de hormigón y su fundición en los moldes de madera. Para esto fue necesario marcar en los moldes los 2 centímetros de cada capa mediante un marcador negro permanente. Finalmente se procede a la fundición con la mezcla de hormigón respectiva para cada capa, incluyendo el material reciclado.



Figura 41: Marcando los 2 cm en cada molde de madera para los adoquines con capa.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 42: Fundición adoquines con capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Es necesario iniciar que se siguió el mismo proceso para la fundición de los adoquines con ripio considerando las dosificaciones en la tabla 5.

- **Fundición de adoquines sin capas**

El primer paso para fundir los adoquines sin capas es pesar la cantidad de material requerida en la pesa electrónica de acuerdo con las cantidades expresadas en la tabla 6 del presente documento.



Figura 43: Pesando material para adoquines sin capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Posterior al pesado del material, se empieza la fundición de los adoquines con las cantidades expresadas en la tabla 6 del presente documento.



Figura 44: Fundición de adoquines sin capas.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Es necesario indicar que se siguió el mismo proceso para la fundición de los adoquines con ripio considerando las dosificaciones en la tabla 7.

- **Fundición de cilindros**

Para la fundición de los cilindros se realizó la mezcla de acuerdo con las dosificaciones de la tabla 8 y 9 con cada material respectivamente.



Figura 45: Realizando la mezcla de los cilindros.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 46: Fundiendo los cilindros.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

6. Fraguado de los adoquines y cilindros

Se procede a dejar los adoquines y cilindros a temperatura ambiente para que fragüen durante 24 horas.



Figura 47: Adoquines fraguando.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 48: Cilindros fraguando.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

7. Desmoldado y rotulado de adoquines y cilindros

- **Desmoldado y rotulado de los adoquines**

En este apartado se desmolda los adoquines y se rotula de acuerdo con el grupo a ensayar.



Figura 49: Desmoldado de los adoquines.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 50: Rotulado de los adoquines.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Desmoldado y rotulado de los cilindros**

Se desmolda los cilindros y se rotula de acuerdo con el grupo a ensayar.



Figura 51: Desmoldado de cilindros.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 52: Cilindros desmoldados.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

8. Colocación de adoquines y cilindros en piscinas de agua

Colocamos los adoquines y cilindros en piscinas de agua para que estos fragüen correctamente, es decir, 7, 14 y 28 días.



Figura 53: Colocación de adoquines y cilindros en piscinas de agua.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

9. Secado de los adoquines y cilindros

Dependiendo de los días y requerimientos de ensayo (7, 14 y 28 días) se saca los adoquines o cilindros para su ensayo. Estos se dejan al aire libre por 24 horas para que pierdan humedad y no afecten a los ensayos a realizar.



Figura 54: Secado de adoquines y cilindros al aire libre.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

10. Ensayado de los adoquines y cilindros

Una vez secado los adoquines, se procede a ensayarlos de acuerdo con los requerimientos planteados en la presente investigación (ensayo de compresión para adoquines y cilindros, ensayo de absorción de agua de los adoquines).

- **Ensayo de compresión de adoquines**

Para este ensayo se colocan los adoquines en la máquina de compresión y se toman los datos de la rotura.



Figura 55: Ensayo de compresión de los adoquines.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).



Figura 56: Ensayo de compresión de los cilindros.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Ensayo de absorción de agua de los adoquines**

Para el ensayo de absorción de agua de los adoquines estos deben pasar 24 horas al aire libre y posteriormente se coloca en un horno a 75 °C durante 24 horas. Esto se realiza con la finalidad de eliminar la humedad dentro de los adoquines.



Figura 57: Colocación de los adoquines en horno.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3.6. Presentación y análisis de los resultados

3.6.1. Resultados de los ensayos aplicados a los prototipos

El ensayo de compresión de los adoquines arrojó los siguientes resultados:

- **Adoquines con capas y piedra chispa**

De acuerdo con las dosificaciones utilizadas de papel y cartón reciclado tenemos:

1. Muestras de los adoquines con capas a los 7 días de fraguado

Tabla 11: Ensayo de los adoquines con capas a los 7 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	12/11/2021	8840
2	26,64 gramos	6,66 gramos	12/11/2021	9134
3	19,98 gramos	13,32 gramos	12/11/2021	7510
4	13,32 gramos	19,98 gramos	12/11/2021	7265
5	6,66 gramos	26,64 gramos	12/11/2021	8754
6	0 gramos	33,33 gramos	12/11/2021	9538

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

2. Muestras de los adoquines con capas a los 14 días de fraguado

Tabla 12: Ensayo de los adoquines con capas a los 14 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	30/11/2021	21350
2	26,64 gramos	6,66 gramos	30/11/2021	18756
3	19,98 gramos	13,32 gramos	30/11/2021	20216
4	13,32 gramos	19,98 gramos	30/11/2021	17381
5	6,66 gramos	26,64 gramos	30/11/2021	20570
6	0 gramos	33,33 gramos	30/11/2021	20402

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3. Muestras de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado

Tabla 13: Ensayo de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	15/12/2021	24584
2	26,64 gramos	6,66 gramos	15/12/2021	23210
3	19,98 gramos	13,32 gramos	15/12/2021	23387
4	13,32 gramos	19,98 gramos	15/12/2021	19485
5	6,66 gramos	26,64 gramos	15/12/2021	24571
6	0 gramos	33,33 gramos	15/12/2021	23456

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Adoquines sin capas con piedra chispa**

Los ensayos de compresión de los adoquines sin capas arrojaron los siguientes resultados:

1. Muestras de los adoquines sin capas a los 7 días de fraguado

Tabla 14: Ensayo de los adoquines sin capa a los 7 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTON		
1	33,33 gramos	0 gramos	12/11/2021	11320
2	16,66 gramos	16,66 gramos	12/11/2021	10710
3	0 gramos	33,33 gramos	12/11/2021	10231

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

2. Muestras de los adoquines sin capas a los 14 días de fraguado

Tabla 15: Ensayo de los adoquines sin capas a los 14 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	30/11/2021	17877
2	16,66 gramos	16,66 gramos	30/11/2021	14301
3	0 gramos	33,33 gramos	30/11/2021	16413

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3. Muestras de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado

Tabla 16: Ensayo de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	15/12/2021	19436
2	16,66 gramos	16,66 gramos	15/12/2021	17854
3	0 gramos	33,33 gramos	15/12/2021	17321

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Adoquines con capas y ripio**

De acuerdo con las dosificaciones utilizadas de papel y cartón reciclado tenemos:

1. Muestras de los adoquines con capas a los 7 días de fraguado (ripio)

Tabla 17: Ensayo de los adoquines con capas a los 7 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	16/11/2021	3742
2	26,64 gramos	6,66 gramos	16/11/2021	3125
3	19,98 gramos	13,32 gramos	16/11/2021	2300
4	13,32 gramos	19,98 gramos	16/11/2021	2135
5	6,66 gramos	26,64 gramos	16/11/2021	3213
6	0 gramos	33,33 gramos	16/11/2021	2535

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

2. Muestras de los adoquines con capas a los 14 días de fraguado (ripio)

Tabla 18: Ensayo de los adoquines con capas a los 14 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	23/11/2021	8557
2	26,64 gramos	6,66 gramos	23/11/2021	6781
3	19,98 gramos	13,32 gramos	23/11/2021	4560
4	13,32 gramos	19,98 gramos	23/11/2021	6548
5	6,66 gramos	26,64 gramos	23/11/2021	6435
6	0 gramos	33,33 gramos	23/11/2021	6150

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3. Muestras de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado (ripio)

Tabla 19: Ensayo de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	14/12/2021	15585
2	26,64 gramos	6,66 gramos	14/12/2021	15630
3	19,98 gramos	13,32 gramos	14/12/2021	16814
4	13,32 gramos	19,98 gramos	14/12/2021	16438
5	6,66 gramos	26,64 gramos	14/12/2021	12460
6	0 gramos	33,33 gramos	14/12/2021	13811

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Adoquines sin capas con ripio**

1. Muestra de los adoquines sin capas a los 7 días de fraguado (ripio)

Tabla 20: Ensayo de los adoquines sin capas a los 7 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	16/11/2021	4833
2	16,66 gramos	16,66 gramos	16/11/2021	3257
3	0 gramos	33,33 gramos	16/11/2021	4569

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

2. Muestra de los adoquines sin capas a los 14 días de fraguado (ripio)

Tabla 21: Ensayo de los adoquines sin capas a los 14 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	23/11/2021	7530
2	16,66 gramos	16,66 gramos	23/11/2021	6455
3	0 gramos	33,33 gramos	23/11/2021	6220

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3. Muestra de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado (ripio)

Tabla 22: Ensayo de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	FUERZA APLICADA EN KG
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	14/12/2021	11040
2	16,66 gramos	16,66 gramos	14/12/2021	9765
3	0 gramos	33,33 gramos	14/12/2021	8654

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Cilindros con piedra chispa**

Tabla 23: Ensayo de cilindros con piedra chispa.

CILINDRO	EDAD (DÍAS)	FECHA DE	FUERZA
		ROTURA	APLICADA (KG)
1	7	20/10/2021	8437
2	14	4/11/2021	13253
3	28	18/11/2021	15408

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Cilindros con ripio**

Tabla 24: Ensayos de cilindros con ripio.

CILINDRO	EDAD (DÍAS)	FECHA DE	FUERZA
		ROTURA	APLICADA (KG)
1	7	24/11/2021	5039
2	14	1/12/2021	7865
3	28	15/12/2021	8141

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

El ensayo de absorción de los adoquines arrojó los siguientes resultados:

- **Adoquines con capas (piedra chispa)**

Tabla 25: Peso saturado y seco de adoquines con capas (piedra chispa).

ADOQUÍN	PESO SATURADO (KG)	PESO SECO (KG)
1	2,975	2,659
2	3,100	2,742
3	2,903	2,590
4	2,967	2,638
5	2,885	2,578
6	2,864	2,594

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Adoquines sin capa con piedra chispa**

Tabla 26: Peso saturado y seco de adoquines sin capa con piedra chispa.

ADOQUÍN	PESO SATURADO (KG)	PESO SECO (KG)
1	2,948	2,674
2	2,901	2,618
3	2,986	2,675

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Adoquines con capa (ripio)**

Tabla 27: Peso saturado y seco de adoquines con capa (ripio).

ADOQUÍN	PESO SATURADO (KG)	PESO SECO (KG)
1	3,002	2,795
2	2,931	2,644
3	2,952	2,587
4	2,879	2,677
5	2,994	2,698
6	2,897	2,596

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Adoquines sin capa con ripio**

Tabla 28: Peso saturado y seco de adoquines sin capa con ripio.

ADOQUÍN	PESO SATURADO (KG)	PESO SECO (KG)
1	2,989	2,662
2	3,057	2,698
3	2,978	2,613

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3.6.2. Análisis de resultados obtenidos

Para obtener la resistencia a compresión de los adoquines es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$r = \frac{xk}{A}$$

Donde;

r = Resistencia de los adoquines a la compresión

xk = Cargas máximas aplicadas en kilogramos

A= Área de la superficie del adoquín

Sabiendo las dimensiones del prototipo de adoquín, calculamos el área respectiva:

$$A = b \times h$$

$$A = 20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$$

$$A = 200 \text{ cm}^2$$

El área de aplicación de la fuerza para cada adoquín es de 200 cm^2 , por lo tanto, para conocer la resistencia a la compresión de un adoquín aplicamos la siguiente ecuación:

$$r = \frac{xk}{A}$$
$$r = \frac{8840 \text{ kg}}{200 \text{ cm}^2}$$
$$r = 44,2 \text{ kg/cm}^2$$

La resistencia de un prototipo de adoquín a los 7 días de fraguado es de $44,2 \text{ kg/cm}^2$, convirtiéndolo a MPa, tenemos que la resistencia es de 4,33 MPa. Aplicando el mismo razonamiento a los resultados de los ensayos obtenemos la resistencia de los adoquines.

En el caso de los cilindros, tendremos que calcular el área donde se está aplicando la fuerza, esto se realiza con la siguiente formula:

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$
$$A = \frac{\pi \times (10 \text{ cm})^2}{4}$$
$$A = 78,539 \text{ cm}^2$$

De la misma manera, con el área obtenida podemos calcular la resistencia a compresión de un cilindro, por ejemplo, si aplicamos 8437 Kg de fuerza, la resistencia es de 10,53 MPa.

Adoquines con capas y piedra chispa

- Resistencia a compresión de los adoquines con capas y piedra chispa a los 7 días de fraguado

Tabla 29: Resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 7 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	30/11/2021	10,47
2	26,64 gramos	6,66 gramos	30/11/2021	9,20
3	19,98 gramos	13,32 gramos	30/11/2021	9,91
4	13,32 gramos	19,98 gramos	30/11/2021	8,52
5	6,66 gramos	26,64 gramos	30/11/2021	10,09
6	0 gramos	33,33 gramos	30/11/2021	10,00

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- Resistencia a compresión de los adoquines con capas y piedra chispa a los 14 días de fraguado

Tabla 30: Resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 14 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	12/11/2021	4,33
2	26,64 gramos	6,66 gramos	12/11/2021	4,48
3	19,98 gramos	13,32 gramos	12/11/2021	3,68
4	13,32 gramos	19,98 gramos	12/11/2021	3,56
5	6,66 gramos	26,64 gramos	12/11/2021	4,29
6	0 gramos	33,33 gramos	12/11/2021	4,68

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- Resistencia a compresión de los adoquines con capas y piedra chispa a los 28 días de fraguado

Tabla 31: Resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	15/12/2021	12,05
2	26,64 gramos	6,66 gramos	15/12/2021	11,38
3	19,98 gramos	13,32 gramos	15/12/2021	11,47
4	13,32 gramos	19,98 gramos	15/12/2021	9,55
5	6,66 gramos	26,64 gramos	15/12/2021	12,05
6	0 gramos	33,33 gramos	15/12/2021	11,50

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Adoquines sin capas y piedra chispa

- Resistencia a compresión de los adoquines sin capas y piedra chispa a los 7 días de fraguado

Tabla 32: Resistencia a compresión de los adoquines sin capas a los 7 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	16/11/2021	5,55
2	16,66 gramos	16,66 gramos	16/11/2021	5,25
3	0 gramos	33,33 gramos	16/11/2021	5,02

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Resistencia a compresión de los adoquines sin capas y piedra chispa a los 14 días de fraguado**

Tabla 33: Resistencia a la compresión de los adoquines sin capas a los 14 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	23/11/2021	8,77
2	16,66 gramos	16,66 gramos	23/11/2021	7,01
3	0 gramos	33,33 gramos	23/11/2021	8,05

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Resistencia a compresión de los adoquines sin capas y piedra chispa a los 28 días de fraguado**

Tabla 34: Resistencia a compresión de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado.

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	16/11/2021	9,53
2	16,66 gramos	16,66 gramos	16/11/2021	8,75
3	0 gramos	33,33 gramos	16/11/2021	8,49

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Adoquines con capas y ripio

- **Resistencia a la compresión de adoquines con capas a los 7 días de fraguado (ripio)**

Tabla 35: Resistencia a compresión de adoquines con capas a los 7 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	16/11/2021	1,83
2	26,64 gramos	6,66 gramos	16/11/2021	1,53
3	19,98 gramos	13,32 gramos	16/11/2021	1,13
4	13,32 gramos	19,98 gramos	16/11/2021	1,05
5	6,66 gramos	26,64 gramos	16/11/2021	1,58
6	0 gramos	33,33 gramos	16/11/2021	1,24

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Resistencia a la compresión de adoquines con capas a los 14 días de fraguado (ripio)**

Tabla 36: Resistencia a compresión de adoquines a los 14 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	23/11/2021	4,20
2	26,64 gramos	6,66 gramos	23/11/2021	3,32
3	19,98 gramos	13,32 gramos	23/11/2021	2,24
4	13,32 gramos	19,98 gramos	23/11/2021	3,21
5	6,66 gramos	26,64 gramos	23/11/2021	3,16
6	0 gramos	33,33 gramos	23/11/2021	3,02

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- Resistencia a la compresión de adoquines con capas a los 28 días de fraguado (ripio)

Tabla 37: Resistencia a compresión de adoquines con capas a los 28 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
	PAPEL	CARTÓN		(MPa)
1	33,33 gramos	0 gramos	14/12/2021	7,64
2	26,64 gramos	6,66 gramos	14/12/2021	7,66
3	19,98 gramos	13,32 gramos	14/12/2021	8,24
4	13,32 gramos	19,98 gramos	14/12/2021	8,06
5	6,66 gramos	26,64 gramos	14/12/2021	6,11
6	0 gramos	33,33 gramos	14/12/2021	6,77

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Adoquines sin capas y ripio

- Resistencia a compresión de adoquines sin capas a los 7 días de fraguado (ripio)

Tabla 38: Resistencia a compresión de adoquines sin capas a los 7 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
	PAPEL	CARTÓN		(MPa)
1	33,33 gramos	0 gramos	16/11/2021	2,37
2	16,66 gramos	16,66 gramos	16/11/2021	1,60
3	0 gramos	33,33 gramos	16/11/2021	2,24

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- Resistencia a compresión de adoquines sin capas a los 14 días de fraguado (ripio)

Tabla 39: Resistencia de adoquines sin capas a los 14 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	23/11/2021	3,69
2	16,66 gramos	16,66 gramos	23/11/2021	3,17
3	0 gramos	33,33 gramos	23/11/2021	3,05

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- Resistencia a compresión de adoquines sin capas a los 28 días de fraguado (ripio)

Tabla 40: Resistencia de adoquines sin capas a los 28 días de fraguado (ripio).

ADOQUIN	DOSIFICACIÓN		FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)
	PAPEL	CARTÓN		
1	33,33 gramos	0 gramos	14/12/2021	5,41
2	16,66 gramos	16,66 gramos	14/12/2021	4,79
3	0 gramos	33,33 gramos	14/12/2021	4,24

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Resistencia a compresión de cilindros

- **Resistencia a compresión de cilindros con piedra chispa**

Tabla 41: Resistencia a la compresión de cilindros con piedra chispa.

CILINDRO	EDAD (DÍAS)	FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
1	7	20/10/2021	10,53
2	14	4/11/2021	16,55
3	28	18/11/2021	19,24

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Resistencia a compresión de cilindros con ripio**

Tabla 42: Resistencia a la compresión de cilindros con ripio.

CILINDRO	EDAD (DÍAS)	FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)
1	7	24/11/2021	6,29
2	14	1/12/2021	9,82
3	28	15/12/2021	10,16

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Ensayo de absorción de agua en los adoquines**

Teniendo los datos de peso saturado y seco, se debe calcular el porcentaje de absorción de agua mediante la siguiente fórmula:

$$Absorción(\%) = \frac{Ws - Wd}{Wd} \times 100$$

Donde:

Ws: masa del adoquín saturado (kg)

Wd: masa del adoquín seco (kg)

Para el primer adoquín con capas de hormigón $F_c=240 \text{ kg/cm}^2$, el cálculo del porcentaje de absorción de agua quedaría de la siguiente manera:

$$Absorción(\%) = \frac{Ws - Wd}{Wd} \times 100$$

$$Absorción(\%) = \frac{2,975 \text{ kg} - 2,659 \text{ kg}}{2,659} \times 100$$

$$Absorción(\%) = 11,88 \%$$

Este cálculo se utiliza en los para los demás adoquines, el porcentaje de absorción de los adoquines serían los siguientes:

- **Porcentaje de absorción de agua en adoquines con capas (piedra chispa)**

Tabla 43: Absorción de agua en adoquines con capa (piedra chispa).

ADOQUÍN	PESO SATURADO (KG)	PESO SECO (KG)	% ABSORCIÓN
1	2,975	2,659	11,884
2	3,100	2,742	13,056
3	2,903	2,590	12,085
4	2,967	2,638	12,472
5	2,885	2,578	11,908
6	2,864	2,594	10,409

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Porcentaje de absorción de agua en adoquines sin capa (piedra chispa)**

Tabla 44: Absorción de agua en adoquines sin capa (piedra chispa).

ADOQUÍN	PESO SATURADO (KG)	PESO SECO (KG)	%ABSORCIÓN
1	2,948	2,674	10,247
2	2,901	2,618	10,810
3	2,986	2,675	11,626

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Porcentaje de absorción de agua en adoquines con capas (ripio)**

Tabla 45: Absorción de agua en adoquines con capa (ripio).

ADOQUÍN	PESO SATURADO (KG)	PESO SECO (KG)	% ABSORCIÓN
1	3,002	2,795	7,406
2	2,931	2,644	10,855
3	2,952	2,587	14,109
4	2,879	2,677	7,546
5	2,994	2,698	10,971
6	2,897	2,596	11,595

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

- **Porcentaje de absorción de agua en adoquines sin capas (ripio)**

Tabla 46: Absorción de agua en adoquines sin capa (ripio).

ADOQUÍN	PESO SATURADO (KG)	PESO SECO (KG)	% ABSORCIÓN
1	2,989	2,662	12,284
2	3,057	2,698	13,306
3	2,978	2,613	13,969

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

3.6.2. Análisis de los resultados

Los resultados de las tablas de los ensayos de resistencia a compresión de los adoquines demuestran que adquieren resistencia con el pasar de los días al igual que un hormigón con materiales tradicionales. A pesar de ello, la resistencia no llega a cumplir con la norma INEN 1488: 1986-10 que especifica el valor mínimo de resistencia a compresión que un adoquín debe tener a los 28 días.

Podemos observar el comportamiento de los adoquines con capas y piedra chispa en el siguiente gráfico:

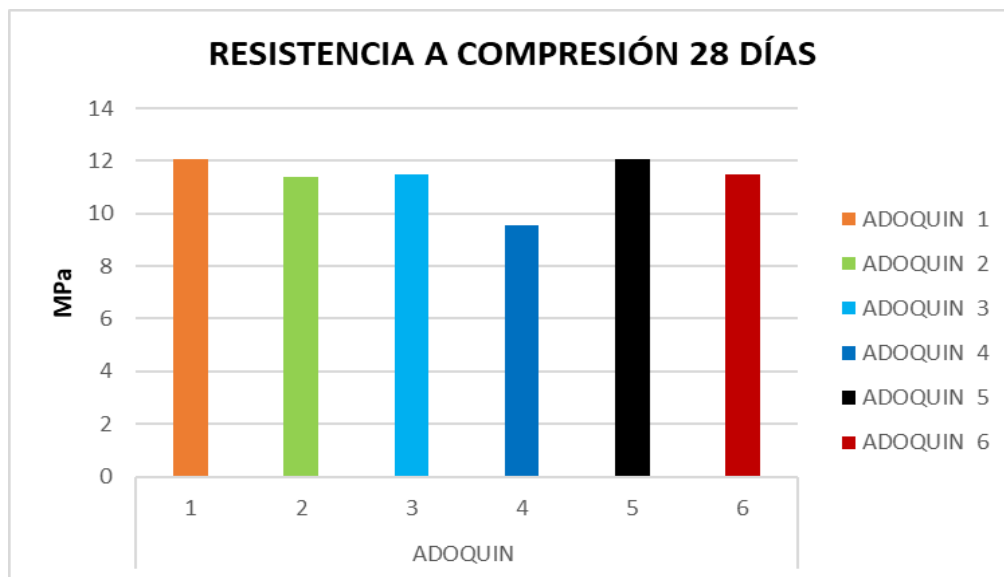


Figura 58: Gráfico de barras de resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Analizando el gráfico de barras se tiene que el adoquín 1 y 5 son los que obtuvieron mayor resistencia a compresión con un valor de 12,05 MPa. El adoquín 1 tiene 33,33 gramos de papel reciclado mientras que el adoquín 5 tiene una mezcla de 6,66 gramos de papel y 26,64 gramos de cartón. Se observa que a medida que aumenta la cantidad de cartón el adoquín pierde resistencia significativamente.

En el caso del adoquín sin capas tenemos el siguiente el gráfico:

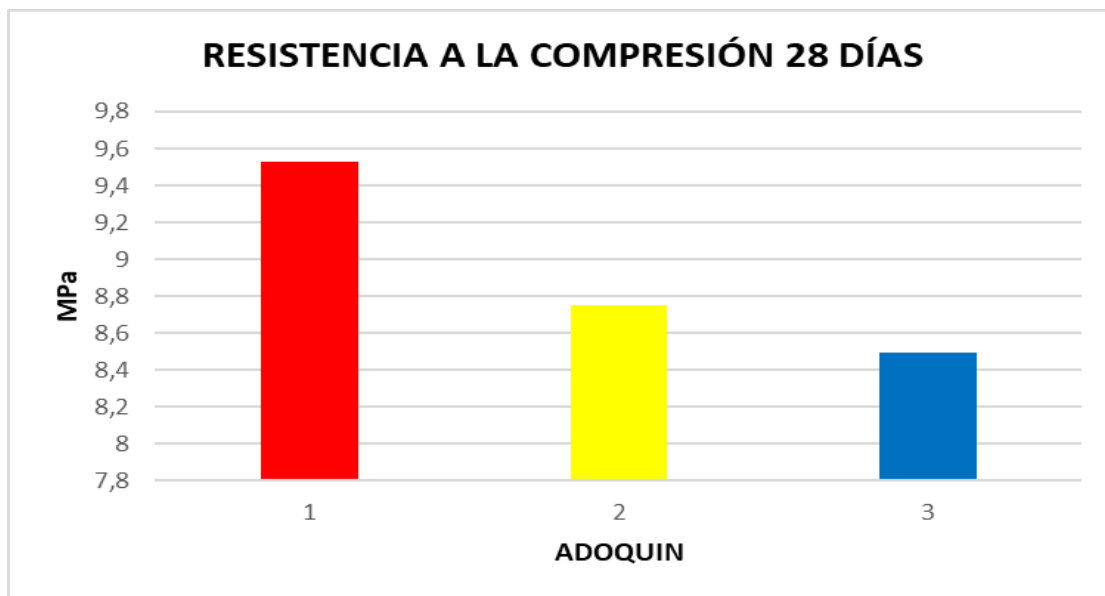


Figura 59: Grafico de barras de resistencia a compresión de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Analizando el grafico de barras se tiene que el adoquín de 33,33 gramos de papel reciclado en la mezcla llega a una resistencia a compresión de 9,53 MPa. De la misma manera se observa una tendencia a disminuir la resistencia al aumentar la cantidad de cartón reciclado en los adoquines.

Para los adoquines con capas y ripio tenemos el siguiente grafico:

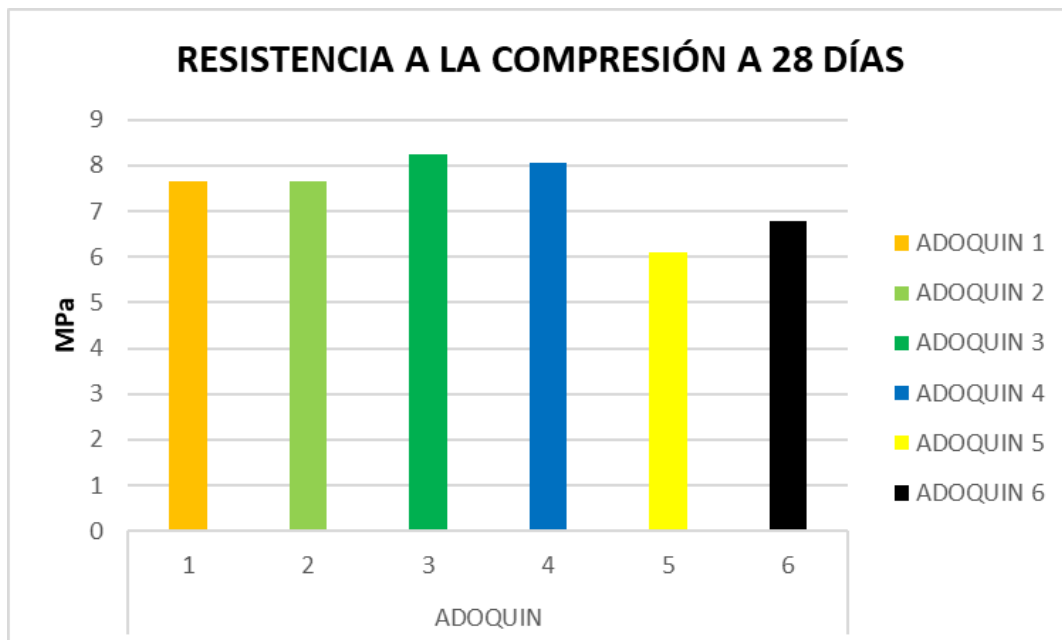


Figura 60: Grafico de barras de resistencia a compresión de los adoquines con capas a los 28 días de fraguado (ripio).

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Analizando el gráfico de barras se tiene que el adoquín 3 tiene mayor resistencia que los demás adoquines, con un valor de 8,24 MPa. Este adoquín tiene una dosificación de 19,98 gramos de papel y 13,32 gramos de cartón. No se observa una tendencia clara de pérdida de resistencia al aumentar o disminuir material reciclado. Pero en comparación con los adoquines con piedra chispa la pérdida de resistencia es muy notable.

Para los adoquines sin capas y ripio tenemos el siguiente gráfico de barras:

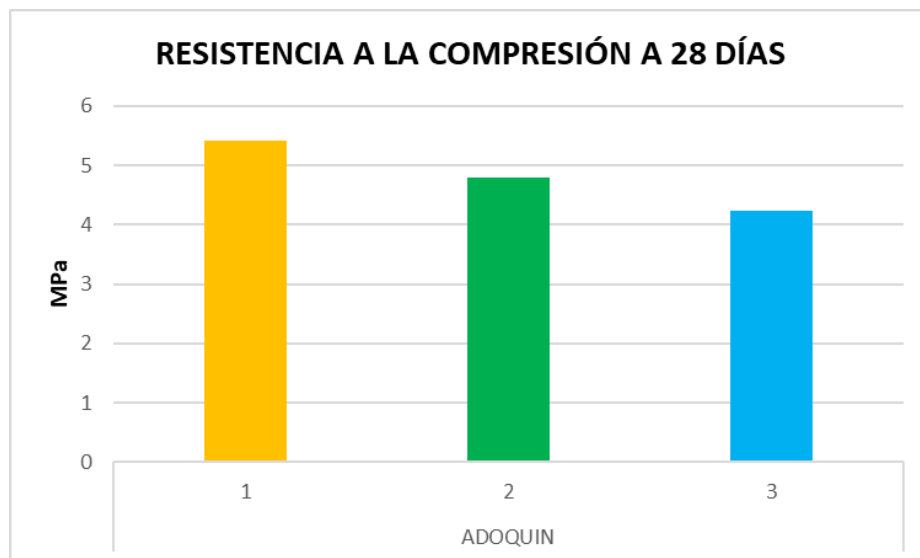


Figura 61: Grafico de barras de resistencia a compresión de los adoquines sin capas a los 28 días de fraguado (ripio).

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Analizando el gráfico de barras se tiene que el adoquín 1 tiene la mayor resistencia, con un valor de 5,41 MPa. Se observa como la adición de material reciclable de cartón disminuye la resistencia de los adoquines sin capas. De la misma manera si comparamos con los adoquines con piedra chispa, la resistencia es muy baja.

Los valores máximos obtenidos de resistencia a compresión a los 28 días de fraguado son de los prototipos de adoquines con capas tanto para piedra chispa como para ripio. Para entender mejor estos resultados tenemos la siguiente tabla comparativa:

Tabla 47: Cuadro comparativo de resistencias a compresión a los 28 días de fraguado.

Tipo de uso	Resistencia a compresión 28 días en MPa (NTE INEN 1 488)	Resistencia a compresión 28 días en MPa (Prototipos elaborados)	
		Piedra chispa	Ripio
Peatonal	20	12,05	8,24

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Para los ensayos de los cilindros de hormigón se determina si cumple con la resistencia establecida, en este caso se utilizó hormigón de 240 kg/cm² para ambas mezclas. En el caso de la piedra chispa se obtuvo una resistencia a los 28 días de 196,19 kg/cm², es decir que cumple con el 81,75 % de su resistencia máxima. En el caso del ripio se obtuvo una resistencia a los 28 días de 103,60 kg/cm², es decir que cumple con 43,17% de su resistencia máxima. Esto nos demuestra que el ripio como agregado grueso para el hormigón no es apto porque disminuye la resistencia esperada.

Los resultados obtenidos del ensayo de porcentaje de absorción de agua en adoquines son los siguientes:

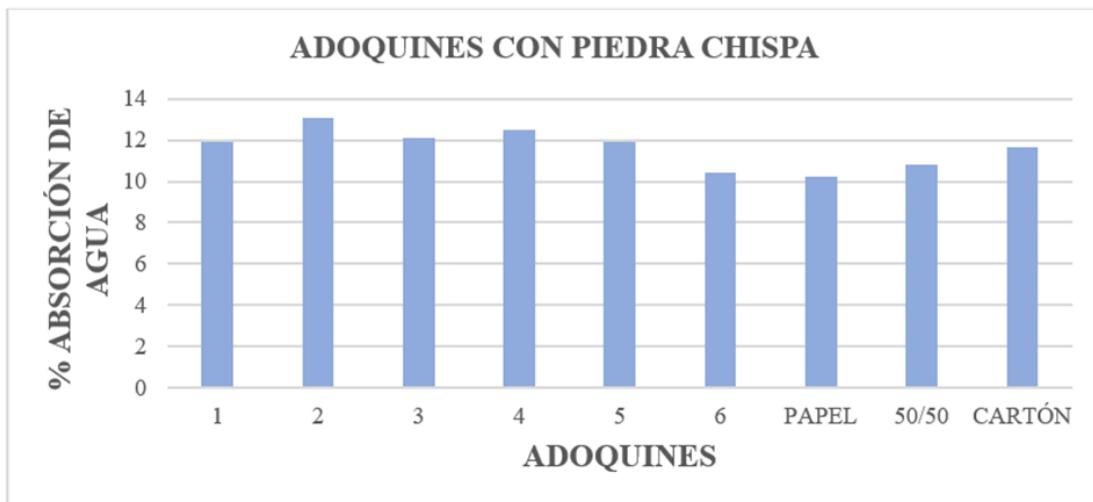


Figura 62: Gráfico de porcentaje de absorción de agua para adoquines con piedra chispa.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Analizando el grafico se tiene que el menor porcentaje de absorción de agua para los adoquines con piedra chispa es de 10,247 %, este porcentaje pertenece al adoquín sin capas con papel.

Para los adoquines con ripio se tiene los siguientes resultados:

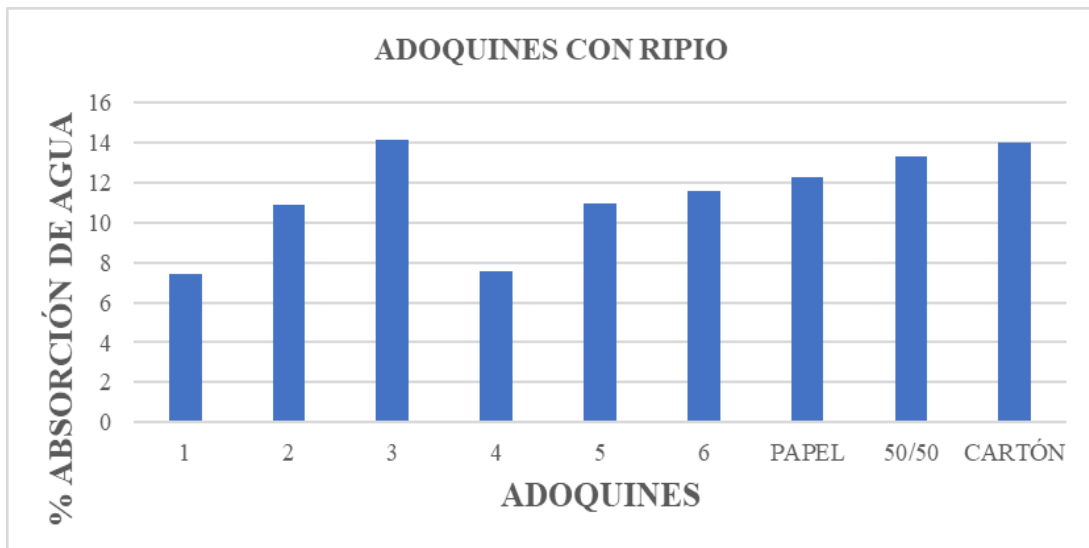


Figura 63: Gráfico de porcentaje de absorción de agua para adoquines con ripio.

Elaborado por: Peña y Peña (2022).

Analizando el grafico se tiene que el menor porcentaje de absorción de agua para los adoquines con ripio es de 7,406 %, este porcentaje pertenece al adoquín con capas dosificado con 33 gramos de papel en la capa intermedia.

Los resultados obtenidos son valores muy cercanos, esto permite entender que el porcentaje de absorción de agua no se ve afectado por la variación del papel y cartón reciclado.

3.7. Propuesta

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, queda claro que los adoquines elaborados no son aptos para uso peatonal debido a que no llegan a los 20 MPa establecidos por las normas vigentes del INEN.

En otras palabras, el papel y cartón reciclado no mejorará la resistencia del adoquín rectangular y no podrá ser utilizado para el revestimiento de camineras.

Por lo tanto, se propone utilizar estos adoquines como elementos decorativos porque no van a estar sometidos a ningún tipo de carga que comprometa la integridad del adoquín y beneficiará al medio ambiente debido al uso de material reciclado en la composición de los adoquines.

CONCLUSIONES

- De acuerdo con el análisis elaborado el papel y cartón reciclado no son materiales aptos para ser implementados en la fabricación de adoquines rectangulares porque disminuyen considerablemente su resistencia a compresión.
- Los resultados de laboratorio arrojaron que el máximo valor de resistencia a compresión de un adoquín con capas de papel y cartón reciclado usando piedra chispa es de 12,05 MPa. El máximo valor para un adoquín sin capas, totalmente homogéneo, con una mezcla de hormigón, papel y cartón reciclado con piedra chispa es de 9,53 MPa. Para los adoquines con ripio y capas con papel y cartón reciclado arrojó un valor máximo de 8,24 MPa. Y los adoquines sin capas con ripio y material reciclado arrojó un valor máximo de 5,41 MPa. Los ensayos de cilindros, tanto para piedra chispa y hormigón, demostraron que la piedra chispa posee mayor resistencia que el ripio con un valor de 196,19 kg/cm².
- Los resultados obtenidos en el ensayo de absorción demostraron que los adoquines elaborados con papel y cartón reciclado no cumplen con la norma INEN 3040, la cual establece que los adoquines deben tener un porcentaje de absorción de agua inferior o igual a 6%. Esto se comprueba observando las tablas de absorción obtenidas donde los valores superan el 10% de absorción de agua.

- La resistencia de un adoquín con materiales tradicionales, según la NORMA INEN 1488: 1986-10, debe ser de un valor mínimo de 20 MPa para camineras (peatonal) a los 28 días de fraguado. En el caso de los prototipos analizados la resistencia máxima obtenida es de 12,05 MPa a los 28 días de fraguado. Este valor es muy bajo para ser considerado adecuado según la norma indicada. Los ensayos también demostraron que los adoquines sufren de un mal ligamiento del papel y cartón reciclado con el hormigón puesto que las capas tienen una tendencia a separarse una vez fraguado el adoquín.

RECOMENDACIONES

- Los materiales reciclados deben ser triturados lo máximo posible para que puedan ligarse adecuadamente. Para lograr esto es necesario dejar reposar en agua el papel y cartón reciclado durante 24 horas con la finalidad de facilitar el posterior triturado.
- Los moldes a utilizar deben tener la resistencia suficiente para soportar la fundición y fraguado de los adoquines. Es importante utilizar aceite quemado en la fundición para que el adoquín pueda ser desmoldado con más facilidad después de su fraguado.
- La fundición de los adoquines no debe durar más de 15 minutos, esto se realiza con la finalidad de que la mezcla de hormigón no pierda humedad. Si los adoquines no fraguan de forma adecuada, especialmente en los adoquines con capas, es necesario repetir su fundición puesto que tienden a separarse las capas después del fraguado.
- Para futuras investigaciones se recomienda utilizar diferentes dosificaciones con el fin de hallar la adecuada, la cual cumpla con los requisitos mínimos de resistencia de compresión y de absorción de agua propuestos en las Normas INEN.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anónimo. (14 de Mayo de 2019). *Fenollar*. Obtenido de <https://alfredofenollar.com/el-pavimento-de-adoquines-a-lo-largo-de-los-siglos/>
- Caicedo Salguero, V. W. (sf). *Adoquines modificados con fibra de polipropileno*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2212/1/T-UCE-0011-75.pdf>
- Cevallos, L., & Pincay, K. (2019). *Elaboración de adoquines utilizando limalla y desperdicios de acero más elementos tradicionales para espacios públicos*. Obtenido de Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2878/1/T-ULVR-2610.pdf>
- Construmatica. (26 de Septiembre de 2018). *Construmatica*. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_%C3%81ridos
- Definicion. (2021). *Definicion de*. Obtenido de <https://definicion.de/carton/>
- Definición. (Julio de 2021). *Definicion de*. . Obtenido de <https://conceptodefinicion.de/papel/>
- Fierro, J. (2019). *Obtención de un adoquín como resultado de la mezcla de cascara de maní, pet-1 y elementos tradicionales, para el sector popular*. Obtenido de Repositorio de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/3144>
- Gonzales, D., & Guerrero, E. (2021). *Prototipo de adoquin a base de lodo residual de aluminio y fibra de cascara de maní*. Obtenido de Respositorio Univerisdad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/4288/1/T-ULVR-3558.pdf>
- Grupo Grasa. (10 de Abril de 2019). *Grupo Grasa*. Obtenido de <https://grupograsa.es/que-son-los-aridos-y-como-se-clasifican/>
- Gutierrez, A. (20 de Marzo de 2020). *Scielo*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n3/2223-4861-caz-47-03-95.pdf>

- Izurieta, J., & Rodríguez, A. (2018). *Elaboración de un adoquín para revestimiento de camineras, a partir del plástico pert-1 y el caucho reciclado*. Obtenido de Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2507/1/T-ULVR-2303.pdf>
- Martínez, J. (2016). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre un adoquín convencional y adoquines preparados con diferentes fibras: sintética (polipropileno), orgánica (estopa de coco), inorgánica (vidrio)*. Obtenido de Repositorio Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24054/1/Tesis%201054%20-%20Mart%C3%ADnez%20Mayancela%20Joffre%20Ren%C3%A9.pdf>
- Nuteco. (21 de Enero de 2019). *Prefabricados de la Jara*. Obtenido de <https://www.prefabricadosjara.com/historia-de-los-adoquines-la-evolucion-del-pavimento/>
- Parafa, R. (17 de Julio de 2019). *Liferer*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/hemicelulosa/>

ANEXOS

Anexo 1: Moldes de madera para fundir los prototipos de adoquines



Anexo 2: Fundiendo los prototipos de adoquines



Anexo 3: Prototipos de adoquines fundidos y protegidos de la perdida de humedad



Anexo 4: Rotulado de los prototipos de adoquines



Anexo 5: Desmoldado de los prototipos de adoquines



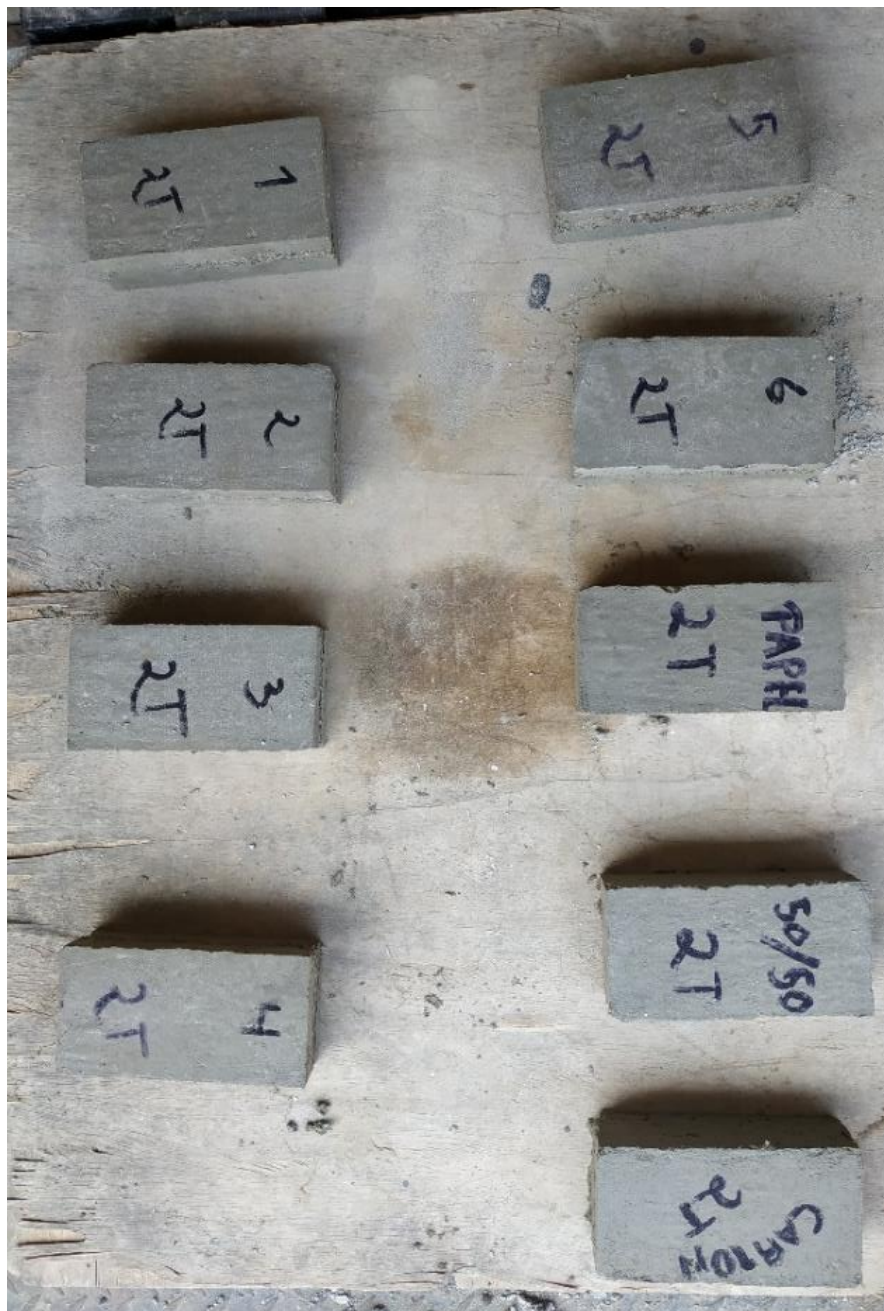
Anexo 6: Colocando los cilindros en la piscina con agua para su respectivo curado



Anexo 7: Primer grupo de prototipos de adoquines con piedra chispa (con capas y sin capas)



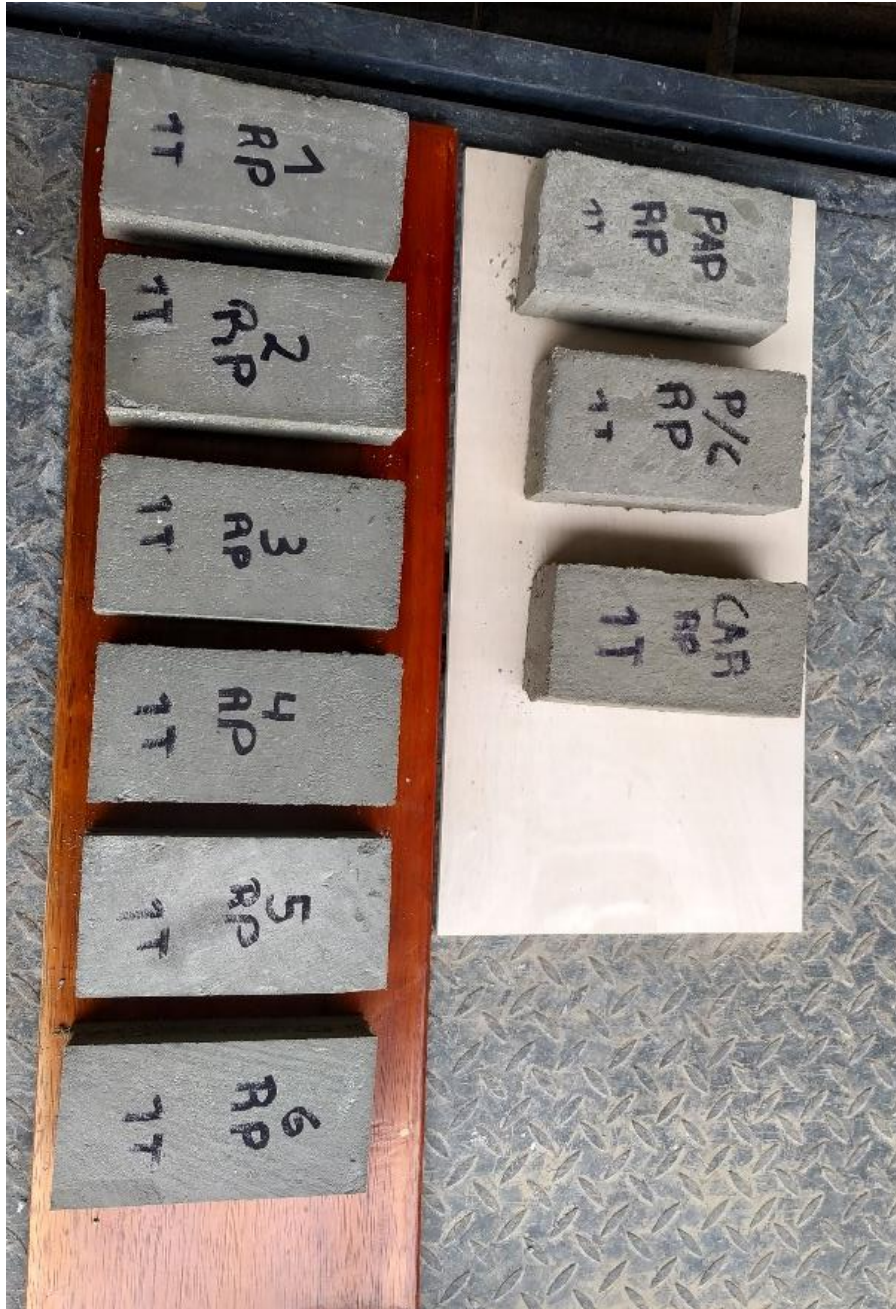
Anexo 8: Segundo grupo de prototipos de adoquines con piedra chispa (con capas y sin capas)



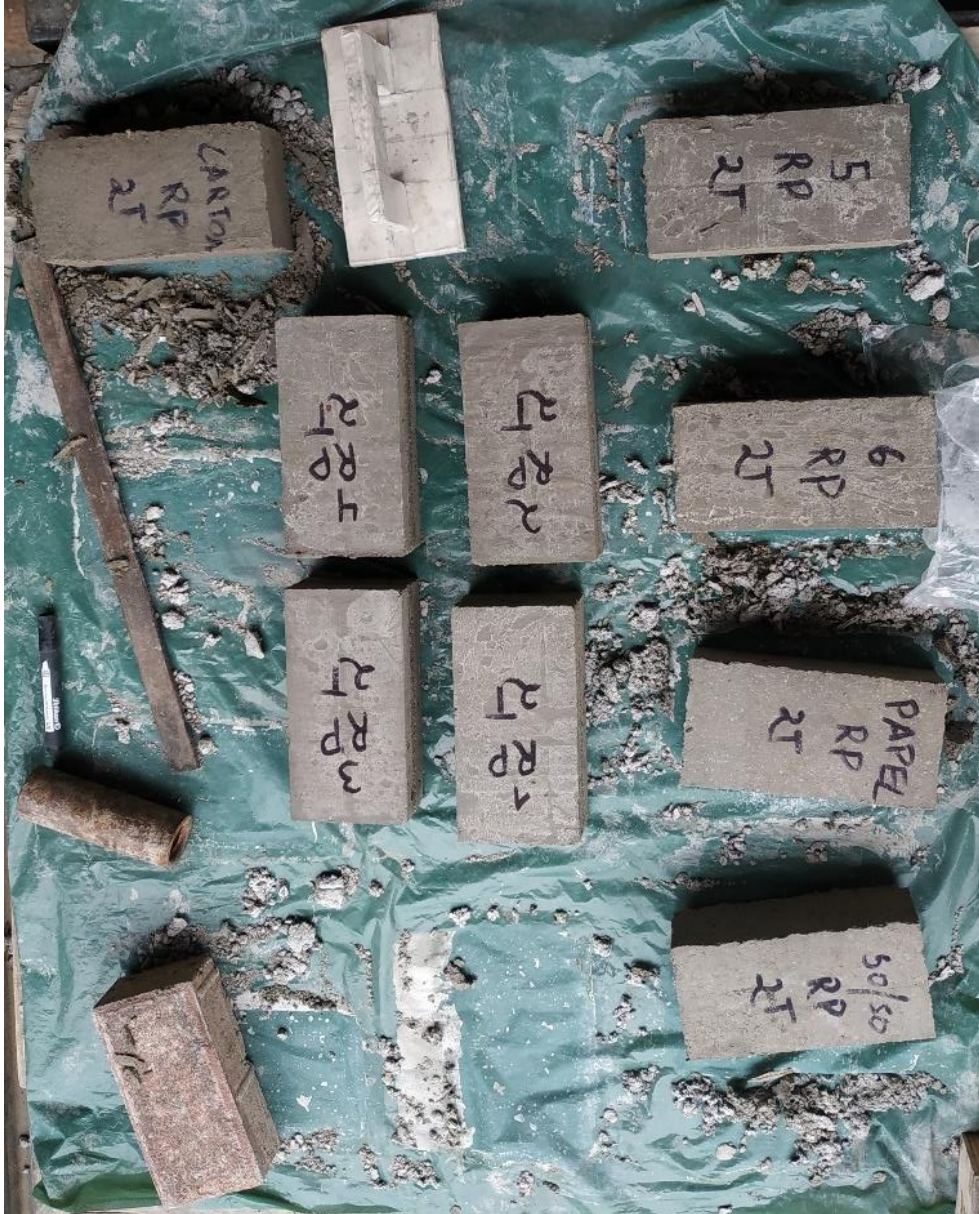
Anexo 9: Tercer grupo de prototipos de adoquines con piedra chispa (con capas y sin capas)



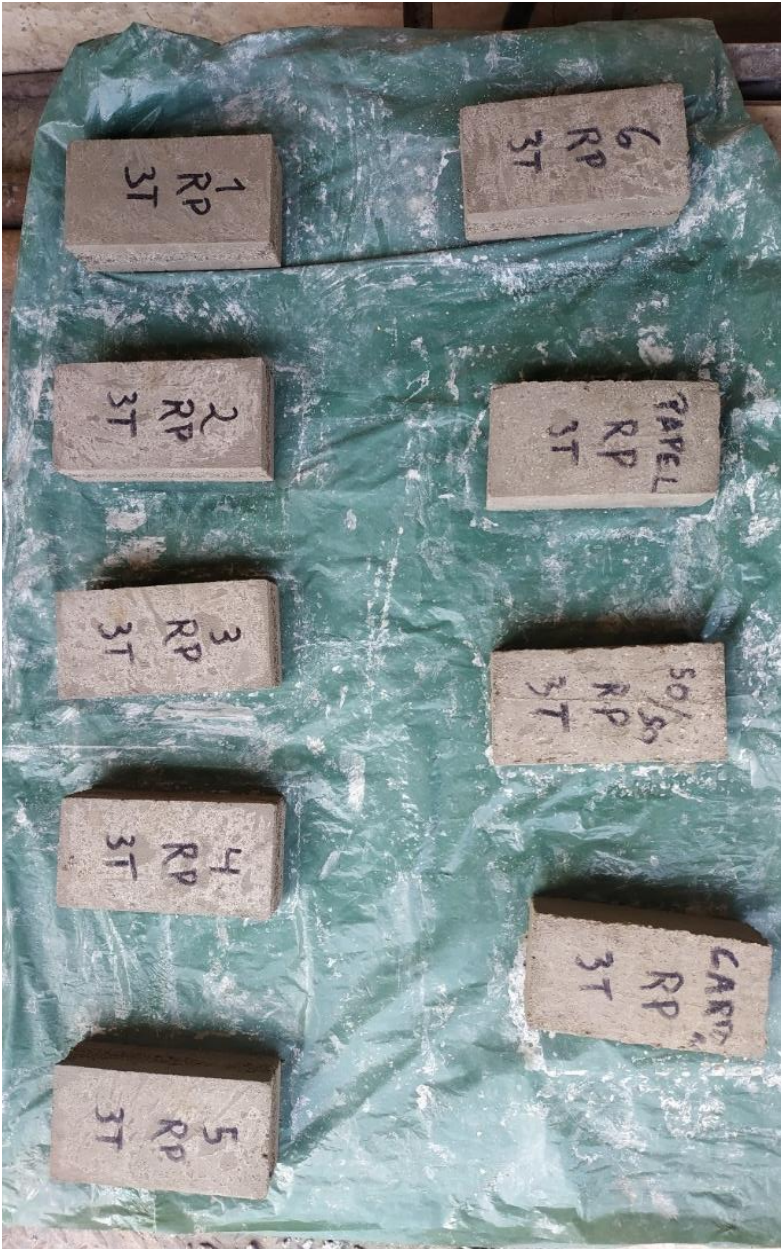
Anexo 10: Primer grupo de prototipos de adoquines con ripio (con capas y sin capas)



Anexo 11: Segundo grupo de prototipos de adoquines con ripio (con capas y sin capas)



Anexo 12: Tercer grupo de prototipos de adoquines con ripio (con capas y sin capas)



Anexo 13: Adoquines con piedra chispa elaborados para el ensayo de absorción de agua



Anexo 14: Pesado de adoquines para el ensayo de absorción de agua



Anexo 15: Ensayo de compresión de los prototipos de adoquines



Anexo 16: Ensayo de compresión de cilindros



Anexo 17: Prototipos de adoquines ensayados



Anexo 18: Cilindro ensayado



Anexo 19: Diseño de concreto hidráulico

Vicente de Paúl León Toledo Ing. Civil - Magister en Geotecnia Consultor CIN 1-6527 Reg. Prof. 09 - 1969 Garzota II Mz. 135 V. 16 Telf. 04 2 655828 04 5038360 - 0998 282897																																									
<u style="color: blue;">DISEÑO DE CONCRETO HIDRAULICO</u>																																									
Proyecto:																																									
Fecha:	Solicita:			Fiscaliza:																																					
Descripción del material:				Construye:																																					
<table style="width: 100%; border: none;"> <thead> <tr> <th style="width: 45%; text-align: left; padding: 5px;"><u>Datos de Laboratorio</u></th> <th style="width: 55%; text-align: left; padding: 5px;"><u>Necesidades técnicas</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"> Agregado Grueso D.S.S.S. = 2519,0 Kg./m³ P.V.V. = 1542,0 Kg./m³ P.V.S. = 1461,0 Kg./m³ </td> <td style="padding: 5px;"> f'c = 240 Kg./cm² revenimiento = 7,5 cm. tamaño máximo del = 3/4" 19 mm </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> Agregado Fino D.S.S.S. = 2618,0 Kg./m³ P.V.S. = 1584,0 Kg./m³ M.F. = 2,8 V.A.G. = 0,61 </td> <td style="padding: 5px;"> Sin aire incluido </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> √ cemento = 3050 Kg./m³ √ agua = 1000 Kg./m³ % absorción = % </td> <td style="padding: 5px;"> A.G. = 1,21 % A.F. = 1,28 % </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px; text-align: center;"><u>Cálculo de la cantidad de agua por m³</u></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Revenimiento: 5 cm.</td> <td style="padding: 5px;">volumen de agua: 224,1 lts. para cada m³</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Tamaño máximo de agregado: 9,5 mm</td> <td style="padding: 5px;">224,1 Kg.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px; text-align: right;"> volumen de agua corregido: 229,7 lts. para cada m³ 229,7 Kg. </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px; text-align: center;"><u>Cálculo de la cantidad de cemento</u></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Resistencia: f'c = 240 Kg/cm²</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">A/C = 0,55</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">C = 417,60 Kg. para cada m³</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px; text-align: center;"><u>Cálculo de la cantidad de volúmenes para 1 m³ de hormigón (V=P/√)</u></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Cemento = $\frac{417,60 \text{ Kg}}{3050 \text{ Kg/m}^3}$ =</td> <td style="padding: 5px;">0,1369 m³ 136,9 dm³</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Agua = $\frac{229,7 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$ =</td> <td style="padding: 5px;">0,2297 m³ 229,7 dm³</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Piedra = $\frac{P.V.V. * V.A.G.}{D.S.S.S.}$ =</td> <td style="padding: 5px;">0,3734 m³ 373,4 dm³</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Aire = Para 19 mm</td> <td style="padding: 5px;">2,0 % 20,0 dm³</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Arena = 240,0 dm³</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						<u>Datos de Laboratorio</u>	<u>Necesidades técnicas</u>	Agregado Grueso D.S.S.S. = 2519,0 Kg./m ³ P.V.V. = 1542,0 Kg./m ³ P.V.S. = 1461,0 Kg./m ³	f'c = 240 Kg./cm ² revenimiento = 7,5 cm. tamaño máximo del = 3/4" 19 mm	Agregado Fino D.S.S.S. = 2618,0 Kg./m ³ P.V.S. = 1584,0 Kg./m ³ M.F. = 2,8 V.A.G. = 0,61	Sin aire incluido	√ cemento = 3050 Kg./m ³ √ agua = 1000 Kg./m ³ % absorción = %	A.G. = 1,21 % A.F. = 1,28 %	<u>Cálculo de la cantidad de agua por m³</u>		Revenimiento: 5 cm.	volumen de agua: 224,1 lts. para cada m ³	Tamaño máximo de agregado: 9,5 mm	224,1 Kg.	volumen de agua corregido: 229,7 lts. para cada m ³ 229,7 Kg.		<u>Cálculo de la cantidad de cemento</u>		Resistencia: f'c = 240 Kg/cm ²		A/C = 0,55		C = 417,60 Kg. para cada m ³		<u>Cálculo de la cantidad de volúmenes para 1 m³ de hormigón (V=P/√)</u>		Cemento = $\frac{417,60 \text{ Kg}}{3050 \text{ Kg/m}^3}$ =	0,1369 m ³ 136,9 dm ³	Agua = $\frac{229,7 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$ =	0,2297 m ³ 229,7 dm ³	Piedra = $\frac{P.V.V. * V.A.G.}{D.S.S.S.}$ =	0,3734 m ³ 373,4 dm ³	Aire = Para 19 mm	2,0 % 20,0 dm ³	Arena = 240,0 dm ³	
<u>Datos de Laboratorio</u>	<u>Necesidades técnicas</u>																																								
Agregado Grueso D.S.S.S. = 2519,0 Kg./m ³ P.V.V. = 1542,0 Kg./m ³ P.V.S. = 1461,0 Kg./m ³	f'c = 240 Kg./cm ² revenimiento = 7,5 cm. tamaño máximo del = 3/4" 19 mm																																								
Agregado Fino D.S.S.S. = 2618,0 Kg./m ³ P.V.S. = 1584,0 Kg./m ³ M.F. = 2,8 V.A.G. = 0,61	Sin aire incluido																																								
√ cemento = 3050 Kg./m ³ √ agua = 1000 Kg./m ³ % absorción = %	A.G. = 1,21 % A.F. = 1,28 %																																								
<u>Cálculo de la cantidad de agua por m³</u>																																									
Revenimiento: 5 cm.	volumen de agua: 224,1 lts. para cada m ³																																								
Tamaño máximo de agregado: 9,5 mm	224,1 Kg.																																								
volumen de agua corregido: 229,7 lts. para cada m ³ 229,7 Kg.																																									
<u>Cálculo de la cantidad de cemento</u>																																									
Resistencia: f'c = 240 Kg/cm ²																																									
A/C = 0,55																																									
C = 417,60 Kg. para cada m ³																																									
<u>Cálculo de la cantidad de volúmenes para 1 m³ de hormigón (V=P/√)</u>																																									
Cemento = $\frac{417,60 \text{ Kg}}{3050 \text{ Kg/m}^3}$ =	0,1369 m ³ 136,9 dm ³																																								
Agua = $\frac{229,7 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$ =	0,2297 m ³ 229,7 dm ³																																								
Piedra = $\frac{P.V.V. * V.A.G.}{D.S.S.S.}$ =	0,3734 m ³ 373,4 dm ³																																								
Aire = Para 19 mm	2,0 % 20,0 dm ³																																								
Arena = 240,0 dm ³																																									
1																																									

Anexo 20: Diseño de concreto hidráulico 2

El 40 % de agregado fino es lo máximo permitido con relación al volumen total que forman agregado grueso mas fino.

Piedra	=	373,4	dm ³	613,4	100
Arena	=	240,0	dm ³	240,0	X
		<u>613,4</u>	dm ³		
				X =	39,12 %

Arena = 39,12 %

CORRECCIONES

40 % de	613,4	=	245,4	dm ³	0,245	m ³
Volúmen de arena corregida			245,4	dm ³	0,2454	m ³
Volúmen de piedra corregida			368,0	dm ³	<u>0,3680</u>	m ³
					<u>0,6134</u>	m ³

Peso en Kg en 1 Kg/m³ de hormigon

Cemento	3050	Kg./m ³	x	0,137	m ³	417,6	Kg	
Agua	1000	Kg./m ³	x	0,230	m ³	229,68	Kg	
Piedra	D.S.S.S.	2519	Kg./m ³	x	0,3680	m ³	927,10	Kg
Arena	D.S.S.S.	2618	Kg./m ³	x	0,2454	m ³	<u>642,35</u>	Kg
						<u>2216,73</u>	Kg	

Datos para elaborar hormigón por peso

Cantidades de material para un saco de cemento peso saco de cemento igual a 50 Kg.

<u>417,60</u>	Kg	8,3520	coeficiente(# de sacos que se va a utilizar)
50	Kg		

Cemento	<u>417,60</u>	Kg	50,00	Kg
	<u>8,3520</u>			
Agua	<u>229,68</u>	Kg	27,50	Kg
	<u>8,3520</u>			
Piedra	<u>927,10</u>	Kg	111,00	Kg
	<u>8,3520</u>			
Arena	<u>642,35</u>	Kg	76,91	Kg
	<u>8,3520</u>			

Datos para elaborar hormigón por peso