



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y TRACCIÓN INDIRECTA DE
ADOQUÍN REFORZADO CON FIBRA DE CAUCHO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de INGENIERO E INGENIERA CIVILES

AUTORES: Victor Alfonso Lasluisa Chiza
Andrea Fernanda Montoya Pilatasig

TUTORA: Doris Alexandra Andrade Sandoval

Quito - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Victor Alfonso Lasluisa Chiza con documento de identificación N° 1716253511 y Andrea Fernanda Montoya Pilatasig documento de identificación N° 1721285979; manifestamos que:

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

Quito, 18 de enero del 2022

Atentamente,



Victor Alfonso Lasluisa Chiza
1716253511



Andrea Fernanda Montoya Pilatasig
1721285979

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

Nosotros, Victor Alfonso Lasluisa Chiza con documento de identificación N° 1716253511 y Andrea Fernanda Montoya Pilatasig documento de identificación N° 1721285979; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis de la Resistencia al Desgaste y Tracción indirecta de adoquín reforzado con fibra de caucho”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero e Ingeniera Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 18 de enero del 2022

Atentamente,



Victor Alfonso Lasluisa Chiza

1716253511



Andrea Fernanda Montoya Pilatasig

1721285979

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Doris Alexandra Andrade Sandoval con documento de identificación N° 1720110657, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y TRACCIÓN INDIRECTA DE ADOQUÍN REFORZADO CON FIBRA DE CAUCHO, realizado por Víctor Alfonso Lasluisa Chiza con documento de identificación N° 1716253511 y Andrea Fernanda Montoya Pilatasig documento de identificación N° 1721285979, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de enero del 2022

Atentamente,



Arq. Doris Alexandra Andrade Sandoval, M.Sc.

1720110657

DEDICATORIA

A Dios, por siempre estar conmigo y guiar mi camino todos los días de mi vida.

A mi madre, por su sacrificio, amor y apoyo incondicional aun con nuestras diferencias de opiniones siempre estas a mi lado.

A mis sobrinos, Sebitas y Totito mis amores son las personitas que siempre me alegran la vida.

Andrea Montoya

Mis triunfos siempre serán los de mi familia, a mi corta edad conocí la ausencia de un padre, la gran labor de una madre y el apoyo incondicional de mis hermanos. Este trabajo va dedicado a cada uno de ellos por acompañarme en estos años de trabajo, esfuerzo y esmero.

Victor Lasluisa

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios y a la vida, por permitirme cumplir esta meta y por poner en mi camino a personas increíbles que me enseñaron muchísimas cosas.

A mi madre, te agradezco de todo corazón mamita que nunca me has dejado sola, este pequeño triunfo también es tuyo. Te amo.

A mis sobrinos, por ayudarme a estudiar, por cada abrazo, beso por ser mi amor más puro y sincero.

A Victor, mi mejor amigo, futuro colega, una persona increíble, por tantos buenos momentos, sé que no siempre fui la mejor, pero lo logramos y espero que vengan muchos éxitos más.

A la Arq. Doris Andrade, al Ing. Byron Altamirano y al Ing. Andrés Heredia, por compartimos su conocimiento, ayuda, guía, consejos y comprensión en desarrollo de nuestro trabajo de titulación.

Andrea Montoya

Agradezco a Dios, por ser mi guía y abrir los caminos para poder cumplir este proceso, poner decisiones, personas y momentos justo cuando los necesitaba.

A mi padre, que desde el cielo fue mi mentor para poder seguir adelante en esta carrera y día a día intentar ser mejor ser humano para mi familia y la sociedad.

A mi madre, hermanos y familia, quien, con su apoyo incondicional, preocupación y motivación siempre estuvo a mi lado en el camino de la carrera y de mi vida.

A Andrea, una verdadera amiga, incondicional, excelente alumna, mujer responsable, gracias por tu paciencia, por tu perseverancia, y buenos momentos compartidos.

A la Arq. Doris Andrade, al Ing. Byron Altamirano y al Ing. Andrés Heredia, por compartimos su conocimiento, ayuda, guía, consejos y comprensión en desarrollo de nuestro trabajo de titulación.

Victor Lasluisa

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo general	1
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Problema de estudio	2
1.4 Justificación.....	5
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Adoquín.....	8
2.1.1 Tipos de adoquines.....	8
2.1.2 Adoquín de hormigón.....	8
2.1.3 Adoquín de uso vehicular.....	8
2.1.4 Clasificación de adoquines.....	9
2.1.5 Requisitos de calidad de adoquines de concreto.	9
2.2 Arena	12
2.3 Árido.....	12
2.4 Árido fino	12
2.5 Árido grueso	12
2.6 Arista	12
2.7 Bisel.....	12

2.8	Caucho.....	12
2.8.1	Características del caucho.	13
2.8.2	Propiedades del caucho.	13
2.9	Durabilidad del hormigón.....	14
2.10	Estructura de pavimentos articulados de adoquín de hormigón.....	14
2.10.1	Subrasante.....	14
2.10.2	Subbase y base.....	14
2.10.3	Cama de arena.....	15
2.10.4	Sello de arena.....	15
2.11	Grava.....	16
2.12	Hormigón.....	16
2.13	Porosidad y absorción.....	16
2.14	Trabajabilidad.....	17
CAPÍTULO III.....		18
CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES.....		18
3.1	Ensayo: Homogenización y reducción de muestra para árido fino y grueso	18
3.1.1	Normativa referencial.....	18
3.1.2	Objetivos.....	19
3.1.3	Alcance.....	19
3.1.4	Términos y definiciones.....	19
3.1.5	Criterios para la elección de los agregados.....	20
3.1.6	Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.....	21
3.1.7	Procedimiento.....	22

3.2	Ensayo de análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.....	23
3.2.1	Normativa referencial.....	23
3.2.2	Objetivos.....	24
3.2.3	Alcance.....	24
3.2.4	Términos y definiciones.....	24
3.2.5	Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.....	25
3.2.6	Gradación del árido.....	28
3.2.7	Curvas de granulometría o gradación.....	29
3.2.8	Análisis de la granulometría Superpave.....	30
3.2.9	Procedimiento para árido fino.....	36
3.2.10	Resultados del análisis granulométrico para árido fino.....	37
3.2.11	Resultados del análisis granulométrico en árido grueso.....	40
3.2.12	Resultados del análisis granulométrico en las partículas de fibra de caucho.....	42
3.3	Ensayo de determinación de la densidad, peso específico (densidad relativa) para árido fino, árido grueso.....	44
3.3.1	Normativa referencial.....	44
3.3.2	Objetivos.....	44
3.3.3	Alcance.....	45
3.3.4	Términos y definiciones.....	45
3.3.5	Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.....	47
3.3.6	Importancia de la porosidad y de la absorción en mezclas de hormigón.....	48
3.3.7	Procedimiento para árido fino.....	49
3.3.8	Cálculos.....	50

3.3.9 Resultados de la densidad, peso específico (densidad relativa) para árido fino.....	53
3.3.10 Resultados de la densidad, peso específico (densidad relativa) para árido grueso.....	54
3.4 Ensayo de determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos..	55
3.4.1 Normativa referencial.....	55
3.4.2 Objetivos.....	55
3.4.3 Alcance.....	56
3.4.4 Términos y definiciones.....	56
3.4.5 Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.....	57
3.4.6 Expansión o abultamiento.....	59
3.4.7 Procedimiento para árido fino.....	59
3.4.8 Cálculos.....	60
3.4.9 Resultados de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos.....	61
3.5 Ensayo de determinación del valor de la degradación del árido grueso en partículas menores a 17,5 mm.....	62
3.5.1 Normativa referencial.....	62
3.5.2 Objetivos.....	62
3.5.3 Alcance.....	63
3.5.4 Términos y definiciones.....	63
3.5.5 Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.....	64
3.5.6 Resistencia del árido.....	65
3.5.7 Dureza del árido.....	65
3.5.8 Procedimiento para árido grueso.....	65
3.5.9 Cálculos.....	67

3.5.10 Resultados del valor de la degradación del árido grueso en partículas menores a 17,5 mm	67
3.6 Ensayo de determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigones....	68
3.6.1 Normativa referencial.....	68
3.6.2 Objetivos.....	68
3.6.3 Alcance.....	69
3.6.4 Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.	69
3.6.5 Índices de calidad.	70
3.6.6 Procedimiento para árido fino.	70
3.6.7 Resultados de la determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigones.....	71
3.7 Ensayo de determinación del contenido total de humedad para árido fino y árido grueso .	72
3.7.1 Normativa referencial.....	72
3.7.2 Objetivos.....	72
3.7.3 Alcance.....	72
3.7.4 Términos y definiciones.	73
3.7.5 Procedimiento para árido fino.	73
3.7.6 Cálculos.	73
3.7.7 Resultados del contenido total de humedad para árido fino y árido grueso.	74
CAPÍTULO IV	75
METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA MEZCLA POR ACI-111.1.....	75
4.1 Resumen de caracterización de los materiales	75
4.2 Determinación del asentamiento	75

4.3	Estimación de la cantidad de agua de mezclado (a)	76
4.4	Elección de la relación agua/cemento (a/c)	77
4.5	Cálculo del contenido de cemento.....	78
4.6	Estimación del contenido de agregado grueso	79
4.6.1	Mezcla de agregados por graduación de Superpave (línea de máxima densificación).	80
4.7	Determinación de volúmenes reales.....	82
4.8	Estimación del contenido de agregado fino.....	82
4.9	Corrección por humedad y absorción de los agregados	82
4.10	Dosificaciones de prueba para corrección por peso unitario de la mezcla	83
4.11	Corrección por peso unitario de la mezcla de prueba.....	84
4.12	Dosificaciones finales para la elaboración de adoquines	86
CAPÍTULO V.....		88
ELABORACIÓN DE ADOQUINES EN PLANTA.....		88
5.1	Dosificación del hormigón	88
5.2	Mezclado	89
5.3	Moldeado.....	89
5.4	Fraguado.....	90
5.5	Curado	91
5.6	Almacenamiento y secado.....	91
5.7	Muestreo.....	92
CAPÍTULO VI.....		94
ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LAS PROBETAS DISEÑADAS		94

6.1	Ensayo de resistencia al desgaste en adoquines método de böhme (NTE INEN 1040 1015-xx anexo g).....	94
6.1.1	Principio.	94
6.1.2	Material abrasivo.	94
6.1.3	Equipo.....	94
6.1.4	Preparación de las probetas.	97
6.1.5	Procedimiento.....	97
6.1.6	Cálculo de los resultados del ensayo.	98
6.2	Ensayo de resistencia a la tracción indirecta en adoquines. (NTE INEN 1040 1016-04 anexo e)	100
6.2.1	Equipo.....	100
6.2.2	Preparación.....	101
6.2.3	Procedimiento.....	101
6.2.4	Cálculo de los resultados del ensayo.	102
6.2.5	Cálculo de la resistencia característica.....	103
6.2.6	Informe del ensayo.	105
6.3	Ensayo de resistencia climática (absorción total de agua) en adoquines. (NTE INEN 1040 1016 anexo d).....	105
6.3.1	Principio.	105
6.3.2	Probeta.....	106
6.3.3	Materiales.....	106
6.3.4	Equipo.....	106
6.3.5	Preparación de las probetas.	107

6.3.6 Procedimiento.....	107
6.3.7 Cálculo de los resultados.....	108
6.3.8 Informe del ensayo.....	108
CAPÍTULO VII	109
RESULTADOS	109
7.1 Diseño de las mezclas de concreto hidráulico.....	109
7.2 Determinación de resistencia al desgaste en adoquines método de Böhme (NTE INEN 1040 1015-xx anexo g)	111
7.3 Determinación de resistencia a la tracción indirecta en adoquines. (NTE INEN 1040 1016-04 anexo e).....	111
7.4 Determinación de resistencia climática (absorción total de agua) en adoquines. (NTE INEN 1040 1016 anexo d).....	112
CAPÍTULO VIII.....	113
VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA	113
8.1 Comparación de adoquín normal con adoquín con fibra de caucho	113
8.2 Precios unitarios	116
8.2.1 Análisis de precios unitarios de adoquines convencionales (0% FDC).	116
8.2.2 Análisis de precios unitarios de adoquines con fibra de caucho (1%, 6%, 9%, 11% y 15% fdc).	118
8.3 Presupuesto referencial.....	123
CONCLUSIONES.....	124
RECOMENDACIONES.....	126
REFERENCIAS	128

ANEXOS134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Resistencia Característica De La Tracción Indirecta (>3.6 MPa).....	5
Tabla 2.	Porcentajes de fibra de caucho que se usará en la mezcla de concreto.....	6
Tabla 3.	Propiedades de la fibra de caucho.....	13
Tabla 4.	Serie de tamices de Taylor.....	28
Tabla 5.	Distintos tipos de requerimientos para granulometrías Superpave.....	36
Tabla 6.	Procedencia de los agregados	37
Tabla 7.	Granulometría del Agregado Fino.	37
Tabla 8.	Granulometría del Agregado Grueso	40
Tabla 9.	Granulometría de las partículas de fibra de caucho	42
Tabla 10.	Peso específico de Agregado Fino.....	53
Tabla 11.	Peso específico de Agregado Grueso.....	54
Tabla 12.	Capacidad de los moldes para el ensayo de compactación.....	58
Tabla 13.	Requisitos para los moldes.....	58
Tabla 14.	Peso unitario suelto y varillado de los agregados	61
Tabla 15.	Requisitos para los moldes.....	65
Tabla 16.	Gradación de las muestras de ensayo según el TMN.....	66
Tabla 17.	Valor de degradación del Agregado Grueso	67
Tabla 18.	Colores normalizados en escala de Gardner	70
Tabla 19.	Contenido de humedad en los agregados.....	74
Tabla 20.	Resumen de caracterización de los materiales.....	75
Tabla 21.	Estimación del asentamiento de la mezcla.....	76
Tabla 22.	Granulometría Superpave TMN = 9.0 mm	80

Tabla 23.	Línea de Máxima Densificación	80
Tabla 24.	Volúmenes reales de los materiales	82
Tabla 25.	Corrección por humedad y absorción de los agregados.....	83
Tabla 26.	Corrección por agua de mezclado.....	83
Tabla 27.	Dosificación de prueba para 1m ³ de hormigón	83
Tabla 28.	Relación de prueba al peso de 1 kg de cemento	83
Tabla 29.	Dosificación de prueba para 1 saco de cemento (50 kg).....	84
Tabla 30.	Peso del material dosificado	84
Tabla 31.	Corrección por Peso Unitario de la mezcla.....	84
Tabla 32.	Contenido neto de agua de mezclado.....	85
Tabla 33.	Corrección por agua de mezclado.....	85
Tabla 34.	Ajuste de los materiales de la mezcla final	86
Tabla 35.	Dosificación para 1m ³ de hormigón para adoquines convencionales	86
Tabla 36.	Relación al peso de 1 kg de cemento para adoquines convencionales	86
Tabla 37.	Dosificación para 1 saco de cemento (50 kg) para adoquines convencionales.....	87
Tabla 38.	Muestreo de adoquines con fibra de caucho	93
Tabla 39.	Ejemplo de cálculo de ensayo de desgaste en adoquines – Método de Böhme.	99
Tabla 40.	Factor de corrección k.....	102
Tabla 41.	Ejemplo de cálculo Ensayo de tracción indirecta en adoquines	104
Tabla 42.	Ensayo de absorción total de agua en adoquines	108
Tabla 43.	Diseño de mezcla para adoquines convencionales	109
Tabla 44.	Diseño de mezcla para adoquines con 3% de part. de fibra de caucho.....	109
Tabla 45.	Diseño de mezcla para adoquines con 6% de part. de fibra de caucho.....	110

Tabla 46.	Diseño de mezcla para adoquines con 9% de part. de fibra de caucho.....	110
Tabla 47.	Diseño de mezcla para adoquines con 12% de part. de fibra de caucho.....	110
Tabla 48.	Diseño de mezcla para adoquines con 15% de part. de fibra de caucho.....	111
Tabla 49.	Ensayo de desgaste - Adoquines.....	111
Tabla 50.	Ensayo de tracción indirecta – Adoquines.....	112
Tabla 51.	Ensayo de resistencia climática - Adoquines.....	112
Tabla 52.	Resumen de ensayos realizados – Adoquines.....	113
Tabla 53.	Requisitos normados – Adoquines.....	114
Tabla 54.	APU para adoquines convencionales.....	117
Tabla 55.	APU para adoquines con 3% de part. de fibra de caucho	118
Tabla 56.	APU para adoquines con 6% de part. de fibra de caucho	119
Tabla 57.	APU para adoquines con 9% de part. de fibra de caucho.	120
Tabla 58.	APU para adoquines con 12% de part. de fibra de caucho.	121
Tabla 59.	APU para adoquines con 15% de part. de fibra de caucho.....	122
Tabla 60.	Presupuesto referencial de adoquines realizados	123
Tabla 61.	Ensayo de desgaste en adoquines – Método de Böhme.....	137
Tabla 62.	Ensayo de tracción indirecta en adoquines.	138
Tabla 63.	Ensayo de tracción indirecta en adoquines.	139
Tabla 64.	Ensayo de absorción total de agua en adoquines	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Elementos estructurales de un pavimento de adoquines	15
Figura 2.	Estados de saturación del agregado.	17
Figura 3.	Pala.....	21
Figura 4.	Separador de muestras para árido grueso.....	22
Figura 5.	Separador de muestras para árido fino.....	22
Figura 6.	Serie de tamices	26
Figura 7.	Horno	26
Figura 8.	Balanza electrónica	27
Figura 9.	Agitador de tamices.	28
Figura 10.	Ejemplo de curva granulométrica	29
Figura 11.	Representación de granulometrías según la FHWA	32
Figura 12.	Ejemplo de grafico de las abscisas $abertura^{0.45}$	33
Figura 13.	Graduación de máxima densidad para tamaño máximo de 19 mm	34
Figura 14.	Límites para las granulometrías Superpave	35
Figura 15.	Curva granulométrica del Agregado Fino.....	39
Figura 16.	Curva granulométrica del Agregado Grueso	41
Figura 17.	Curva granulométrica de las partículas de fibra de caucho	43
Figura 18.	Picnómetro	47
Figura 19.	Molde y compactador.....	48
Figura 20.	Bomba de vacíos	48
Figura 21.	Esquematzación del peso volumétrico de los agregados	55

Figura 22. Molde y varilla de compactación.....	58
Figura 23. Máquina de Los Ángeles.....	64
Figura 24. Colorímetro.	69
Figura 25. Resultados de ensayo de colorimetría.	71
Figura 26. Requerimientos de agua de mezclado.....	77
Figura 27. Curvas de resistencia a la compresión vs. Relación agua/cemento	78
Figura 28. Gráfica granulométrica Superpave para un tamaño máximo nominal de 9.0 mm (usando el exponente de 0.45).	81
Figura 29. Dosificación de la mezcla	88
Figura 30. Mezcladora tipo trompo o tolva.....	89
Figura 31. Prensa para moldeado de adoquines	90
Figura 32. Fraguado de adoquines convencionales.....	91
Figura 33. Principio del disco de abrasión Böhme.....	97
Figura 34. Principio ensayo de tracción indirecta.	100
Figura 35. Comparación de la resistencia a la tracción indirecta de los adoquines.	114
Figura 36. Comparación de desgaste de los adoquines	115
Figura 37. Comparación de la resistencia climática de los adoquines	116
Figura 38. Peso de los materiales para la mezcla.	134
Figura 39. Instrumentos para la corrección por peso unitario de la mezcla.	134
Figura 40. Realización del ensayo de peso unitario del concreto fresco.	135
Figura 41. Mezcla de los materiales en la tolva.	135
Figura 42. Moldeado y vibrado de los adoquines.....	136
Figura 43. Almacenamiento de adoquines.	136

Figura 44. Ensayo de desgaste en adoquines – Método de Böhme.....	141
Figura 45. Ensayo de tracción indirecta.	141
Figura 46. Ensayo de absorción total.	142

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar los diversos proporciones de fibra de caucho en la mezcla de hormigón para un adoquín molecularmente modificado con el fin de conseguir que cumpla los ensayos de desgaste, absorción y tracción indirecta como un espécimen normal, a través de la investigación continua en foros digitales nacionales, papers proporcionados en la universidad y mediante pruebas de laboratorio y los estándares de la norma INEN 3040 2015 e INEN 3040 2016 en las cuales se especifican los materiales, propiedades, exigencias y metodologías de prueba de los adoquines prefabricados de hormigón no armados. La evaluación del producto final evidencia que el componente utilizado como reemplazo de aditivo no tuvo la aceptación esperada en grandes cantidades cuando este fue empleado en la mezcla, estableciendo así que la mejor opción es agregar el producto en el porcentaje más bajo, se empleó la estrategia de trabajo atributivo y cuantitativo, sustentado en el examen detallado de efectos en laboratorio, indagación sin control, exploración inductiva, entre otros métodos como apoyo al desarrollo de cada uno de los punto diseñados para el desarrollo sobre El análisis de la resistencia al desgaste y tracción indirecta de adoquín reforzado con fibra de caucho. Se consiguió instituir una correlación entre la técnica y la ciencia dentro del tema abordado y se evidencia que se puede utilizar fibra de caucho en bajas proporciones en conjunto con el cemento para conseguir resultados similares, comparándose con una mezcla de normales características.

Palabras claves: (adoquín, fibra de caucho, desgaste, absorción, tracción indirecta, hormigón)

ABSTRACT

The present thesis aimed to evaluate the various proportions of rubber fiber in the concrete mix for a molecularly modified paver in order to achieve that it meets the wear, absorption and indirect traction tests as a normal specimen, through research continues in national digital forums, papers provided at the university and through laboratory tests and the standards of the INEN 3040 2015 and INEN 3040 2016 standards in which the materials, properties, requirements and test methodologies of precast concrete pavers are specified not armed. The evaluation of the final product shows that the component used as an additive replacement did not have the expected acceptance in large quantities when it was used in the mixture, thus establishing that the best option is to add the product in the lowest percentage, the strategy was used of attributive and quantitative work, supported by the detailed examination of effects in the laboratory, uncontrolled inquiry, inductive exploration, among other methods to support the development of each of the points designed for the development of the analysis of resistance to wear and traction indirect paving stone reinforced with rubber fiber. It was possible to establish a correlation between technique and science within the topic addressed and it is evidenced that rubber fiber can be used in low proportions in conjunction with cement to achieve similar results, comparing it with a mixture of normal characteristics.

Keywords: (paving stone, rubber fiber, wear, absorption, indirect traction, concrete)

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

Hoy en día el aumento de desechos sólidos producto de la actividad humana constituye un gran problema por: manejo de desechos, costo de transporte, contaminación ambiental, reciclaje o reutilización. Entre los elementos que más tardan en descomponerse y se encuentran en gran cantidad en botaderos está el caucho, que tiene un tiempo de descomposición aproximadamente de 100 años, para evitar el exceso de desechos se realiza un proceso de reciclaje, en el cual se obtiene fibra de caucho que puede tener diversos usos; pero también se puede realizar reencauche de neumáticos para evitar la compra de neumáticos y tener la garantía de que funcionarán como neumáticos nuevos.

El presente proyecto analizará la influencia del uso de fibra de caucho reciclado como agregado al concreto para producir artesanalmente adoquines, con el fin de valorar las cualidades mecánicas de los adoquines, verificar el cumplimiento de normas nacionales e internacionales, comparar dichas propiedades con adoquines convencionales y por último realizar un análisis de precios para ver qué tan factible es esta solución para las empresas a nivel nacional.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general.

Verificar si existe un porcentaje adecuado de fibra de caucho que refuerce el diseño de la mezcla de concreto en la elaboración de adoquines hexagonales de hormigón que permitan el cumplimiento de características en tracción indirecta,

desgaste (ensayo de Böhme) y resistencia climática (absorción total de agua), de acuerdo a la normativa NTE INEN 3040 2015-XX y NTE INEN 3040 2016-04.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Realizar la caracterización de los materiales que se van a emplear en el diseño de la mezcla de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE).
- Determinar el desgaste en adoquines de hormigón reforzados con fibra de caucho y adoquines convencionales mediante el método de Böhme de acuerdo a la norma INEN 3040 – Anexo G 2015.
- Determinar la resistencia a la tracción indirecta en adoquines de hormigón reforzados con fibra de caucho y adoquines convencionales de acuerdo a la norma INEN 3040 – Anexo E 2016.
- Determinar la resistencia climática (absorción total de agua) en adoquines de hormigón reforzados con fibra de caucho y adoquines convencionales de acuerdo a la norma INEN 3040 – Anexo D 2016.
- Analizar y comparar las propiedades mecánicas de adoquines con fibra de caucho y adoquín convencional para adoquinado de caminos secundarios y calles principales.
- Determinar la relación costo - beneficio de los adoquines con fibra de caucho en comparación con los adoquines convencionales.

1.3 Problema de estudio

Actualmente el adoquinado de vías representa un cambio significativo en la condición de vida de las personas, por lo que estas obras cuentan con un importante porcentaje del

presupuesto de las labores del Municipio de Quito a través de las distintas Administraciones Zonales. La buena estructura vial simboliza una fracción significativa de los activos viales del Ecuador. Estas deben resistir solicitudes de tránsito, ambientales y proporcionar una infraestructura duradera que admita la libre circulación con comodidad y seguridad. (Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2012)

Los adoquines de hormigón se originan desde un diseño que radica en la elección de componentes favorables (cemento, agregados, agua y aditivos en buenas proporciones) para producir un elemento económico. (Registro Oficial Suplemento 998 de 5-may-2017)

La resistencia a la tracción indirecta, resistencia al desgaste por abrasión y absorción total de agua, son propiedades esenciales para la determinación de la eficacia de los adoquines de hormigón, estos ensayos en Ecuador se realizan conforme con la norma NTE INEN 3040 2016-04 y la norma NEVI-12. La propiedad de resistencia al desgaste con el ensayo de Böhme, se encuentra detallado en normativa NTE INEN 3040 2015-XX, ya que en la norma NTE INEN 2016-04 se indica la prueba de resistencia al desgaste por abrasión con el procedimiento de la rueda ancha y determinación del índice de absorción total de agua.

La presente investigación analizará la influencia del uso de fibra de caucho reciclado como agregado al concreto sobre la resistencia al desgaste con el uso de la norma INEN 3040 2015-XX, mientras que con la norma INEN 3040 2016-04 se revisará la resistencia a la tracción indirecta y los gestores ambientales mediante reciclaje del reencauche de neumáticos transforman en materia prima el mismo, para diferentes usos, de esta manera se disminuye el impacto ambiental producido por el reencauche de. La fibra de caucho en este caso es utilizada en sustitución al agregado fino en diferentes porcentajes en la composición del hormigón, para verificar el comportamiento de los adoquines al realizar las pruebas de

resistencia al desgaste, tracción indirecta y resistencia climática, también se efectuará un cotejo de los resultados de esta investigación con resultados de adoquines convencionales.

S. Plazas y G. Gamba, en “Caracterización de las Propiedades Mecánicas de Adoquines de Concreto con adición de Residuo de Caucho Reciclado producto de llantas usadas”, señalan que el grano de caucho reciclado (GCR) posee baja adherencia a los agregados de la mezcla de hormigón por la rugosidad que presentan dichas partículas, lo que disminuye la resistencia a la flexo tracción, cabe recalcar que las muestras con 5% y 10% de GCR obedecen la resistencia establecida a la flexo tracción en la norma NTC 2017); no obstante el índice de absorción de agua y la resistencia al desgaste arrojaron resultados similares en las cuatro muestras realizadas (0%, 5%, 10% ,15% de GCR).

Según (Witoszek et al., 2004) verificaron la compatibilidad entre las partículas de caucho y el hormigón, con adición de caucho entre 3.5%, 5% y 8%, llegando así a obtener un mejor comportamiento del hormigón ante la fisuración por retracción y disipación de energía elástica, generando una reducción del nivel sonoro del tráfico.

En investigaciones anteriores realizadas por J. Carrión y B. Saraguro, respecto a la resistencia al deterioro a través del ensayo de Böhme, en adoquines convencionales ensayados de diferentes empresas de la ciudad de Quito, se obtuvo un 95% de confiabilidad en su elaboración, obteniendo un valor máximo de desgaste $13\ 180\ \text{mm}^3$, este valor es inferior a la normativa NTE INEN 3040 2015-XX cuyo valor límite es $20\ 000\ \text{mm}^3$; mientras que en la investigación de B. Álvarez y S. Guachamin, se constató que la resistencia a la tracción $>3.6\ \text{MPa}$ solo se cumple por el 5% de las empresas existentes en el DMQ.

Tabla 1.

Resistencia Característica De La Tracción Indirecta (>3.6 MPa)

Descripción	Nº	%
No de Fábricas	38	100
Cumple	2	5.3
No Cumple	36	94.7

Nota. Porcentaje de cumplimiento de las fábricas a la Resistencia Característica de la Tracción Indirecta en base a la INEN 3040. Fuente: Carrión y Saraguro (2019).

Estos resultados reflejan que la mayoría de los productores de adoquines en la ciudad de Quito no cumplen con la normativa NTE INEN 3040, por lo que es necesario realizar nuevos diseños de hormigón, a costos aceptables y con materiales reciclados como fibra de vidrio, vidrio molido, fibra de polipropileno, viruta de acero, estopa de coco, fibra de caucho, entre otros, que mezclados con árido fino y árido grueso puedan constituir una mezcla con propiedades mecánicas que desempeñen los exigencias determinados en las normas NTE INEN o en normas internacionales.

1.4 Justificación

El adoquinado de vías se ha transformado en una de las importantes obras realizadas por Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) o Municipios Cantonales, por lo cual es necesario crear nuevas investigaciones para realizar una dosificación con diversos materiales y asegurarse que desempeñen las condiciones establecidas en la normativa NTE INEN 3040, pero que al mismo tiempo contribuyan al reciclaje de materiales.

La elaboración de este proyecto busca generar una dosificación adecuada para obtener el mejor resultado posible de un adoquín hexagonal con fibra de caucho y así reducir el conjunto de áridos que se incluyan en la mezcla, de esta manera se conocerá cómo actúan las

fibras de caucho en la resistencia a la tracción indirecta, resistencia climática y desgaste de adoquines.

En el presente proyecto se realizará cinco diferentes muestras de hormigón con disímiles porcentajes de fibra de caucho en substitución del agregado fino; los porcentajes de fibra de caucho a usar en la mezcla son similares a los usados en la investigación de M. Caiza y R. Chipugsi en la cual se empleó los siguientes porcentajes de caucho reciclado: 3, 5, 10, 12 y 20%; por lo cual las proporciones de fibra de caucho serán los indicados a continuación:

Tabla 2.

Porcentajes de fibra de caucho que se usará en la mezcla de concreto

Mezcla N°	% Fibra De Caucho
1	3
2	6
3	9
4	12
5	15

Elaborada por: Los autores.

En el Acuerdo Ministerial 098 del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), revalida que comerciantes y/o fabricantes deberán recobrar como mínimo el 30% de los neumáticos que fueron comercializados en el año anterior y dicha proporción será recalculado cada año. Las llantas que lleguen a las subestructuras de un gestor acreditado que preste servicios de reencauche y no cumplan con los escenarios técnicos para este procedimiento, corresponderá entregar a los importadores y/o fabricantes para que se expidan a un gestor acreditado de reciclaje y sean tratados de manera apropiada, conforme la normativa ambiental vigente. (Acuerdo Ministerial 098, 2015, pg. 12 - 15).

En el desarrollo de este proyecto se realizará un balance entre resultados de resistencia a la tracción indirecta, resistencia climática y desgaste de adoquines convencionales y adoquines con fibra de caucho y también un análisis de costos entre los mismos; que beneficiará a las empresas de adoquines brindándoles una manera más económica de fabricar los mismos asegurando buenos resultados ante procesos de fiscalización y también influyendo en la disminución de escombros de llantas de caucho.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Adoquín

De piedra natural y de hormigón, utilizada en la superficie de un camino. (NTE INEN 1483, 1986-10, pg. 1)

2.1.1 Tipos de adoquines.

Son variados los usos de adoquines para vías. Comprendido entre adoquinados ornamentales hasta de alto desempeño. Los primeros están expuestos a muy bajas solicitaciones de tránsito estructurales, los segundos lo están a muy pesadas. Efectivamente, los diseños se emplean específicamente para cada caso. (Manual de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón, 2013, pg. 15)

- Adoquín de piedra natural
- Adoquín de hormigón
- Adoquín poroso
- Adoquín de uso vehicular

2.1.2 Adoquín de hormigón.

Es un componente ortopedro que se instala uno junto a otro para constituir una capa apropiada al tráfico de una vía. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002)

2.1.3 Adoquín de uso vehicular.

Elemento o bloque macizo prefabricado de hormigón o concreto que cumple rigurosos estándares de calidad se usa especialmente en pavimentación ya sea para tráfico vehicular o peatonal. (SERCOP, 2017)

2.1.4 Clasificación de adoquines.

2.1.4.1 Adoquines tipo A.

En la INEN 1483 se dice que un adoquín tipo A son aquellos que se unen entre sí por todos sus lados, consiguen colocarse en esterilla, resisten la expansión de las juntas, tanto longitudinalmente como transversalmente de las unidades”. (NTE INEN 1483 1986-10, pág. 1)

2.1.4.2 Adoquines tipo B.

Son unidades dentadas que se acoplan unos con otros únicamente en dos lados, no se coloca en esterilla por su forma plana, al acoplarse, se opone al esparcimiento de las juntas exclusivamente en los ejes alargados de los adoquines; necesitan precisión en su distribución para que se acoplen las unidades. (NTE INEN 1483 1986-10, pág. 1)

2.1.4.3 Adoquines tipo C.

Son unidades cuadrangulares de contorno sencillo que no se acoplan y que penden de sus dimensiones y modo de ejecución. (NTE INEN 1483 1986-10, pág. 1)

2.1.5 Requisitos de calidad de adoquines de concreto.

Al ser los adoquines elementos prefabricados, la inspección de calidad y su certificación puede realizarse en la fábrica, disminuyendo la heterogeneidad en calidad del material en obra; el control de calidad se concentra en las arenas y material de base, en la terminación superficial del pavimento y en la inspección de técnicas constructivas de la base, subbase, y terminaciones. (Manual de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón, 2013, pg. 14)

El control de calidad de los adoquines que se fabrican y venden en las compañías de la ciudad de Quito se realiza como se especifica la norma NTE INEN 1484 y NTE INEN 1488, en las cuales se indican las siguientes recomendaciones:

2.1.5.1 Dimensiones.

En términos de dimensiones, se pide que la correlación longitud/ancho en el plano no supere dos mm y el espesor no sea inferior sesenta mm, ni mayor de cien mm. (NTE INEN 1488, 1986-10, pág. 2)

- El grosor de cada uno de los diez adoquines modelo alcanzará el valor de \pm tres mm del espesor nominativo.
- La distancia real de cada uno de los diez adoquines modelo puede tener una tolerancia de \pm dos mm de la longitud nominal.
- El ancho de cada uno de los diez adoquines modelo puede tener una tolerancia de \pm dos mm del ancho nominal.

2.1.5.2 Bordes o aristas.

Puede conceptuarse biselada; cuando sus proyecciones verticales u horizontales no excedan los 2mm, si sobrepasa esta dimensión se definirse como achaflanada. (NTE INEN 3040, 2016-04, pág. 5)

2.1.5.3 Acabado superficial.

El área de los adoquines puede ser texturizada, puede realizarse tratamientos secundarios (químicos); los terminados deben descritos por el constructor. (NTE INEN 3040, 2016-04, pág. 5)

Empleando varios matices y contexturas es viable incluir en la superficie dibujos o diseños, señalizaciones o circunscribir áreas para usanzas específicas; los adoquines facilitan una diversidad de diseños arquitectónicos y paisajístico de los espacios públicos. (Manual de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón, 2013, pg. 14)

2.1.5.4 Transporte.

Para el transporte de los adoquines se emplean camiones con plataforma, instalando una tabla en la base y otra que se use como respaldo para así apilar correctamente los adoquines. (Guía de Instalación de Adoquines de Concreto, 2013, pg. 16)

La descarga del material se lo debe realizar en el espacio más próximo a donde se va a efectuar el respectivo adoquinado, para así evitar cualquier daño que se pudiera producir en el adoquín.

2.1.5.5 Almacenamiento.

Los adoquines estarán preservados todo el tiempo de contaminación o daño con: tierra, lodo, aceites, mezclas de concreto, cemento, marcas de acero, ácidos de lavado de fachadas, descargas de materiales y los agentes externos que perjudiquen configuración; apilarlos lo más cercano al sitio de instalación para evitar mayor manipulación y deterioro del elemento, a una altura máxima de arrume de 1.50 m; caso contrario, se deben colocar a una distancia máxima de 20 m para no comprometer los rendimientos de instalación. (Guía de Instalación de Adoquines de Concreto, 2013, pg. 13)

2.2 Arena

Sustancia granular suelta, resultante de la erosión de rocas silíceas y de otro tipo y que forma un componente importante de lechos de ríos. (NTE INEN 694, 2010, pg.3)

2.3 Árido

Material granular como: arena, grava, piedra triturada que se emplea con un cementante para fabricar hormigón o mortero. (NTE INEN 694, 2010, pg.3)

2.4 Árido fino

Material que pasa la mayor parte de sus partículas pasa por el tamiz de 4,75 mm (No 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75µm (No 200). (NTE INEN 694, 2010, pg.3)

2.5 Árido grueso

En el caso del árido grueso, la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (No 4). (NTE INEN 694, 2010, pág.3-4)

2.6 Arista

Fragmento de un adoquín en el cual se intersecan dos planos. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pág. 5)

2.7 Bisel

Cara larga y estrecha, que resulta en el borde de una superficie del elemento. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pág. 6)

2.8 Caucho

El caucho es una materia prima que es de gran uso para una gran variedad de productos, por su gran elasticidad, resistencia eléctrica y repelencia al agua. El caucho natural nace del árbol *Hevea Brasiliensis*, específicamente de su líquido lechoso acreditada como látex con partículas de caucho en suspensión. La usanza de caucho natural, en vez de caucho

sintético a base de petróleo, actúa contra el cambio climático mediante el aumento del número de árboles y reducir el uso de combustibles fósiles. (Yepes, 2012, pg. 114)

2.8.1 Características del caucho.

El caucho posee una buena elasticidad, gran resistencia a la alcalinidad y es un excelente aislante ante la electricidad y temperatura. Mientras se acrecienta el espacio superficial del refuerzo, se logra un acrecentamiento en la resistencia a la tensión, resistencia a la abrasión, resistencia al rasgado, la resiliencia y la resistencia a la fatiga. (Yepes, 2012, pg. 114)

2.8.2 Propiedades del caucho.

La fibra de caucho fue adquirida en la ciudad de Quito, ya que existen varias empresas orientadas al reciclaje, aprovechamiento y apreciación de los neumáticos en desuso. Se consigue a través de: recepción de materia prima, mezclado y prensado de acuerdo con especificaciones técnicas establecidas. (Yepes, 2012, pg. 114)

Tabla 3.

Propiedades de la fibra de caucho

Ficha Técnica Del Caucho	
Descripción	Caucho triturado
Densidad	1109 gr/cm ³ a 25°C (ASTM D792)
Dimensión	2.5 - 4.0 mm
% Acero	< 0.1%
% Textil	< 0.1%

Nota. Se presenta las características de las partículas del caucho. Elaborado por: Los autores con datos tomados de Campus Plastic (2014).

2.9 Durabilidad del hormigón

Capacidad de tolerar circunstancias nocivas, permitiéndole efectuar con el periodo solicitado en el proyecto. El resultado, al diseñárselo, debe considerarse el fin a cumplir de la estructura, el ataque de los agentes agresivos a los que va a exponerse, los efectos de fisuraciones provocadas por variaciones excesivas de volumen y la resistencia a los efectos de la meteorización. (NTE INEN 1855, 2015, pg. 3)

2.10 Estructura de pavimentos articulados de adoquín de hormigón

2.10.1 Subrasante.

Debe estar libre de elementos orgánicos, compactada para admitir la construcción de la base. Debe ser lo más homogénea posible, por lo que, si existiera material de baja capacidad de soporte, es conveniente reemplazarlo por otro material de la calidad requerida. (Guía de Instalación de Adoquines de Concreto, 2013, pg. 9)

A la subrasante se le debe dar el mismo perfil especificado para la superficie de los adoquines, de manera que, al colocar la base y la cama de arena, ambas con un espesor uniforme en toda el área del pavimento. (Guía de Instalación de Adoquines de Concreto, 2013, pg. 9)

2.10.2 Subbase y base.

Son capas de material situadas entre la subrasante y la capa de rodamiento, dándole una elevada capacidad estructural al adoquinado. Compuesta por una, dos o más capas de materia prima desemejantes. (Guía de Instalación de Adoquines de Concreto, 2013, pg. 10)

La base debe poseer una densidad semejante en toda su ramificación y profundidad, y este requisito se debe cuidar de manera especial en las zonas cercanas

a las estructuras de confinamiento, tragantes para agua pluvial, cajas de inspección, etc., donde la técnica de compactación es delicada para ejecutarse. La base puede ser de: (Guía de Instalación de Adoquines de Concreto, 2013, pg. 10)

- Material granular (grava con finos, arena o tierra)
- Material granular estabilizado con cemento
- Suelo-cemento, del espesor indicado en el diseño, podrá ser suelo del lugar, u otro que tenga que acarrear, siempre que los análisis de laboratorio comprueben que son adecuados para la construcción de bases de suelo-cemento.

2.10.3 Cama de arena.

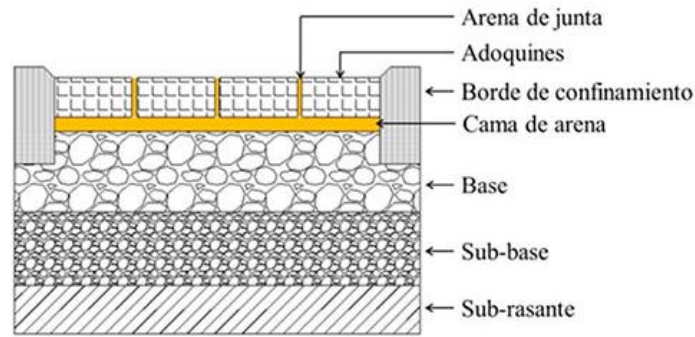
La cama de arena sirve de base para la colocación de adoquines y consentir la consolidación, fruto de la compactación y movimiento del tráfico en los primeros años de vida del pavimento. (Beatty, 1996, pg. 130)

2.10.4 Sello de arena.

La arena utilizada con el fin de sellar juntas entre adoquines debe estar exenta de cuerpos orgánicos y contaminantes, presentar una granulometría perene de manera que la arena pase por el tamiz de 2.36mm y no más del 15% pase el tamiz de 75 μ m. En su ejecución, para el sellado de las juntas estará lo suficientemente seca y suelta para que pueda ingresar entre las juntas. (Guía de Instalación de Adoquines de Concreto, 2013, pg. 13)

Figura 1.

Elementos estructurales de un pavimento de adoquines



Fuente: ASCE (2010).

2.11 Grava

Agregado grueso consecuencia del desgaste por agua o golpes de la roca o producto de procesos mecánicos. (NTE INEN 694, 2010, pág.5)

2.12 Hormigón

Material de construcción esencialmente de piedra menuda y un tipo de argamasa (cemento, arena, cal y agua). (NTE INEN 694, 2010-06, pág. 6)

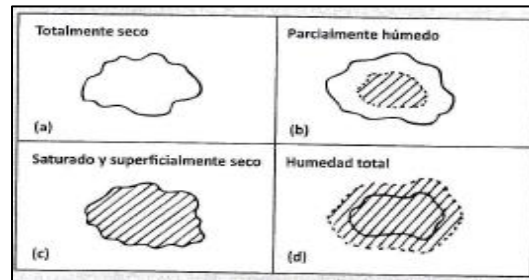
2.13 Porosidad y absorción

La partícula de agregado puede presentar una de las siguientes cuatro posibilidades: (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 80)

- Absolutamente seco, con todos los poros vacíos, internos y superficiales.
- Seco al aire o exteriormente, con parte de la masa y de los poros internos llenos.
- Saturado y superficialmente seco, con toda la masa y los poros internos y de superficie llenos, pero con la superficie seca.
- Húmedo, cuando además de llenos todos sus poros, internos y superficiales, y de saturada toda su masa.

Figura 2.

Estados de saturación del agregado



Fuente: Tecnología del Concreto - Tomo 1 (2010).

Dependiendo el estado que presente uno u otro se hace la corrección y ajuste del diseño de mezcla. En el caso de que el material a utilizar se encuentre en condiciones húmedas, hay que rebajar la cantidad de agua de amasado que incorpora a la mezcla y en los casos de estar absolutamente seco. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 80)

2.14 Trabajabilidad

Es la propiedad del concreto recientemente mezclado que establece la facilidad con la cual se coloca y compacta hasta lograr la condición uniforme. (Mather y Ozyildirim, 2002, pg.3)

CAPÍTULO III

CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

3.1 Ensayo: Homogenización y reducción de muestra para árido fino y grueso

Los agregados son cualquier partícula agregada adrede al concreto que ocupan un área con pasta de cemento, proporcionan resistencia mecánica al mortero o concreto endurecido y controlan los cambios volumétricos que normalmente tienen lugar durante el fraguado del cemento. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 55)

3.1.1 Normativa referencial.

- Norma técnica ecuatoriana INEN 695:2010. Áridos y Muestreo. Primera edición.
- Norma técnica ecuatoriana INEN 694:2010. Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología. Primera edición.
- Norma técnica ecuatoriana INEN 2566:2010. Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo. Primera edición.
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. ASTM C702:2003. Standard Practice for Reducing Samples of Aggregates to Testing Size. American Society for Testing and Materials.
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. ASTM D75:1997. Standard Practice for sampling aggregates.

3.1.2 Objetivos.

3.1.2.1 Objetivo general.

Obtener una muestra in situ representativa de un lote correspondiente a árido fino y grueso para homogenizar y reducir la muestra según la cantidad de material necesaria.

3.1.2.2 Objetivo específico.

- Homogenizar el árido fino y grueso según el método indicado en la norma NTE INEN 2566.
- Determinar la cantidad de árido fino y grueso que se necesitará para los ensayos de laboratorio de caracterización de los materiales.

3.1.3 Alcance.

Reducción y homogeneización de muestras grandes obtenidas in situ de árido fino y grueso a la cantidad requerida para las pruebas necesarias para la caracterización de los materiales a usar en la elaboración de adoquines, la muestra reducida debe ser lo más representativa del suministro total.

3.1.4 Términos y definiciones.

3.1.4.1 Muestra in situ.

Conjunto de material a ser ensayado, suficiente para proporcionar una estimación aceptable. (NTE INEN 695, 2010, pg.9)

3.1.4.2 Lote.

Cuantía de material a granel, separado y de una sola fuente; se asume que tiene que ser producido mediante el mismo proceso. (NTE INEN 695, 2010, pg.9)

3.1.4.3 Muestra de ensayo.

Conjunto de material, tomado de una muestra in situ más grande, mediante un procedimiento diseñado para garantizar una representación precisa de la muestra in situ. (NTE INEN 695, 2010, pg. 9)

3.1.4.4 Unidad.

Cantidad medible de un lote de material a granel. (NTE INEN 695, 2010, pg. 9)

3.1.5 Criterios para la elección de los agregados.

En vista que las propiedades de los agregados utilizados en la elaboración de concreto alteran las características de este, es importante conocer los siguientes puntos: (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 60)

3.1.5.1 Carácter de trabajo.

En pavimentos, la resistencia a la flexión es lo más trascendental por lo que la forma de las partículas es relevante. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 61)

3.1.5.2 Condiciones climáticas.

Se debe prestar mayor interés a la geología y firmeza de los agregados empleados en zonas ambientales agresivas, advirtiendo dificultades de quebrantamiento. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 61)

3.1.5.3 Factores que afectan la durabilidad.

En circunstancias de abrasión y erosión rigurosas, son los agregados los que proveen la resistencia y no la matriz de cemento, por lo que las tipologías más

significativas de ellos son la dureza, forma de partículas y granulometría. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 61)

3.1.5.4 Economía.

Los factores para discurrir en la elección de los agregados son: costo/calidad, costo/tiempo de colocación, y, costo/ durabilidad. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 61)

3.1.6 Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.

3.1.6.1 Pala.

Herramienta manual, formada por una lámina de acero afilada, en forma rectangular u ovalada en un extremo, y un mango tipo “Y”, con un reborde superior para distribuir mejor la fuerza al momento de realizar trabajos de: remoción de escombros, orificios en el terreno, mover materiales, remoción de escombros, etc.

Figura 3.

Pala



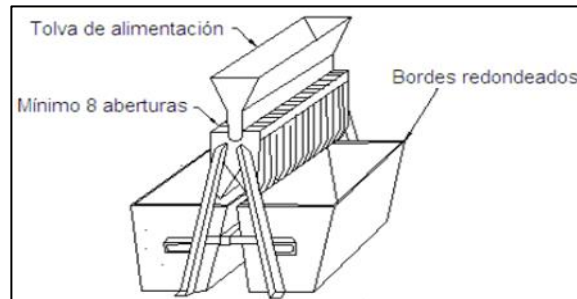
Elaborado por: Los autores.

3.1.6.2 Separador de muestra.

El separador está provisto con dos depósitos para recoger las mitades de la muestra posteriormente de la separación. El separador debe ser diseñado para que no exista pérdida del material. (NTE INEN 2566, 2010, pg.2)

Figura 4.

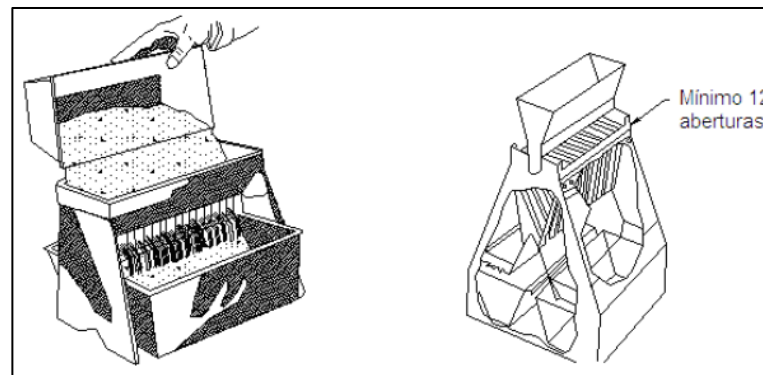
Separador de muestras para árido grueso



Fuente: INEN 2566 (2010).

Figura 5.

Separador de muestras para árido fino



Fuente: INEN 2566 (2010).

3.1.7 Procedimiento.

3.1.7.1 Método a – separador mecánico – árido grueso y árido fino.

Previamente el procedimiento se debe considerar que:

- El material grueso, no debe ser superior a 37,5 mm y una cantidad aproximada de 150 kg.

- El material fino debe estar seco y sus partículas deben ser menores a 20 mm y una cantidad aproximada de 100 kg.
1. Ubicar la muestra original en la bandeja y distribuirla uniformemente de borde a borde. (NTE INEN 2566, 2010, pg. 3)
 2. Reintroducir la porción de muestra de uno de los recipientes en el separador tantas veces como sea necesario. (NTE INEN 2566, 2010, pg. 3)
 3. Reservar una porción del material para cuando sea necesario. (NTE INEN 2566, 2010, pg. 3)

3.2 *Ensayo de análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*

La granulometría suele indicar la composición, de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 64)

3.2.1 Normativa referencial.

- Norma técnica ecuatoriana INEN 696:2011. Análisis granulométrico en los áridos finos y gruesos. Primera edición.
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. ASTM C136:2014. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. American Society for Testing and Materials.

3.2.2 Objetivos.

3.2.2.1 *Objetivo general.*

Determinar la distribución granulométrica de los tamaños de partículas de una muestra seca previamente pesada de los agregados fino y grueso, por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura, mediante la norma NTE INEN 696 y ASTM C136.

3.2.2.2 *Objetivo específico.*

- Determinar el tamaño máximo, el tamaño máximo nominal de la muestra y módulo de finura.
- Realizar la curva granulométrica del agregado fino y grueso.
- Verificar si las curvas granulométricas de los áridos cumplen con la faja granulométrica especificada en la norma ASTM C33.

3.2.3 Alcance.

Comprobar la proporción de materiales a emplear en el hormigón o para otros propósitos, con el fin de establecer la distribución granulométrica de las partículas bajo las especificaciones para mezclas que contengan áridos. (NTE INEN 696, 2011, pg. 1)

3.2.4 Términos y definiciones.

3.2.4.1 *Tamaño máximo del árido.*

La descripción del árido, la hendidura chica de tamiz a través de la cual debe pasar la totalidad del árido. (NTE INEN 694, 2010, pg. 7)

3.2.4.2 *Tamaño máximo nominal del árido.*

Las descripciones sobre los áridos estipulan una grieta de tamiz a través de la cual todo el árido puede pasar, el tamaño máximo nominal es el de la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 64)

3.2.4.3 *Módulo de finura del árido.*

Se obtiene sumando los porcentajes de material en la muestra, que son más gruesos que cada uno de los siguientes tamices, dividiendo la suma para 100: 150 μm , 300 μm , 600 μm , 1,18 mm, 2,36 mm, 4,75 mm, 9,5 mm, 19,0 mm, 37,5 mm, 75 mm, 150 mm. (NTE INEN 694, 2010, pg.6)

3.2.4.4 *Muestreo.*

Es el trabajo de exclusión de una porción de material para el ensayo, de un todo. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 61)

3.2.4.5 *Seco al horno (SH).*

La condición en la que se deben ser secados los agregados en un hornillo a 110°C \pm 5°C durante el lapso requerido para lograr una masa inmutable. (NTE INEN 857, 2010, pg. 1)

3.2.5 Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.

3.2.5.1 *Tamiz.*

La sucesión de tamices que se utiliza en agregados de concreto se establecen, de modo que la hendidura del tamiz es alrededor de la mitad de la abertura del siguiente

más alto. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 66)

Figura 6.

Serie de tamices



Elaborado por: Los autores.

3.2.5.2 Horno.

Aparato que deseca los agregados. Un horno de volumen conveniente, capaz de conservar una tercia igual a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. (NTE INEN 696, 2011, pg.2)

Figura 7.

Horno



Elaborado por: Los autores.

3.2.5.3 *Báscula.*

Dispositivo electrónico usado en el laboratorio para poder determinar la masa de los materiales disponibles en la construcción, con una precisión de 0.1 g para áridos finos y 0.5 g para gruesos o mezclas de fino y grueso.

Figura 8.

Balanza electrónica



Elaborado por: Los autores.

3.2.5.4 *Agitador de tamices electromecánico.*

Instrumento de cernido mecánico que induce movimiento en los tamices para que reboten y caigan las partículas, dentro de un lapso prudente. (NTE INEN 696, 2011, pg. 2)

El uso de un cernidor mecánico es recomendable cuando el volumen de la muestra es de 20 kg o más, aunque se puede emplear para muestras más pequeñas, incluyendo árido fino. (NTE INEN 696, 2011, pg. 2)

Un tiempo excesivo (alrededor de 10 minutos) puede causar degradación de la muestra. (NTE INEN 696, 2011, pg. 2)

Figura 9.

Agitador de tamices.



Elaborado por: Los autores.

3.2.6 Gradación del árido.

Para fabricar hormigón se demanda de un material bien gradado. Facilita una mayor manejabilidad debido a que los espacios vacíos van a ser saturados y el peso unitario del concreto así producido es más alto. (Gómez Domínguez, 2000, pg. 65)

Cualesquiera que sean las mallas para emplear, éstas se colocan: arriba la malla con abertura mayor y hacia abajo en orden decreciente de abertura las demás mallas. El ensayo radica en depositar hasta arriba una muestra del agregado a cribar, después se coloca una tapa sobre la malla de arriba y el conjunto se pone en un agitador mecánico por el tiempo especificado por la norma, posteriormente se determinan los pesos retenidos en las mallas y en la charola y se grafican los resultados para compararlos contra los límites especificados. (Gómez Domínguez, 2000, pg.66)

Tabla 4.

Serie de tamices de Taylor

mm	ASTM
----	------

Agregado Grueso	50.8	2"
	37.5	1 1/2"
	26.5	1"
	19	3/4"
	13.2	1/2"
	9.5	3/8"
Agregado Fino	4.75	N° 4
	2.36	N° 8
	1.18	N° 16
	0.6	N° 30
	0.3	N° 50
	0.15	N° 100
	0.075	N° 200

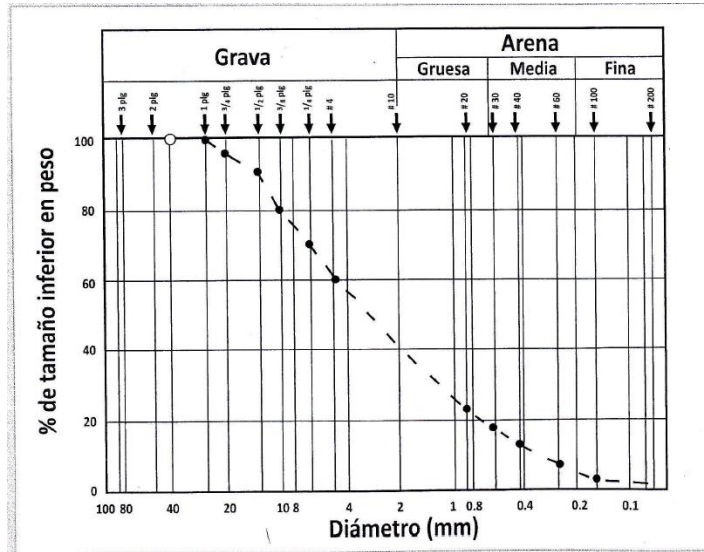
Fuente: ASTM, 2007.

3.2.7 Curvas de granulometría o gradación.

La curva granulométrica o línea de cribado se realiza con los porcentajes en masa que pasan por cada uno de los tamices. En el esquema granulométrico, figura el porcentaje acumulado que pasa a través de los tamices en escala aritmética y las aberturas de los tamices, generalmente en escala logarítmica. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 28)

Figura 10.

Ejemplo de curva granulométrica



Fuente: Tecnología del Concreto. - Tomo 1 (2010).

3.2.8 Análisis de la granulometría Superpave.

Pertenece al programa investigación en carreteras destinado a mejorar el desempeño y vida útil de las carreteras mediante nuevos criterios de gradación de materiales. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 1)

3.2.8.1 Gráfica elevada al exponente 0,45.

Para determinar el tamaño de las partículas, teniendo en cuenta las sugerencias de la FHWA (Federal Highway Association). Utiliza el algarismo 0.45 en la carta de granulometría para precisar la granulometría autorizada (gráfica de Fuller), a través de una técnica gráfica única para calificar la repartición de dimensiones acopiados de partículas de una mezcla de agregados. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 2)

3.2.8.1.1 Origen de la Gráfica de Fuller.

La curva de distribución granulométrica de un material grueso, no uniforme, o gráfica de Fuller tiene su origen en la ecuación de Fuller, la cual representa condiciones de máxima densidad y mínimo de vacíos en el agregado mineral, dada por la ecuación: (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 2)

$$p_i = \left(\frac{D_i}{D_{m\acute{a}x}} \right)^n$$

Donde:

p_i = acumulado que pasa, en decimal, para el diámetro de la partícula D_i

D_i = diámetro de la partícula

$D_{m\acute{a}x}$ = tamaño máximo del material

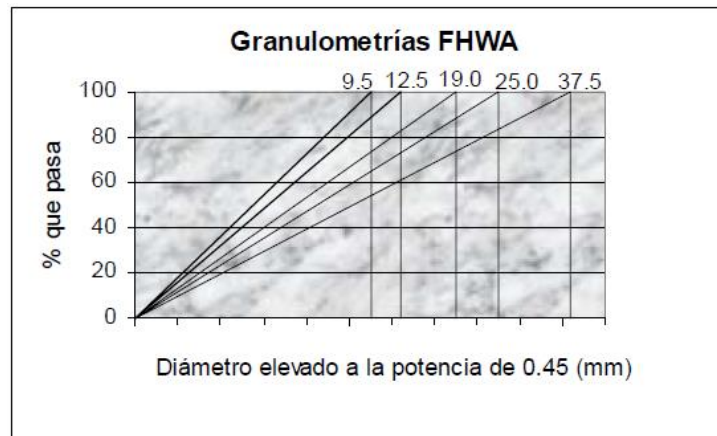
n = valor asociado a la forma de la curva

Cuando el factor de forma (n) tiene un valor de 0.45 la mezcla es capaz de alcanzar las máximas densidades cuando se compacta. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 3)

La Figura 11 permite representar la línea de máxima densificación y evita que la curva de graduación de diseño caiga encima de ella, esta es temida porque produciría valores inaceptables de vacíos en el agregado mineral VMA. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 3)

Figura 11.

Representación de granulometrías según la FHWA



Fuente: Delgado, Garnica, Villatoro y Rodríguez (2006).

Un rango transcendental pertenece a una línea recta desarrollada desde la abscisa de tamaño máximo de agregado y ordenada 100%, hasta el origen (0%, 0 mm). (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 3)

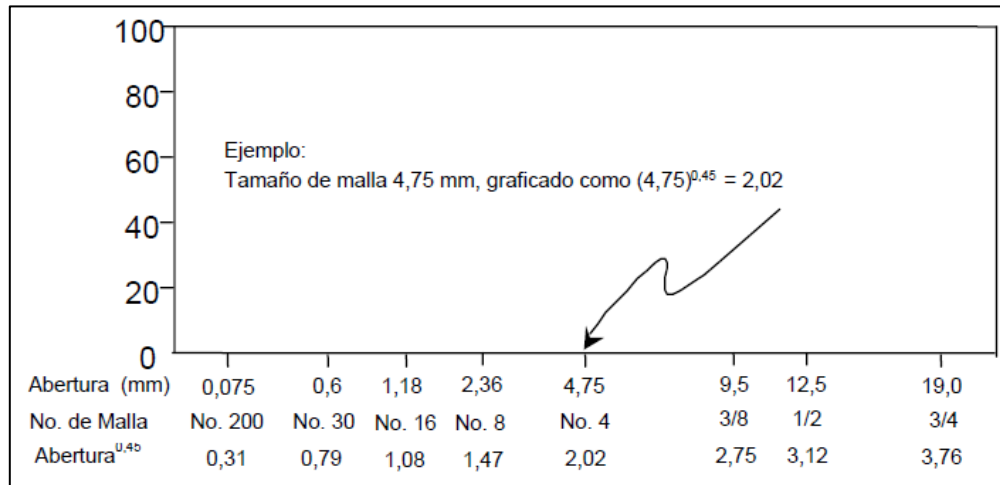
3.2.8.1.2 Importancia de la Gráfica de Fuller.

Esta técnica para valorar la incertidumbre de una granulometría supera al procedimiento tradicional de tolerancias de mallas individuales puesto que piensa en la graduación de manera integral. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 4)

La técnica gráfica es única para calificar la repartimiento de tamaños acopiados de partículas de una mezcla de agregados, en la Figura 12 se enseña cómo se deduce el valor de la abscisa. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 4)

Figura 12.

Ejemplo de grafico de las abscisas abertura^{0.45}



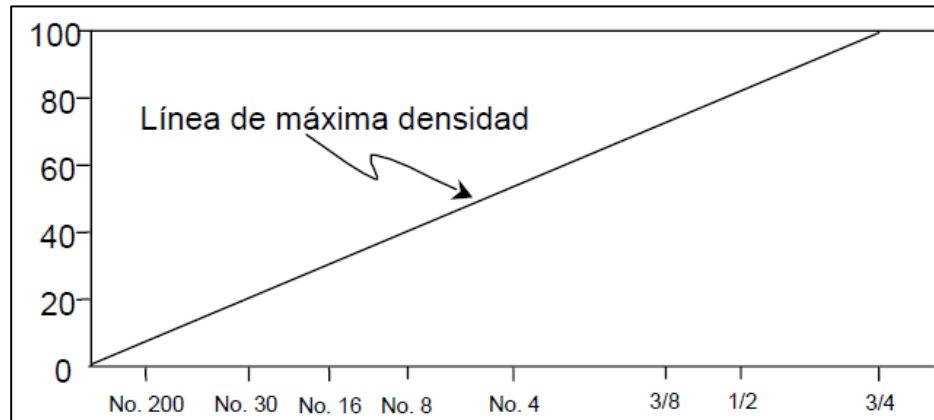
Nota. Gráfica de las abscisas, abertura del tamiz elevada al exponente 0.45. Fuente: Delgado, Garnica, Villatoro y Rodríguez (2006).

3.2.8.2 Línea de máxima densidad.

La granulometría de máxima densidad simboliza la graduación para la cual las partículas de agregado se adaptan entre ellas, consintiendo el acomodo volumétrico más tupido. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 5)

Figura 13.

Graduación de máxima densidad para tamaño máximo de 19 mm



Fuente: Delgado, Garnica, Villatoro y Rodríguez (2006).

3.2.8.3 Mecanismos de control de la granulometría.

El ajuste volumétrico de la curva granulométría del agregado fino y agregado grueso se realizará en base a la granulometría de una mixtura asfáltica, para detallar la granulometría del agregado, se manejaron dos concepciones: los puntos de control y la zona restringida.

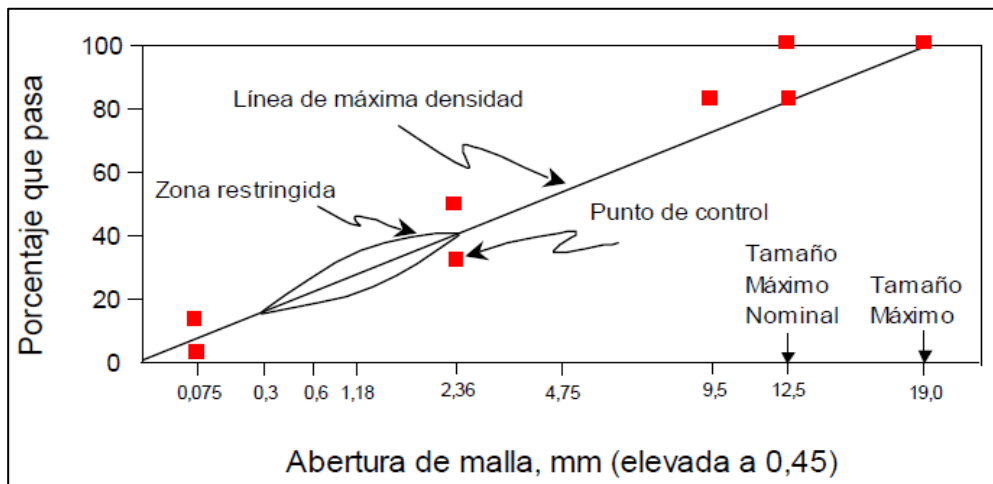
Los puntos de control son puntos de paso forzoso para la curva granulométrica e incumben al tamaño máximo nominal, un tamaño intermedio (2.36 mm) y un tamaño de finos (0.075 mm). (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 6)

La zona restringida ha sido detallada para que se desenvuelva una apropiada estructura en la mezcla. La zona restringida se sitúa entre los tamaños intermedios (4.75 o 2.36 mm) y 0.3mm. Forma una banda por la cual la curva granulométrica no

deberá pasar. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 7)

Figura 14.

Límites para las granulometrías Superpave



Nota. Ejemplo de los parámetros establecidos por Superpave. Fuente: Delgado, Garnica, Villatoro y Rodríguez (2006).

Un diseño de la estructura del agregado que pase entre los puntos de control y evada la zona de restricción, satisface los requerimientos granulométricos de Superpave. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 7)

En la Tabla 5 se presenta los detalles de puntos de control y zona restringida para los tamaños máximos nominales de agregados más habituales. (Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica, 2006, pg. 8)

Tabla 5.*Distintos tipos de requerimientos para granulometrías Superpave*

Tamiz	Tamaño máximo nominal 19.0 mm				Tamaño máximo nominal 12.5 mm				Tamaño máximo nominal 9.0 mm			
	Puntos de Control		Zona restringida		Puntos de Control		Zona restringida		Puntos de Control		Zona restringida	
			Mín.	Máx.			Mín.	Máx.			Mín.	Máx.
50												
37.5												
25		100										
19	90	100				100						
12.5					90	100				100		
9.5									90	100		
4.75												
2.36	23	49	34.6	34.6	28	58	39.1	39.1	32	67	47.2	47.2
1.18			22.3	28.3			25.6	31.6			31.6	37.6
0.6			16.7	20.7			19.1	23.1			23.5	27.5
0.3			13.7	13.7			15.5	15.5			18.7	18.7
0.15												
0.075	2	8			2	10			2	10		

Fuente: Delgado, Garnica, Villatoro y Rodríguez (2006).

3.2.9 Procedimiento para árido fino.

1. Secar al horno por 24 horas una muestra aproximada de 1500 g. previo al ensayo, a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (NTE INEN 696, 2011, pg. 3)
2. Sacar la muestra del horno, enfriarla y pesar.
3. Ordenar los tamices en forma decreciente según el tamaño de su abertura y colocar la muestra seca de árido fino en el tamiz superior. (NTE INEN 696, 2011, pg. 3)
4. Agitar los tamices (5 minutos), acabado el procedimiento dejar en reposo de 1 – 3 minutos hasta que se asienten las partículas. (NTE INEN 696, 2011, pg. 3)

5. Retirar los tamices del agitador, colocar la muestra retenida en cada tamiz en bandejas y pesar para alcanzar el peso retenido acumulado en cada tamiz. (NTE INEN 696, 2011, pg. 5)
6. Calcular los porcentajes pasantes y retenidos totales. (NTE INEN 696, 2011, pg. 5)
7. Realizar la curva granulométrica y deducir el módulo de finura mediante la sumatoria de las proporciones retenidas acumulados de material.

3.2.10 Resultados del análisis granulométrico para árido fino.

Tabla 6.

Procedencia de los agregados

Material	Procedencia
Árido Fino	Pintag
Árido Grueso	Chasqui

Elaborado por: Los autores.

Tabla 7.

Granulometría del Agregado Fino.

Peso total de la muestra (gr)						
1052.24						
Tamiz N°.	Abertura tamiz (mm)	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Retenido	% Retenido	% Que pasa	% Especificación ASTM C33

		Acumulado (gr)				Límite inferior	Límite Superior
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	5.75	5.75	0.55	99.45	100.00	100.00
Nº. 4	4.75	76.06	81.81	7.78	92.22	95.00	100.00
Nº. 8	2.36	176.69	258.50	24.57	75.43	80.00	100.00
Nº. 16	1.18	199.90	458.40	43.57	56.43	50.00	85.00
Nº. 30	0.60	159.84	618.24	58.76	41.24	25.00	60.00
Nº. 50	0.30	142.76	761.00	72.33	27.67	10.00	30.00
Nº. 100	0.15	96.95	857.95	81.55	18.45	2.00	10.00
Nº. 200	0.075	76.16	934.11	88.78	11.22		
Pasa Nº. 200	Pasa 0.075	118.00	1052.11	100.00	0.00		
Sumatoria		1052.11		Módulo de finura		2.891	

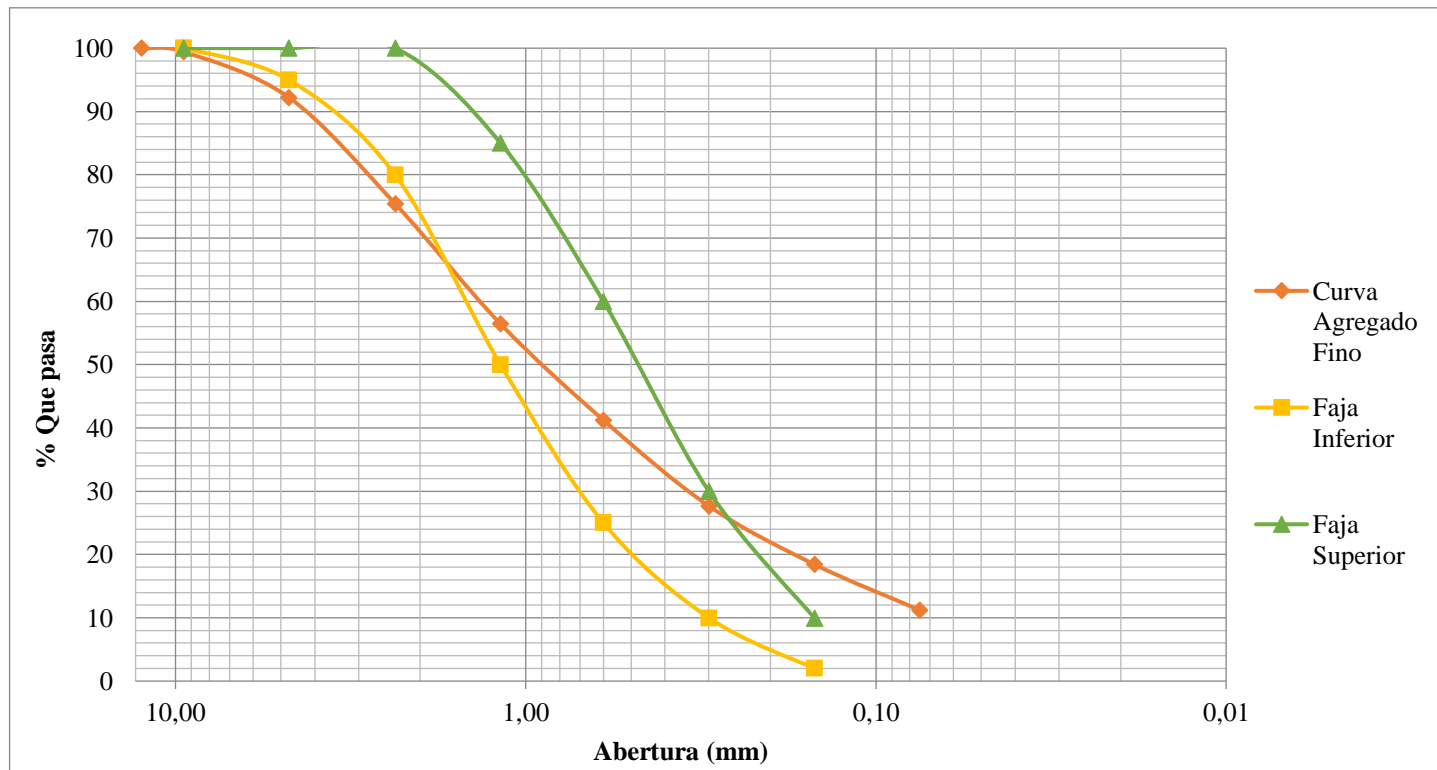
Elaborado por: Los autores.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido (No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4, } \frac{3}{8} \text{)}}{100}$$

$$MF = \frac{(81.55 + 72.33 + 58.76 + 43.57 + 24.57 + 7.78 + 0.55)}{100} = 2.891$$

Figura 15.

Curva granulométrica del Agregado Fino



Elaborado por: Los autores.

3.2.11 Resultados del análisis granulométrico en árido grueso.

Tabla 8.

Granulometría del Agregado Grueso

Tamiz N°.	Abertura tamiz (mm)	Peso Retenido Parcial (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido	% Que pasa	% Especificación ASTM C33	
						Límite inferior	Límite Superior
Peso total de la muestra (gr) 1105.8							
1/2"	12.5	0	0	0	100		
3/8"	9.5	24.62	24.62	2.24	97.76	100	100
N° 4	4.75	96	120.62	10.97	89.03	95	100
N° 8	2.36	108.85	229.47	20.87	79.13	80	100
N° 16	1.18	116.21	345.68	31.44	68.56	50	85
N° 30	0.6	132.48	478.16	43.48	56.52	25	60
N° 50	0.3	190.09	668.25	60.77	39.23	10	30
N° 100	0.15	177.83	846.08	76.94	23.06	2	10
N° 200	0.075	125.18	971.26	88.33	11.67		
Pasa N°. 200	Pasa 0.075	128.34	1099.6	100	0		
Sumatoria			1099.6	Módulo de finura		2.467	
		TM	1/2"	12.50 mm			
		TMN	3/8"	9.50 mm			
		MF	2.467				

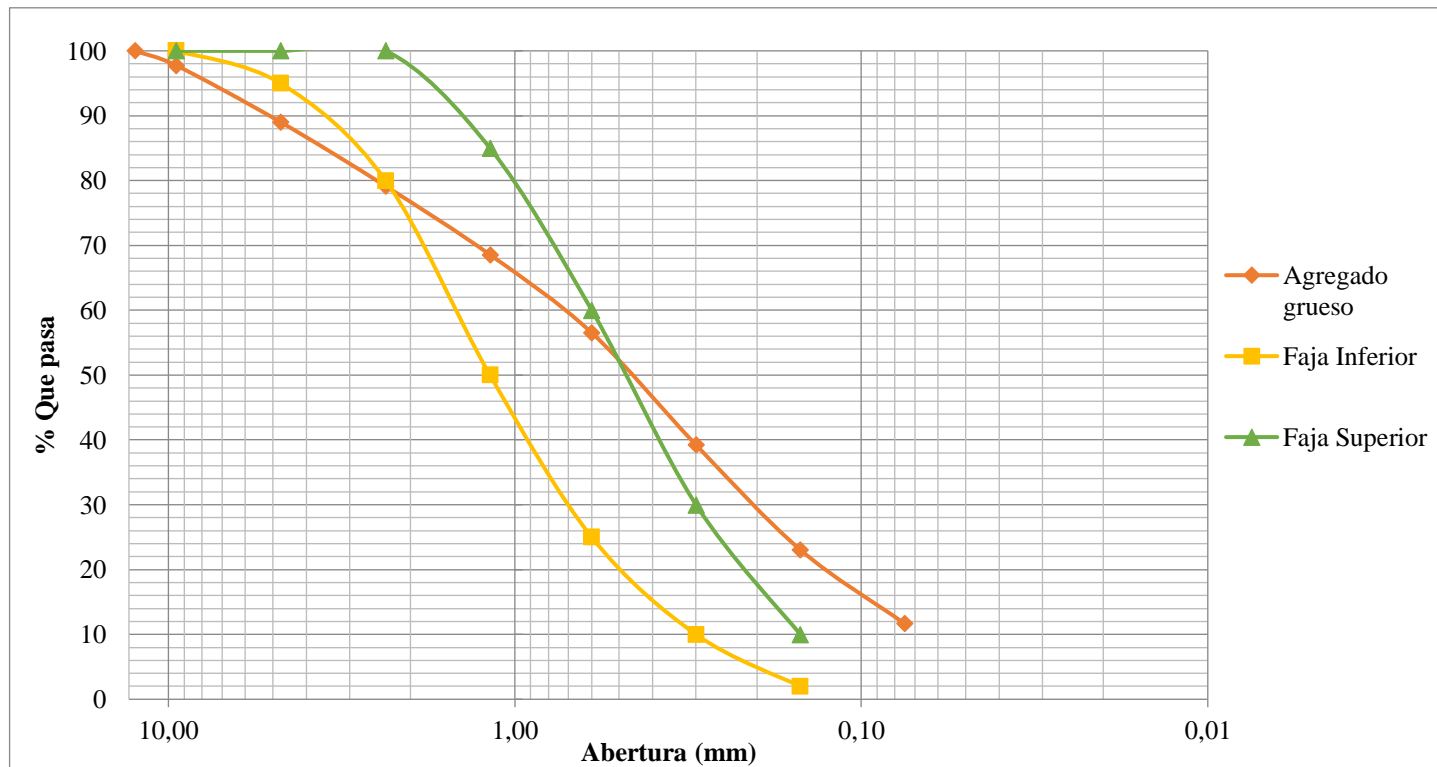
Elaborado por: Los autores.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido (No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4, } \frac{3}{8}\text{)}}{100}$$

$$MF = \frac{(76.94 + 60.77 + 43.48 + 31.44 + 20.87 + 10.97 + 2.24)}{100} = 2.467$$

Figura 16.

Curva granulométrica del Agregado Grueso



Elaborado por: Los autores.

3.2.12 Resultados del análisis granulométrico en las partículas de fibra de caucho.

Tabla 9.

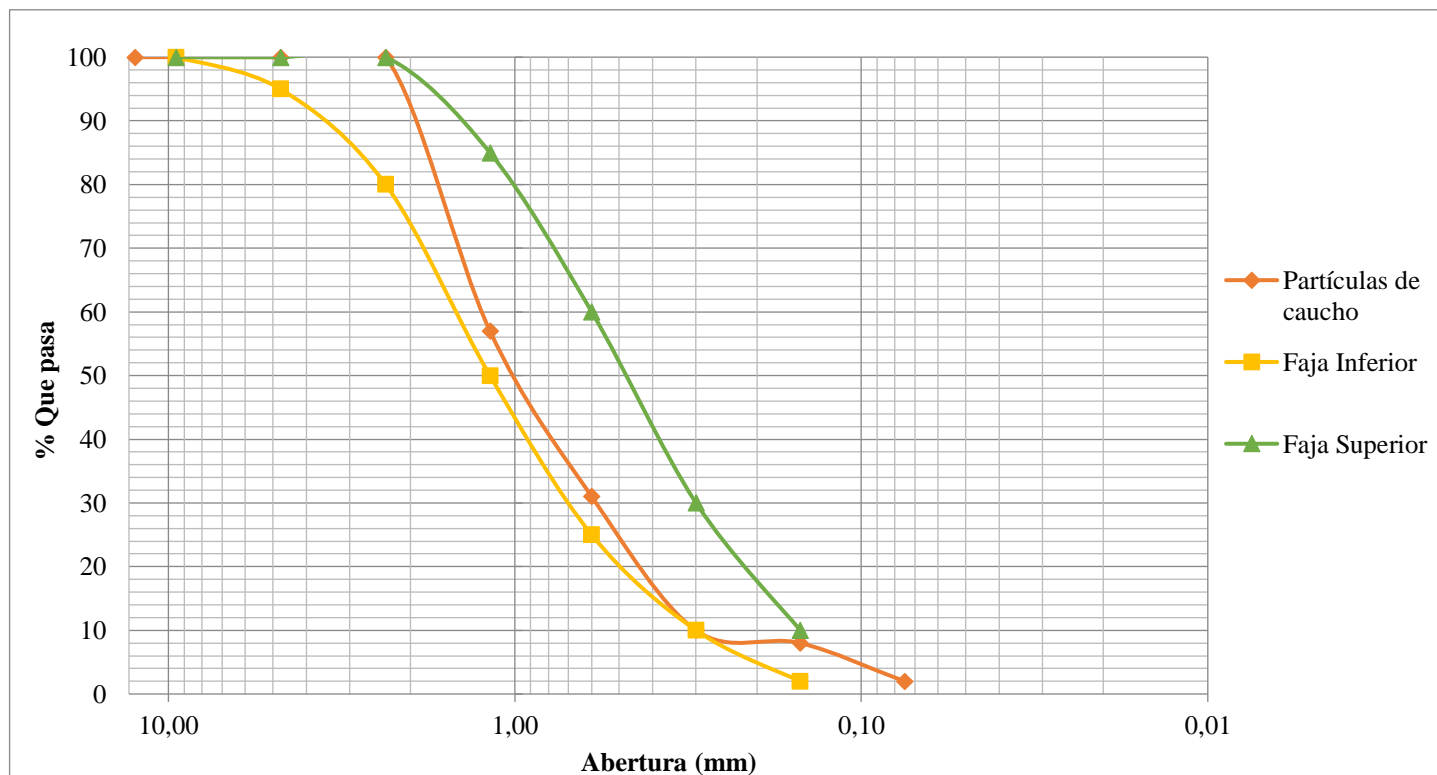
Granulometría de las partículas de fibra de caucho

Tamiz N°.	Abertura tamiz (mm)	% Retenido	% Que pasa	% Especificación ASTM C33	
				Límite inferior	Límite Superior
1/2"	12.50	0.00	100,00		
3/8"	9.50	0.00	100,00	100,00	100,00
N°. 4	4.75	0.00	100,00	95,00	100,00
N°. 8	2.36	0.00	100,00	80,00	100,00
N°. 16	1.18	43.00	57,00	50,00	85,00
N°. 30	0.60	69.00	31,00	25,00	60,00
N°. 50	0.30	90.00	10,00	10,00	30,00
N°. 100	0.15	92.00	8,00	2,00	10,00
N°. 200	0.075	98.00	2,00		

Elaborado por: Los autores.

Figura 17.

Curva granulométrica de las partículas de fibra de caucho



Elaborado por: Los autores.

3.3 *Ensayo de determinación de la densidad, peso específico (densidad relativa) para árido fino, árido grueso*

Para los agregados a utilizar es preciso determinar diligentemente el término densidad, pues ordinariamente entre sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua dependiendo de la permeabilidad que encierra. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 78)

3.3.1 Normativa referencial.

- Norma técnica ecuatoriana INEN 856:2010. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Primera revisión.
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. ASTM C128:2001. “Standard Test Method for Density, relative density (Specific Gravity), and absorption of fine aggregate”.
- NTC 237. Norma técnica colombiana NTC 237:1995. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.

3.3.2 Objetivos.

3.3.2.1 *Objetivo general.*

Establecer la densidad, peso específico y la absorción de los agregados fino y grueso.

3.3.2.2 *Objetivo específico.*

- Determinar en el árido fino y en el árido grueso, la densidad en estado seco al horno (SH), la densidad relativa en estado saturado superficialmente seco (SSS) y el porcentaje de absorción del agua.

3.3.3 Alcance.

A través un modelo de árido fino y grueso, anticipadamente homogenizada y reducida, se instaurará la densidad promedio en un modelo de árido, la densidad relativa y la absorción del árido. Y dependiendo del proceso esgrimido, la densidad es expresada como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. (NTC 237, 1976)

3.3.4 Términos y definiciones.

3.3.4.1 *Absorción.*

Ampliación de la masa del árido por el ingreso de agua en los poros de las partículas durante un determinado lapso. (NTE INEN 856, 2010, pg.1)

3.3.4.2 *Densidad.*

Grado de compacidad de una sustancia expresado en kg/m³. (NTE INEN 856, 2010, pg.1)

3.3.4.3 *Densidad (su).*

Aglomeración deseca al horno, conteniendo el volumen de los poros permeables e impermeables. (NTE INEN 856, 2010, pg.1)

3.3.4.4 Densidad (SSS).

Partículas del árido, saturado superficialmente seco, conteniendo el volumen de poros impermeables y poros permeables llenos de agua. (NTE INEN 856, 2010, pg.2)

3.3.4.5 Densidad aparente.

Masa por unidad de volumen, de la fracción impermeable de las partículas del árido. (NTE INEN 856, 2010, pg.2)

3.3.4.6 Seco al horno (SH).

Estado en la que los áridos han sido secados por calentamiento en un horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por el tiempo necesario para conseguir una masa constante. (NTE INEN 857, 2010, pg. 1)

3.3.4.7 Densidad relativa (gravedad específica).

Correlación entre la densidad de un material y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada; los valores son adimensionales. (NTE INEN 856, 2010, pg.2)

3.3.4.8 Densidad relativa (gravedad específica) (SH).

Correspondencia entre la densidad (SH) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada. (NTE INEN 856, 2010, pg.2)

3.3.4.9 Saturado superficialmente seco (SSS).

Suceso en que los poros permeables de las partículas del árido al sumergirlos se llenan con agua por una etapa de tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas. (NTE INEN 856, 2010, pg.2)

3.3.4.10 *Seco al aire (SA).*

Toda la humedad removida de la superficie, pero los poros internos parcialmente saturados. (Libia Gutiérrez, 2003)

3.3.4.11 *Húmedo (HS).*

Todos los poros completamente llenos de agua. (Libia Gutiérrez, 2003)

3.3.5 Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.

3.3.5.1 *Picnómetro.*

Instrumento regido por la técnica gravimétrica, matraz u otro contenedor apropiado, en el cual la muestra de ensayo de árido fino, pueda ser encajada fácilmente y en el cual el volumen contenido pueda ser legible dentro de $\pm 0,1 \text{ cm}^3$. (NTE INEN 856, 2010, pg.3)

Figura 18.

Picnómetro



Elaborado por: Los autores.

3.3.5.2 *Molde y compactador.*

El contenedor metálico debe poseer la forma de un cono truncado, con las siguientes dimensiones: $40\text{mm} \pm 3\text{mm}$ de diámetro interno superior, $90\text{mm} \pm 3\text{mm}$ de diámetro interno en la base y $75\text{mm} \pm 3\text{mm}$ de altura. El compactador metálico debe

tener una masa de $340\text{g} \pm 15\text{g}$ y una cara compactadora circular y plana, de $25\text{mm} \pm 3\text{mm}$ de diámetro. (NTE INEN 856, 2010, pg.3)

Figura 19.

Molde y compactador



Elaborado por: Los autores.

3.3.5.3 Bomba de vacíos.

Equipo diseñado para aspirar aire u otros gases de recipientes o cualquier otro elemento donde se necesite realizar el bombeo y reducir la presión interior hasta llegar a un valor menor a la presión atmosférica.

Figura 20.

Bomba de vacíos



Elaborado por: Los autores.

3.3.5.4 Horno.

Un horno es un dispositivo que evapora las partículas de los agregados, debe ser de dimensión adecuada, capaz de conservar una temperatura semejante a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. (NTE INEN 696, 2011, pg.2)

3.3.6 Importancia de la porosidad y de la absorción en mezclas de hormigón.

La porosidad tiene un gran papel sobre los materiales para el hormigón. Mientras más poroso es menos resistente, mientras menos agua absorba mejor es su comportamiento. (Libia Gutiérrez de López, 2003, pg. 22)

Debe tomarse en cuenta que, si el material se encuentra en circunstancias húmedas, hay que rebajar la cuantía de agua de mezclado que se incorpora y en los casos de estar absolutamente seco, o parcialmente seco, se debe acrecentar el agua de amasado, en la medida que sea necesaria, previo al diseño de la cantidad de agua necesaria para lograr la mezcla de diseño. (Libia Gutiérrez de López, 2003, pg. 23)

3.3.7 Procedimiento para árido fino.

- Situar la muestra en un receptáculo y secarla en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, dejarla que reduzca su temperatura hasta ser manipulable. (NTE INEN 856, 2010, pg.3)
- Luego cubrirla con agua, hasta lograr al menos 6% de humedad en el árido fino y dejar que repose por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, verter el exceso (NTE INEN 856, 2010, pg.3)
- Seguir el procedimiento para determinar si la humedad superficial todavía está presente en las partículas constituyentes del árido. (NTE INEN 856, 2010, pg.4)
- Desecar con sacudida invariable y tratar a intervalos frecuentes hasta que la prueba muestre que el modelo ha cogido el estado de superficie seca (SSS). (NTE INEN 856, 2010, pg.4)

3.3.7.1 *Ensayo para determinar la humedad superficial.*

- Ubicar en el molde en forma suelta, una parte del árido fino parcialmente seco, hasta llenarlo colocando material adicional en la parte superior manteniendo firme el molde con la mano. (NTE INEN 856, 2010, pg.4)
- Compactar el árido con 25 golpes ligeros del compactador. Cada caída debe iniciar aproximadamente 5 mm sobre la superficie del árido. (NTE INEN 856, 2010, pg.4)
- Mover el árido que ha caído en torno a de la base y levantar el molde verticalmente. Cuando el árido fino se desmorona ligeramente, enseña que se ha logrado la condición de superficie seca (SSS). (NTE INEN 856, 2010, pg.4)

3.3.7.2 *Procedimiento gravimétrico (picnómetro).*

- Colocar agua en el gravímetro. Acoplar 500 g \pm 10g de árido saturado superficialmente seco e agregar agua cerca del 90% de su capacidad. (NTE INEN 856, 2010, pg.4)
- Sacudir el picnómetro manualmente para excluir los burbujeos. (NTE INEN 856, 2010, pg.5)
- Conectar la bomba de vacíos en el picnómetro para descartar todos los glóbulos de aire, aproximadamente un tiempo de 30min – 60min.
- Luego de separar todos los glóbulos de aire, llenar agua hasta la marca de calibración en el picnómetro. Establecer la masa total del picnómetro, muestra y agua. (NTE INEN 856, 2010, pg.5)

- Establecer la masa del picnómetro saturado hasta la marca de calibración, con agua a $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. (NTE INEN 856, 2010, pg.5)
- En la determinación de la absorción, emplear una porción separada de $500\text{ g} \pm 10\text{ g}$ de árido fino en estado saturada superficialmente seca, secarlo hasta conseguir una masa constante y determinar su masa seca. (NTE INEN 856, 2010, pg.5)

3.3.8 Cálculos.

A = masa de la muestra seca al horno, g

B = masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g

C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g

S = masa de muestra saturada superficialmente seca, g

3.3.8.1 *Densidad relativa (gravedad específica).*

3.3.8.1.1 *Densidad relativa (gravedad específica) (SH).*

Deducir la densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición seco al horno, de la siguiente manera:

- Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SH)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

3.3.8.1.2 *Densidad relativa (gravedad específica) (SSS).*

La densidad relativa (gravedad específica) del árido en condición saturada superficialmente seca, se deduce de la siguiente manera:

- Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)(SSS)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

3.3.8.1.3 *Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente).*

Calcular la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) de la siguiente manera:

- Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

3.3.8.2 *Densidad.*

3.3.8.2.1 *Densidad (SH).*

Se determina la densidad del árido en condición seco al horno, de la siguiente manera:

- Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad (SH), kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(B + S - C)}$$

3.3.8.2.2 *Densidad (SSS).*

Determinar la densidad del árido en condición saturada superficialmente seca, de la siguiente manera:

- Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad (SSS), kg/m}^3 = \frac{997.5 S}{(B + S - C)}$$

3.3.8.2.3 *Densidad aparente.*

La densidad aparente se determina de la siguiente manera:

- Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad (SSS), kg/m}^3 = \frac{997.5 A}{(B + A - C)}$$

3.3.8.3 Absorción.

La absorción se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(S - A)}{A} * 100$$

3.3.9 Resultados de la densidad, peso específico (densidad relativa) para árido fino.

Tabla 10.

Peso específico de Agregado Fino

Peso muestra SSS (g)	B	500
Peso picnómetro (g)	2	151.470
Volumen picnómetro (cm ³)	V	499.651
Peso picnómetro + agua + muestra (g)	1	948.190
Peso muestra seca (g)	A	474.830
Peso del agua en la muestra (g)	W	296.720
(V-W) - (500-A)	X	177.761
Peso específico de masa	A/(V-W)	2.340
Peso específico de masa SSS	500/(V-W)	2.464
Peso específico aparente	A/X	2.671
% Absorción	(500-A) *100/A	5.301

Elaborado por: Los autores.

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{V - W} = \frac{474.830}{499.651 - 296.720} = 2.340$$

$$\text{Peso específico de masa SSS} = \frac{500}{V - W} = \frac{500}{499.651 - 296.720} = 2.464$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{X} = \frac{474.830}{177.761} = 2.671$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{500 - A}{A} * 100 = \frac{500 - 474.830}{474.830} * 100 = 5.301$$

3.3.10 Resultados de la densidad, peso específico (densidad relativa) para árido grueso.

Tabla 11.

Peso específico de Agregado Grueso

Peso muestra SSS (g)	B	500
Peso picnómetro (g)	2	155.360
Volumen picnómetro (cm ³)	V	499.689
Peso picnómetro + agua + muestra (g)	1	952.140
Peso muestra seca (g)	A	477.310
Peso del agua en la muestra (g)	W	296.780
(V-W) - (500-A)	X	180.219
Peso específico de masa	A/(V-W)	2.352
Peso específico de masa SSS	500/(V-W)	2.464
Peso específico aparente	A/X	2.648
% Absorción	(500-A) *100/A	4.754

Elaborado por: Los autores.

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{V - W} = \frac{477.310}{499.689 - 296.780} = 2.352$$

$$\text{Peso específico de masa SSS} = \frac{500}{V - W} = \frac{500}{499.689 - 296.780} = 2.464$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{X} = \frac{477.310}{180.219} = 2.648$$

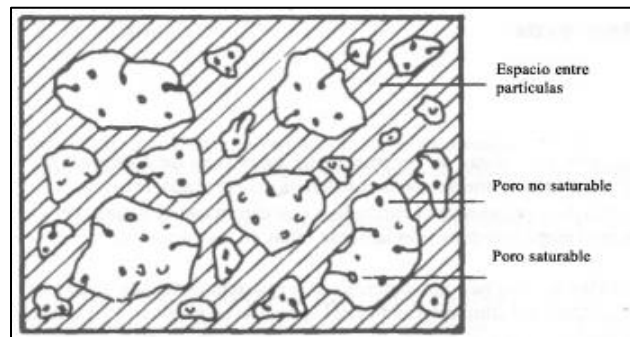
$$\% \text{ Absorción} = \frac{500 - A}{A} * 100 = \frac{500 - 477.310}{477.310} * 100 = 4.754$$

3.4 Ensayo de determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos

Habitualmente ese deduce en condiciones secas, en donde ordinariamente el receptáculo posee un cuerpo apropiado para el tamaño máximo de las partículas, y el colmado se hace en capas, consolidando cada capa con un varillado. El peso volumétrico se puede representar con la figura 20, donde esquemáticamente se muestra que en el volumen del recipiente quedan contenidas las partículas de agregado, los poros o vacíos de las propias partículas y los espacios entre las partículas. (Gómez Domínguez, 2000, pg.70)

Figura 21.

Esquemización del peso volumétrico de los agregados



Fuente: Gutiérrez de López, (2003), pg.71.

3.4.1 Normativa referencial.

- Norma técnica ecuatoriana INEN 858:2010. Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Primera revisión.
- Asociación Americana de Ensayo de Materiales. ASTM C29:2003. “Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and voids in aggregate”.

3.4.2 Objetivos.

3.4.2.1 Objetivo general.

Determinar el peso volumétrico del árido, en condición compactada y suelta; y calcular los vacíos entre las partículas de los áridos fino, grueso.

3.4.2.2 Objetivo específico.

- Determinar el peso unitario suelto y compactado de los áridos mediante el proceso de varillado y paladas.

3.4.3 Alcance.

A través de una ejemplar de árido fino y grueso, se establecerá la correlación existente entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. (NTE INEN 858, 2010, pg. 1)

3.4.4 Términos y definiciones.

3.4.4.1 Masa unitaria. (peso volumétrico) del árido.

Masa de una unidad de volumen proporcionado al árido total, en el cual contiene el volumen de las partículas características y el volumen de los vacíos entre las partículas. Expresada en kg/m³. (NTE INEN 858, 2010, pg. 1)

3.4.4.2 Vacíos, en volumen unitario de árido.

Plaza entre las partículas de una masa de árido, no ocupado por la materia mineral sólida. (NTE INEN 858, 2010, pg. 1)

3.4.4.3 Masa unitaria suelta.

Distribución del agregado intrínsecamente en el recipiente por consecuencia de la gravedad, desde una altura de caída. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 81)

3.4.4.4 Masa unitaria compacta.

Distribución del agregado en capuces, subsiguientemente tupidas por bastonazos de una barra metálica. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 81)

3.4.5 Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.

3.4.5.1 Varilla de compactación.

Debe ser recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, poseyendo el extremo de compactación o los dos extremos redondeados con punta semiesférica, cuyo diámetro es de 16mm. (NTE INEN 858, 2010, pg. 2)

3.4.5.2 Molde.

Receptáculo tubular de metal, preferible provisto de asas. Aislado, con la parte superior y el fondo, rectos y uniformes. La capacidad del molde debe cumplir con los límites indicados en la tabla 12, de acuerdo con el tamaño del árido a ser ensayado. El grosor del metal en el molde debe cumplir con lo que se narra en la tabla 13. (NTE INEN 858, 2010, pg. 2)

Figura 22.

Molde y varilla de compactación



Elaborado por: Los autores.

Tabla 12.

Capacidad de los moldes para el ensayo de compactación

Tamaño máximo nominal del árido mm	Capacidad nominal del molde m3 (litros)
12,5	0,0028 (2,8)
25,0	0,0093 (9,3)
37,5	0,014 (14)
75,0	0,028 (28)
100,0	0,070 (70)
125,0	0,100 (100)

Fuente: NTE INEN 858, pg. 2.

Tabla 13.

Requisitos para los moldes

Capacidad del molde	Espesor mínimo del metal		
	Fondo	38 mm superiores de la pared	Resto de la pared
Menor que 11 (litros)	5,0 mm	2,5 mm	2,5 mm
De 11 litros a 42 litros incluido	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
Sobre 42 litros a 80 litros incluido	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
Sobre 80 litros a 133 litros incluido	13,0 mm	7,6 mm	5,0 mm

Fuente: NTE INEN 858, pg. 3.

3.4.6 Expansión o abultamiento.

Cohabita una anomalía que puede perturbar los volúmenes de material durante el envío y acopio de la arena, acreditado como expansión. Reside en un acrecentamiento de volumen para determinada masa de arena, producido por la presión del agua entre partícula y partícula, cuando se encuentra húmeda, o sea con agua libre en la superficie. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 81)

3.4.7 Procedimiento para árido fino.

La dimensión del ejemplar debe ser de cerca de 125% a 200% en relación de la cuantía necesaria para llenar el molde y debe ser manejada de tal manera que se evite la segregación. (NTE INEN 858, 2010, pg. 4)

3.4.7.1 Procedimiento por varillado.

- Llenar el molde en tres capas y cada una compactar con 25 golpes con la varilla distribuidos. (NTE INEN 858, 2010, pg. 4)
- Alisar la superficie del árido hasta que se equilibren aproximadamente los vacíos mayores en la superficie, por debajo de la parte superior del molde. (NTE INEN 858, 2010, pg. 4)
- Establecer la masa del molde y la masa del molde con su contenido, registrar datos. Repetir 3 veces como mínimo. (NTE INEN 858, 2010, pg. 4)

3.4.8 Cálculos.

3.4.8.1 Masa unitaria (peso volumétrico).

El peso volumétrico será deducido de la siguiente manera:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m³

G = masa del árido más el molde, kg

T = masa del molde, kg

V = volumen del molde, m³

3.4.8.2 Masa unitaria (peso volumétrico) en condición saturada superficialmente seca (SSS).

Determinar el peso volumétrico SSS aplicando la siguiente fórmula:

$$M_{SSS} = M * \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right]$$

Donde:

M_{SSS} = masa unitaria (peso volumétrico) en condición SSS, kg/m³

A = % de absorción, determinado de acuerdo con la NTE INEN 856.

3.4.8.3 Contenido de vacíos.

Deducir el contenido de vacíos en el árido utilizando la masa unitario explícita mediante los procedimientos de varillado, de la siguiente manera:

$$\text{Vacíos, \%} = \frac{[(S * M) - Da] * 100}{(S * Da)}$$

Donde:

M = masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m³

S = gravedad específica (en condición seca), determinada de acuerdo con la NTE INEN

856.

Da = densidad del agua, 998 kg/m³.

3.4.9 Resultados de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos.

Tabla 14.

Peso unitario suelto y varillado de los agregados

Material	Agregado grueso		Agregado fino	
	Suelto	Varillado	Suelto	Varillado
Metodología de ensayo				
Peso muestra + molde 1 (kg)	9320.000	9780.000	9410.000	9770.000
Peso muestra + molde 2 (kg)	9400.000	9720.000	9470.000	9820.000
Peso muestra + molde 3 (kg)	9450.000	9770.000	9450.000	9780.000
Peso molde (kg)	6376.000	6376.000	6376.000	6376.000
Volumen molde (dm ³)	2112.000	2112.000	2112.000	2112.000
Peso unitario 1 (kg/m ³)	1393.939	1611.742	1436.553	1607.008
Peso unitario 2 (kg/m ³)	1431.818	1583.333	1464.962	1630.682
Peso unitario 3 (kg/m ³)	1455.492	1607.008	1455.492	1611.742
Peso unitario promedio (kg/m ³)	1427.083	1600.694	1452.336	1616.477

Elaborado por: Los autores.

$$Peso\ unitario\ 1\ ags = \frac{(Peso\ muestra + molde\ 1) - Peso\ molde\ [kg]}{Volumen\ molde\ [dm^3]}$$

$$Peso\ unitario\ 1\ ags = \frac{9320.000 - 6376.000}{\frac{2112.000}{1000}} = 1393.939 \frac{kg}{m^3}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso unitario promedio ags} &= \frac{1393.939 + 1431.818 + 1455.492}{3} \\ &= 1427.083 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

3.5 Ensayo de determinación del valor de la degradación del árido grueso en partículas menores a 37,5 mm

La prueba de Los Ángeles es una medida de la degradación de agregados minerales, consecuencia de una mezcla de acciones, conteniendo abrasión o atrición, impacto, y pulimento en un tambor de acero giratorio que contiene un número específico de esferas de acero, dependiendo este número de la gradación de la muestra de ensayo. Mientras gira el tambor, una placa acopia la muestra y las esferas de acero, trasladándolas alrededor hasta que caen al lado opuesto del tambor creando un efecto de impacto – trituración. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 82)

3.5.1 Normativa referencial.

- Norma técnica ecuatoriana INEN 860:2010. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. Primera edición.

3.5.2 Objetivos.

3.5.2.1 Objetivo general.

Determinar la resistencia al desgaste o valor de degradación de los agregados gruesos para tamaños menores a 37,5mm, mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de los Ángeles. (NTE INEN 860, 2011, pg. 1)

3.5.2.2 Objetivo específico.

- Determinar el tamaño máximo nominal de muestra, mediante datos granulométricos.
- Determinar el número de esferas en función de la gradación normalizada.
- Determinar el porcentaje de degradación del árido grueso.

3.5.3 Alcance.

A través de la máquina de Los Ángeles, establecer la merma de masa de los agregados minerales con gradación normalizada. La abrasión en el árido grueso será procedente del impacto y la molienda en el tambor giratorio de acero que contendrá un número especificado de esferas de acero. (NTC 98, 2006)

3.5.4 Términos y definiciones.

3.5.4.1 Abrasión.

Esta se produce por fluidos en movimiento que están en contacto con estructuras de concreto, instaurando fricción, cavitación y desgaste sobre la superficie de este. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 141)

3.5.4.2 Grava triturada.

Consecuencia de la machacamiento artificial de grava luego de la cual todos los recortes tienen al menos una cara como secuela de la fisura. (NTE INEN 860, 2010, pg.4)

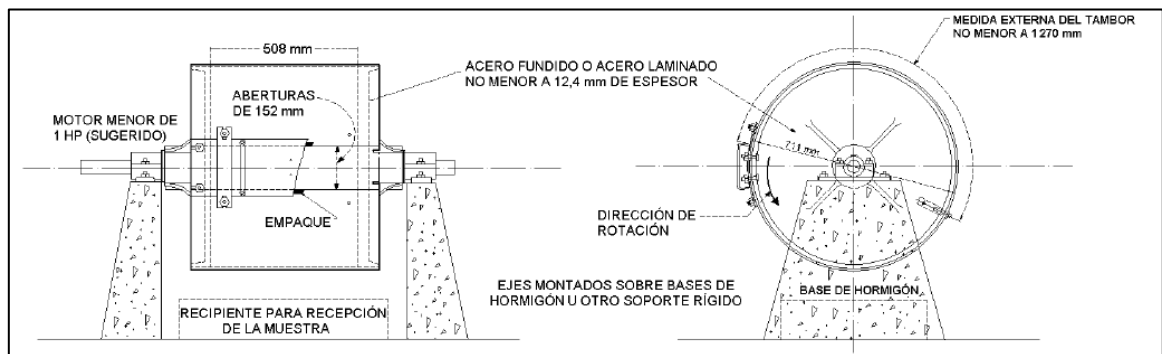
3.5.5 Terminología y definiciones de herramientas y equipo de laboratorio.

3.5.5.1 Máquina de los ángeles.

La máquina conformada por un cilindro de acero hueco, con espesor de pared no menor que 12,4 mm, cerrado en ambos extremos, que tenga diámetro interno de 711 mm \pm 5 mm y longitud interna de 508 mm \pm 5 mm. La superficie interior del cilindro debe estar libre de protuberancias que impidan la trayectoria de la muestra y de las esferas de acero. (NTE INEN 860, 2010, pg.2)

Figura 23.

Máquina de Los Ángeles



Fuente: INEN 860 (2011).

3.5.5.2 Carga.

Radica en esferas de acero que intermedien aproximadamente 47 mm de diámetro y una masa de entre 390g y 445g. (NTE INEN 860, 2010, pg.3)

Tabla 15.

Requisitos para los moldes

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: NTE INEN 858, pg. 3.

3.5.6 Resistencia del árido.

El agregado grueso, en mayor disposición que el fino, va a resultar relacionado con la conducta de las resistencias del concreto, por su aporte en tamaños de grano dentro de la masa de la mezcla. Una de las posibilidades de ruptura de la masa es por medio del agregado grueso (las otras son por la pasta y por la interfase de contacto entre pasta y agregado). Por lo que la resistencia de los agregados cobra importancia y se debe buscar que nunca falle antes que la pasta de cemento endurezca. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 82)

3.5.7 Dureza del árido.

Propiedad cuya dependencia se relaciona con la naturaleza mineralógica, la estructura y la procedencia del agregado. En la creación de concretos sometidos a altas tasas de deterioro por abrasión, como aplicaciones en pavimentos o revestimientos de

canales, la dureza del agregado grueso es una propiedad decisiva para la selección de los materiales. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 82)

3.5.8 Procedimiento para árido grueso.

- Para establecer la masa de ensayo, se encomienda concebir los datos del análisis granulométrico y según los valores más característicos en los tamices: 1½”, 1”, ¾”, ½”, ⅜”, ¼”, N°4, N°8, seleccionar el tipo de gradación (A, B, C, D). (NTE INEN 860, 2011, pg. 3)

Tabla 16.

Gradación de las muestras de ensayo según el TMN

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25	1250 ± 25	---	---	---
25	19	1250 ± 25	---	---	---
19	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: NTE INEN 860, pg. 4.

- Ubicar la muestra y la carga para el ensayo en la máquina de Los Ángeles, girar la máquina 500 revoluciones a una velocidad entre 30 r/min y 33 r/min.

- Posteriormente del número prescrito de revueltas, aligerar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra sobre un tamiz de mayor abertura que el de 1,70 mm.
- Tamizar la porción fina por el tamiz de 1,70 mm y secarlo al horno a 110 °C ± 5 °C hasta obtener masa prácticamente constante y determinar la masa con aproximación de 1 g.

3.5.9 Cálculos.

El valor de la degradación es la pérdida de masa expresada en porcentaje respecto a la masa inicial (NTE INEN 860, 2010, pg.4):

$$D = \frac{B - C}{B} * 100$$

Donde:

D = valor de la degradación, en porcentaje

B = masa inicial de la muestra de ensayo

C = masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70 mm, después del ensayo.

3.5.10 Resultados del valor de la degradación del árido grueso en partículas menores a 37,5 mm.

Tabla 17.

Valor de degradación del Agregado Grueso

Graduación de la muestra	D	Peso inicial (F)	5000
N° de esferas	6	Peso retenido en la malla N° 12 (G)	3400
T máx.	1/2"	Peso pasa malla N°12 (H)	1110
	% Abrasión		22.2

Elaborado por: Los autores.

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{\text{Peso pasa malla N}^\circ 12 * 100}{\text{Peso inicial}} = \frac{1110 * 100}{5000} = 22.2\%$$

3.6 Ensayo de determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigones

El elemento orgánico es una sustancia que afecta notablemente al concreto, fundamentalmente en las reacciones químicas de hidratación durante el fraguado, proviene de la descomposición de material vegetal, como hojas, tallos y ralees y se manifiesta en forma de humus. Este humus, en cierta cantidad, puede impedir parcial o totalmente el fraguado del cemento. (Sánchez de Guzmán, 2001, pg.101)

3.6.1 Normativa referencial.

- Norma técnica ecuatoriana INEN 855:2010. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. Primera edición.

3.6.2 Objetivos.

3.6.2.1 Objetivo general.

Determinar la presencia de materia orgánica en el agregado fino usado en la elaboración de concreto.

3.6.2.2 Objetivo específico.

Verificar el color final de la muestra que reposa en la botella de vidrio para determinar la aceptabilidad del árido fino con respecto al colorímetro establecido en la norma ASTM C40.

3.6.3 Alcance.

Una cuantía de árido fino y añadiendo la solución de hidróxido de sodio se va a descubrir la presencia de materia orgánica. Para luego manejar un comparador de colores normalizados como reseña el cual mostrará si la muestra excede o no las cuantías permitidas de materia orgánica.

3.6.3.1 Botella de vidrio.

Contenedor decolorado, con un aforo nominal alrededor de 240 cm³ a 470 cm³, provistas con tapones o tapas herméticas. (NTE INEN 855, 2010, pg.1)

3.6.3.2 Solución de hidróxido de sodio (1%) como reactivo.

Es un reactivo el cual se debe disolver 3 partes en masa de hidróxido de sodio grado reactivo (NaOH) en 97 partes de agua. (NTE INEN 855, 2010, pg.2)

3.6.3.3 Colorímetro.

Es un utensilio comparador de colores normalizados el cual está compuesto por cinco vidrios de color normalizados, montado en un soporte de plástico. (NTE INEN 855, 2010, pg.2)

Figura 24.

Colorímetro.



Fuente: ASTM C40 (2018).

3.6.3.4 Solución de color normalizado.

Diluir dicromato de potasio grado reactivo ($K_2Cr_2O_7$) en ácido sulfúrico concentrado, a razón de 0,250 g en 100 cm³ de ácido. Al realizar la comparación de color, la solución debe ser recién elaborada (utilizar una fuente de calor de baja intensidad). (NTE INEN 855, 2010, pg.2)

3.6.4 Índices de calidad.

Para precisar con mejor exactitud el color del líquido que sobrenada la muestra de prueba, corresponden manejar cinco vidrios de color normalizado, con los siguientes colores: (NTE INEN 855, 2010, pg.2)

Tabla 18.

Colores normalizados en escala de Gardner

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

Fuente: NTE INEN 855, pg. 3.

3.6.5 Procedimiento para árido fino.

- Tomar una cantidad de aproximadamente 300gr del agregado fino y pesarla, también pesar cerca de 6gr. de hidróxido de sodio granulado y disolverlo con 144gr de

agua, hasta que el volumen ocupado por la botella de vidrio tenga aproximadamente 150gr de una solución de hidróxido de sodio. (NTE INEN 855, 2010, pg.2)

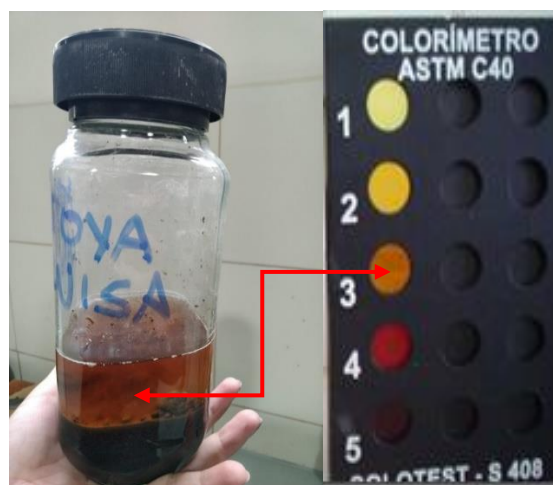
- Dispersar el ejemplar de árido fino en el envase, agitar enérgicamente y dejar descansar durante 24 horas. (NTE INEN 855, 2010, pg.2)
- Registrar si el color del líquido que sobrenada es: más claro, igual o más oscuro que el color estándar del colorímetro con “Escala Gardner”. (NTE INEN 855, 2010, pg.3)

3.6.6 Resultados de la determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigones.

Una vez realizado el ensayo se constató que el contenido de impurezas orgánicas corresponde al número 3 (normalizado de referencia) en el Colorímetro establecido en la norma ASTM C40, indicando que el agregado fino tiene una cantidad aceptable de materia orgánica.

Figura 25.

Resultados de ensayo de colorimetría.



Elaborado por: Los autores.

3.7 *Ensayo de determinación del contenido total de humedad para árido fino y árido grueso*

Es la cuantía general de agua que contiene la muestra de agregado al momento de efectuar la valoración de su masa, para dosificar la mezcla de concreto, puede estar formada por la suma del agua superficial y la absorbida. (Agregados – Contenido de agua por secado. Método de prueba, 2010, pg. 2)

3.7.1 Normativa referencial.

- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 862:2011 Áridos para hormigón, determinación del contenido total de humedad.

3.7.2 Objetivos.

3.7.2.1 *Objetivo general.*

Comprobar el proporción de humedad en un modelo de áridos, tanto el correspondiente a la humedad superficial, como la humedad contenida en los poros de los áridos.

3.7.2.2 *Objetivo específico.*

Comprobar la cuantía de agua desvanecida en el agregado fino y grueso y expresarla en porcentaje.

3.7.3 Alcance.

Mediante una muestra de masa regulada en estado natural secada en horno se excluirá la humedad tanto superficial como aquella situada entre los poros del árido,

el procedimiento mide del modo más confiable la humedad que existe en la muestra de ensayo, pero no establece las variaciones que puedan presentarse en un depósito. (NTC 1776, 1994)

3.7.4 Términos y definiciones.

3.7.4.1 Masa constante.

La significación de masa constante reside en establecer una masa mediante sucesivas pesadas, separando agua e impurezas mediante secado, hasta una diferencia entre pesadas llegue a ser lo menor posible como para indicar que el peso del material no variará ya que se eliminó todo lo deseado. (NTE INEN 862, 2011, pg.1)

3.7.5 Procedimiento para árido fino.

- Tomar una muestra de árido fino y árido grueso en estado natural. (NTE INEN 862, 2011, pg.2)
- Desecar la muestra por calentamiento por 24 ± 4 h, impidiendo el sobrecalentamiento, calcinación o cualquier otra alteración de las partículas de agregado durante los procesos de secado. (NTE INEN 862, 2011, pg.2)
- Recolectar sucesivas lecturas para asegurarse que la muestra ha sido secada suficientemente. (NTE INEN 862, 2011, pg.3)
- Establecer la masa de la muestra seca con una precisión del 0,1% y registrar los datos. (NTE INEN 862, 2011, pg.3)

3.7.6 Cálculos.

Deducir el contenido total de humedad evaporable de la siguiente manera:

(NTE INEN 862, 2011, pg.3)

$$P = \frac{(W - D)}{D} * 100$$

Donde:

P = contenido total de humedad evaporable de la muestra, porcentaje

W = masa de la muestra original, g

D = masa de la muestra seca, g.

3.7.7 Resultados del contenido total de humedad para árido fino y árido grueso.

Tabla 19.

Contenido de humedad en los agregados

Material	Capsula N°	Masa Capsula + Suelo Húmedo	Masa Capsula + Suelo Seco	Masa Cápsula	% Humedad	Promedio
Agregado grueso	P	1080.53	1004.32	190.50	9.36	9.25
	7	1145.73	1066.08	193.29	9.13	
Agregado fino	F2	1791.49	1652.62	225.86	9.73	9.71
	D	1781.85	1644.83	229.97	9.68	

Elaborado por: Los autores.

$$P = \frac{(1080.53 - 190.50) - (1004.32 - 190.50)}{(1004.32 - 190.50)} * 100 = 9.36\%$$

$$P \text{ promedio} = \frac{9.36 + 9.13}{2} = 9.25\%$$

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA MEZCLA POR ACI-211.1

El objetivo que se busca en el diseño de las mezclas de concreto es establecer la mixtura más práctica y económica de materiales aprovechables para originar un concreto que cumpla exigencias y escenarios particulares de uso. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 183)

El coste de la producción de una mezcla de concreto está constituido fundamentalmente por el coste de los materiales, equipo y mano de obra. (Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas, Tomo 1, 2010, pg. 184)

4.1 *Resumen de caracterización de los materiales*

Tabla 20.

Resumen de caracterización de los materiales

Parámetros	Materiales	
	Agregado grueso	Agregado fino
Contenido de humedad (%)	9.25	9.71
Peso unitario suelto PUS (kg/m ³)	1427.00	1452.00
Peso unitario compactado PUC (kg/m ³)	1601.00	1616.00
Peso específico SSS (kg/m ³)	2464.00	2464.00
% Absorción	4.75	5.30
% Abrasión	22.20	--
Contenido orgánico	--	3

Elaborado por: Los autores.

4.2 *Determinación del asentamiento*

En la presente investigación se adoptó una consistencia Seca y un grado de trabajabilidad pequeño para la mezcla de adoquines, ya que no es un hormigón normal con

un grado de trabajabilidad alto, por lo tanto, el asentamiento debe estar entre 2 – 3.5 cm; en este caso el asentamiento recomendado es 2 cm.

Tabla 21.

Estimación del asentamiento de la mezcla

Asentamiento cm	Consistencia Tipo de concreto	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
0 - 2.0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaleta
2.0 - 3.5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3.5 - 5.0	Semi - seca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales
5.0 - 10.0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10.0 - 15.0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración.

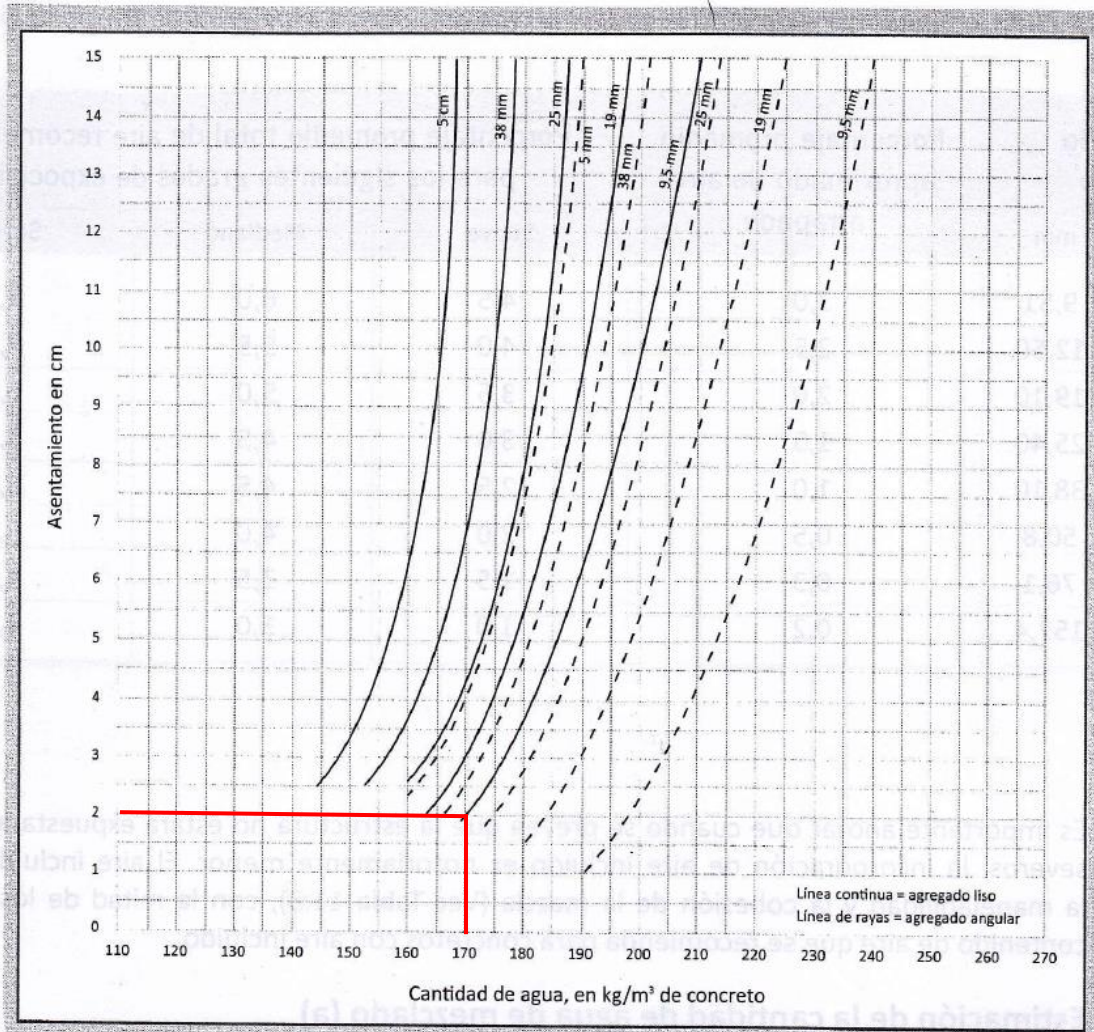
Fuente: Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas (2010).

4.3 Estimación de la cantidad de agua de mezclado (a)

De acuerdo con el TMN = 9.50 mm, un asentamiento de 2 cm y un agregado liso la cuantía de agua de mezclado es 170 kg/m³, en la mezcla se usó agua potable.

Figura 26.

Requerimientos de agua de mezclado



Fuente: Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas (2010).

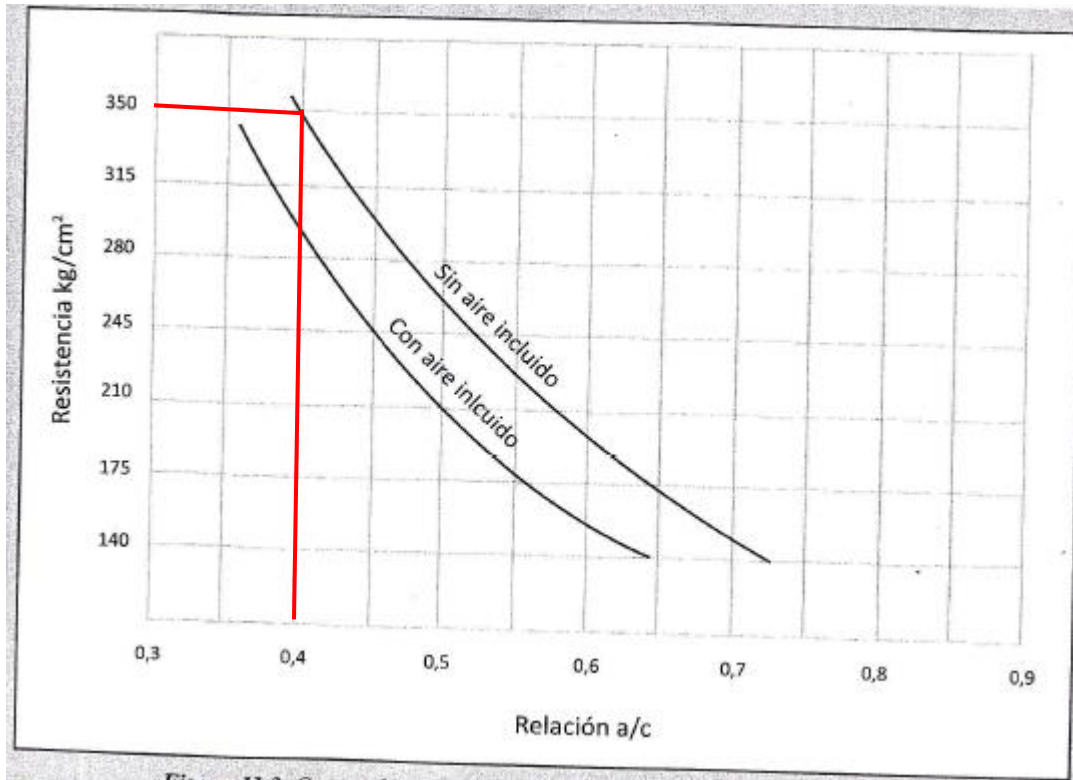
4.4 Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Previo a la determinación de la relación agua/cemento (a/c) debemos saber cuál es la resistencia a la compresión para la cual se va a diseñar, en este proyecto se tomará un $f'c$

= 35 MPa = 350 kg/cm² y un hormigón sin inclusión de aire, con lo cual la relación a/c es 0.4.

Figura 27.

Curvas de resistencia a la compresión vs. Relación agua/cemento



Fuente: Tecnología del Concreto. - Materiales, Propiedades y Diseño de mezclas (2010).

4.5 Cálculo del contenido de cemento

Una vez obtenida la relación agua/cemento (a/c) y la cantidad de agua de mezclado, usamos la siguiente ecuación para establecer la cuantía de cemento a usar en la mezcla.

$$C = \frac{a}{a/c}$$

$$C = \frac{170 \text{ kg/m}^3}{0.4} = 425 \text{ kg/m}^3$$

En la producción de los adoquines se manejó Cemento Portland tipo I con una densidad de 3,10 g/m³ (3100 kg/m³), entonces el volumen de cemento será:

$$V_c = \frac{425 \text{ kg/m}^3}{3100 \text{ kg/m}^3} = 0.137 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

4.6 Estimación del contenido de agregado grueso

En el numeral 4.6.1 se puede observar que se realizó una mezcla de agregados de 0.45% de agregado grueso y 0.55% de agregado fino para obtener una curva de agregados que no pase por la zona restringida establecida por Superpave para un TMN = 9.0 mm.

$$V_{ag} = 0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$M_{ag} = \text{Peso unitario compactado PUC (kg/m}^3) * V_{ag} (\text{m}^3/\text{m}^3)$$

$$M_{ag} = 1601.00 \text{ kg/m}^3 * 0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3 = 720.45 \text{ kg/m}^3$$

4.6.1 Mezcla de agregados por graduación de Superpave (línea de máxima densificación).

Tabla 22.

Granulometría Superpave TMN = 9.0 mm

Tamiz N°.	Abertura tamiz (mm)	Abertura ^0.45	% Que pasa	Puntos de Control	TMN=9.0 mm Zona restringida		0.45	0.55	% Que pasa mezcla	
					Mínimo	Máximo	% Que pasa árido grueso	% Que pasa árido fino		
1/2"	12.50	3.12	96.88	100.00			100.00	100.00	100.00	
3/8"	9.50	2.75	97.25	90.00	100.00		97.76	99.45	98.69	
N°. 4	4.75	2.02	97.98				89.03	92.22	90.79	
N°. 8	2.36	1.47	98.53	32.00	67.00	47.20	47.20	79.13	75.43	77.10
N°. 16	1.18	1.08	98.92			31.60	37.60	68.56	56.43	61.89
N°. 30	0.60	0.79	99.21			23.50	27.50	56.52	41.24	48.11
N°. 50	0.30	0.58	99.42			18.70	18.70	39.23	27.67	32.87
N°. 100	0.15	0.43	99.57					23.06	18.45	20.52
N°. 200	0.075	0.31	99.69	2.00	10.00			11.67	11.22	11.42

Elaborado por: Los autores.

Tabla 23.

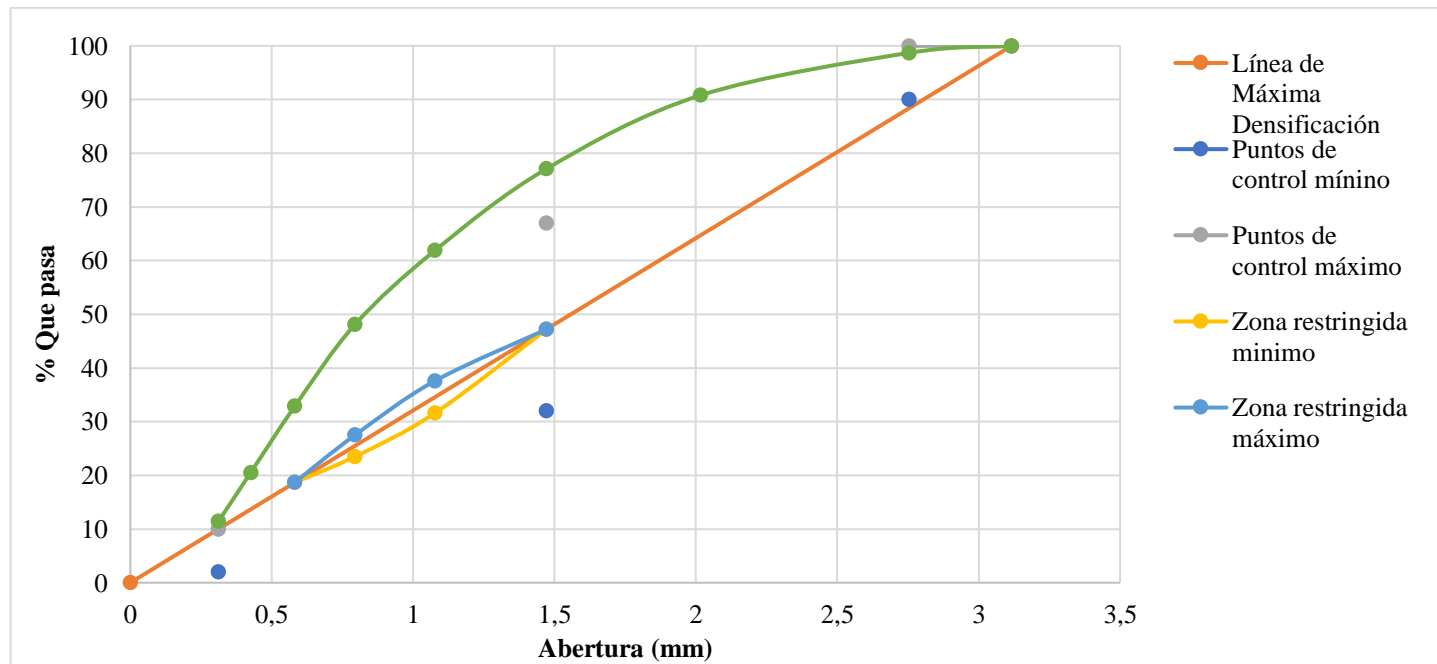
Línea de Máxima Densificación

Tamaño máximo (mm)	% Que pasa
0	0
3.12	100

Elaborado por: Los autores.

Figura 28.

Gráfica granulométrica Superpave para un tamaño máximo nominal de 9.0 mm (usando el exponente de 0.45).



Elaborado por: Los autores.

4.7 Determinación de volúmenes reales

$$\text{Volumen real (m}^3\text{)} = \frac{\text{Masa (kg/m}^3\text{)}}{\text{Peso específico SSS (kg/m}^3\text{)}}$$

Tabla 24.

Volúmenes reales de los materiales

Material	Masa (kg/m ³)	Volumen real (m ³)
Agua	170.00	0.1700
Cemento	425.00	0.1371
Agregado grueso	720.45	0.2924
Aire		0.0100
Volumen de los sólidos (m ³)		0.6095

Elaborado por: Los autores.

4.8 Estimación del contenido de agregado fino

$$V_{af} = 1 \text{ m}^3 - \text{Volumen de los sólidos (m}^3\text{)}$$

$$V_{af} = 1 \text{ m}^3 - 0.6095 \text{ m}^3 = 0.3905 \text{ m}^3$$

$$M_{af} = \text{Peso específico SSS (kg/m}^3\text{)} * V_{af} \text{ (m}^3\text{)}$$

$$M_{af} = 2464.00 \text{ kg/m}^3 * 0.3905 \text{ m}^3 = 962.22 \text{ kg/m}^3$$

4.9 Corrección por humedad y absorción de los agregados

$$\text{Masa (kg/m}^3\text{)} = \text{Masa agregado (kg/m}^3\text{)} * \frac{100 + \% \text{ Humedad}}{100 + \% \text{ Absorción}}$$

$$\text{Agua (kg/m}^3\text{)} = \text{Masa agregado (kg/m}^3\text{)} * \frac{\% \text{ Humedad} - \% \text{ Absorción}}{100 + \% \text{ Absorción}}$$

Tabla 25.

Corrección por humedad y absorción de los agregados

Material	Masa (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)
Agregado fino	1002.50	40.28
Agregado grueso	751.34	30.89

Elaborado por: Los autores.

Por lo tanto, la cantidad de agua de mezclado será:

Tabla 26.

Corrección por agua de mezclado

Corrección por agua (kg/m ³)	98.83
--	-------

Elaborado por: Los autores.

4.10 Dosificaciones de prueba para corrección por peso unitario de la mezcla

Tabla 27.

Dosificación de prueba para 1m³ de hormigón

Agua (lt)	Cemento (kg)	Agregado grueso (kg)	Agregado fino (kg)
98.834	425.000	751.338	1002.501

Elaborado por: Los autores.

Tabla 28.

Relación de prueba al peso de 1 kg de cemento

Agua (lt)	Cemento (kg)	Agregado grueso (kg)	Agregado fino (kg)
0.233	1.000	1.768	2.359

Elaborado por: Los autores.

Tabla 29.*Dosificación de prueba para 1 saco de cemento (50 kg)*

Agua (lt)	Cemento (kg)	Agregado grueso (kg)	Agregado fino (kg)
11.628	50.000	88.393	117.941

Elaborado por: Los autores.

4.11 Corrección por peso unitario de la mezcla de prueba

La mezcla de prueba se realizó para 1 saco de cemento (50 kg), así el peso de los materiales de la mezcla fue de:

Tabla 30.*Peso del material dosificado*

Agua (lt)	11.628
Cemento (kg)	50.00
Agregado grueso (kg)	88.393
Agregado fino (kg)	117.941
Peso del material dosificado W (kg)	267.962

Elaborado por: Los autores.

Tabla 31.*Corrección por Peso Unitario de la mezcla*

Peso molde + mezcla (g)	39130.000	40500.000	39500.000
Peso molde (g)		5706.000	
Peso mezcla (g)		34004.000	
Volumen molde (g/cm ³)		14043.000	
Peso unitario hormigón (kg/m ³)		2421.420	

Elaborado por: Los autores.

$$\text{Rendimiento de la mezcla de prueba } Y = \frac{W}{\text{Peso unit. hormigón}}$$

$$Y = \frac{267.962 \text{ kg}}{2421.420 \text{ kg/m}^3} = 0.1107 \text{ m}^3$$

Tabla 32.

Contenido neto de agua de mezclado

Material	Masa (kg)
Agua	11.628
Agregado grueso	6.836
Agregado fino	8.915
	27.378

Elaborado por: Los autores.

Para determinar la cuantía total de agua de mezclado para 1 m³ de hormigón con un asentamiento de 3 cm se debe acrecentar 2 kg de agua por cada cm de defecto en el asentamiento, por lo que se requiere una suma total de agua de mezclado de:

Tabla 33.

Corrección por agua de mezclado

Corrección por agua (kg/m ³)	123.702
Cantidad total de agua (kg/m ³)	126.000

Elaborado por: Los autores.

Tabla 34.*Ajuste de los materiales de la mezcla final*

Material	Masa (kg/m ³)	Masa seca (kg/m ³)	Masa SSS (kg/m ³)
Cemento	315.00		
Agregado grueso	399.38	365.58	382.96
Agregado fino		2074.62	2276.04

Elaborado por: Los autores.

4.12 Dosificaciones finales para la elaboración de adoquines**Tabla 35.***Dosificación para 1m³ de hormigón para adoquines convencionales*

	Cemento (kg)	Agregado grueso (kg)	Agregado fino (kg)
Agua (lt)			
126	315	383	2075

Elaborado por: Los autores.

Tabla 36.*Relación al peso de 1 kg de cemento para adoquines convencionales*

	Cemento (kg)	Agregado grueso (kg)	Agregado fino (kg)
Agua (lt)			
0.40	1.00	1.22	6.59

Elaborado por: Los autores.

Tabla 37.

Dosificación para 1 saco de cemento (50 kg) para adoquines convencionales.

Agua (lt)	Cemento (kg)	Agregado grueso (kg)	Agregado fino (kg)
20.00	50.00	60.79	329.31

Elaborado por: Los autores.

Las dosificaciones con los diferentes porcentajes de partículas de caucho se encuentran en el literal 7.1.1.

CAPÍTULO V

ELABORACIÓN DE ADOQUINES EN PLANTA

El proceso constructivo y materiales tratados para la obtención de adoquines de hormigón, se detalla a continuación:

5.1 Dosificación del hormigón

Se procede a definir las cantidades puntuales de los elementos del hormigón, con el fin de avalar que los adoquines posean las propiedades idóneas y cumplan con normativa. La proporción más útil de cemento, agua y agregados pende de diversos componentes como es el tipo de cemento, la granulometría de los agregados, la humedad ambiental, la configuración geométrica, la plasticidad deseada del concreto y la resistencia requerida del producto terminado, etc. (Corzo & Cuatín, 2011, pg. 4)

Figura 29.

Dosificación de la mezcla



Elaborado por: Los autores.

5.2 Mezclado

El proceso de mezclado se puede realizar de forma mecánica o manualmente, para ejecutar el proceso de mezclado de forma mecánica, se necesita de una mezcladora generalmente de tipo trompo o de tolva, para fusionar en seco, el cemento y los agregados, hasta conseguir una mezcla uniforme. Por consiguiente, se procede a añadir agua a la mezcla uniforme y se mezcla por un intervalo de tiempo de 4 a 5 minutos, como se observa a continuación en la Figura 30. (Corzo & Cuatín, 2011, pg. 5)

Figura 30.

Mezcladora tipo trompo o tolva



Elaborado por: Los autores.

5.3 Moldeado

Posteriormente, se llenan los moldes con la mezcla fresca de adecuada consistencia tal como se observa en la Figura 31. Una vez que los moldes estén limpios y engrasados se

procede a colocar la mezcla y se utiliza la vibración y la compactación a través de los apisonadores que se encuentran en la prensa. Por último, se retiran los adoquines de la horma teniendo precaución de no fragmentarlos ni desfigurarlos. (Corzo & Cuatín, 2011, pg. 6)

Figura 31.

Prensa para moldeado de adoquines



Elaborado por: Los autores.

5.4 Fraguado

Es el proceso químico que resulta de la mezcla entre el cemento y el agua por medio el cual se origina la tiesura del hormigón, es decir, la mezcla fresca pierde plasticidad para adquirir rigidez. Para que el fraguado ocurra satisfactoriamente, los adoquines deben perseverarse protegidos de los agentes atmosféricos (calor y del viento), para impedir que

el agua comprendida en estos se evapora y obstaculice el fraguado, generándose así una baja resistencia del hormigón. Generalmente el proceso de fraguado tiene una duración de 24 horas. (Corzo & Cuatín, 2011, pg. 6)

Figura 32.

Fraguado de adoquines convencionales



Elaborado por: Los autores.

5.5 Curado

El curado reside en conservar la humedad del hormigón suministrándole agua periódicamente (3 veces al día) para que la reacción química del cemento continúe. El proceso de curado dura alrededor de 7 días. (Corzo & Cuatín, 2011, pg. 6)

5.6 Almacenamiento y secado

Los adoquines deben ser almacenados en un lugar donde no estén expuestos a lluvia, viento y sol, para que el proceso de fraguado y desarrollo de resistencias se realice correctamente y conseguir la resistencia a la compresión de diseño.

5.7 Muestreo

La norma INEN 1484 instituye las instrucciones que corresponden seguirse para la extracción de muestras sobre las cuales deben realizarse las determinaciones que permitan establecer sus tipologías. La parte escogida del mismo se fraccionará en diez secciones y se tomará un adoquín, al azar, de cada sección. (NTE INEN 1484, 1986, pg.1)

Para inspeccionar las dimensiones determinadas en la Norma INEN 1488 y la resistencia estipulada en el mismo, el comprador puede tomar antes o inmediatamente después del envío, diez adoquines de muestra por cada pedido de 20 000 o menos. (NTE INEN 1484, 1986, pg.1)

En el presente trabajo se optó por realizar un muestreo como indica la norma NTE INEN 3040 2016-04 para las pruebas de tracción indirecta y resistencia climática; mientras que para el ensayo de desgaste (ensayo de Böhme) se hizo uso de la norma NTE INEN 3040 2015-XX, el número de adoquines necesarios para la realización de las pruebas por cada dosificación, se muestran a continuación:

Tabla 38.*Muestreo de adoquines con fibra de caucho*

Propiedad	Número de adoquines	Número total de adoquines	Criterio de conformidad
Resistencia y carga de tracción indirecta	8	40	La resistencia característica a la tracción indirecta debe ser igual o mayor a 3,6 MPa. Ningún adoquín debe tener una resistencia a la tracción indirecta menor que 2,9 MPa, ni una carga de tracción indirecta inferior a 250 N/mm.
Resistencia a la abrasión	3	15	Todo adoquín debe satisfacer una longitud de cuerda máxima de 23 mm o un desgaste máximo de 20000 mm ³ / 5000 mm ² , según el caso.
Resistencia climática	3	15	Todo adoquín debe tener un índice de absorción igual o inferior a 6 %

Fuente: NTE INEN 3040, pg. 9.

CAPÍTULO VI

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LAS PROBETAS DISEÑADAS

6.1 Ensayo de resistencia al desgaste en adoquines método de Böhme (NTE INEN 3040 2015-xx anexo G)

La resistencia al desgaste de un adoquín es la capacidad que tiene el mismo para sobrellevar el detrimento de su superficie por consecuencia de la fricción con otras superficies. Los agregados usados en la fabricación de adoquines le proporcionan una resistencia al desgaste a los adoquines de uso vehicular.

6.1.1 Principio.

Las planchas cuadradas o cubos se instalan en el dispositivo de ensayo de Böhme, en la pista en la que se esparce el abrasivo, se gira el disco y se aplica a la probeta una carga de abrasión de (294 ± 3) N para un número dado de ciclos. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.40)

6.1.2 Material abrasivo.

Como material abrasivo regulado se debe utilizar aluminio fundido (corindón artificial) diseñado para producir un deterioro por abrasión de 1,10 mm a 1,30 mm cuando se ensayen probetas de granito normalizadas y de 4,20 mm a 5,10 mm cuando se experimenten probetas de piedra caliza normalizadas. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.40)

6.1.3 Equipo.

6.1.3.1 Dispositivo para la medida del espesor.

Para instituir la disminución en el grosor se debe emplear un calibre, cuyo palpador debe tener un punto de apoyo esférico y una cara de contacto anular de 8 mm de diámetro exterior y 5 mm de diámetro interior, también se debe emplear una mesa de medida. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.40)

6.1.3.2 Disco abrasivo.

El disco abrasivo Böhme está compuesto, por un disco giratorio con una pista de prueba determinada para recibir el abrasivo, una portaprobetas y un mecanismo de carga. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.40)

6.1.3.3 Disco giratorio.

El disco giratorio debe poseer un diámetro aproximado de 750 mm, ser plano y ubicarse en un plano horizontal. Cuando se cargue, su velocidad debe ser de (30 ± 1) revoluciones por minuto. El disco debe estar dotado de un contador de revoluciones y un mecanismo de parada automática cuando se superen las 22 revoluciones. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.40)

6.1.3.4 Pista de ensayo.

La pista de ensayo debe ser anular, con un radio interior de 120 mm y un radio exterior de 320 mm (es decir, 200 mm de ancho) y debe ser cambiabile. La pista debe estar elaborada de hierro colado con una estructura perlítica, un contenido en fósforo que no exceda de 0,35% y comprendido en carbono superior al 3%. La pista debe tener una dureza Brinell comprendida entre 190 HB y 220 HB 2,5/187,5, determinada

como la media de las medidas tomadas en no menos de diez puntos a lo largo del borde de la pista. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.40)

6.1.3.5 *Portaprobetas.*

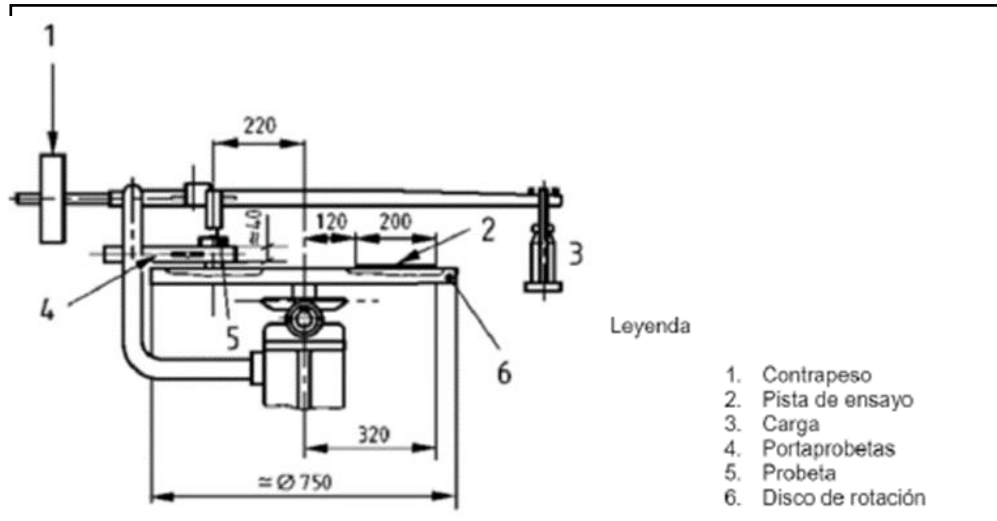
El portaprobetas consistirá en un marco en U de aproximadamente 40 mm de altura, con una separación de (5 ± 1) mm desde la pista de ensayo. El marco debe estar colocado de manera que la distancia entre el eje de la probeta y el del disco sea de 220 mm, y la cantonera del portaprobetas, la cual soporta la probeta, esté situada a una distancia de (4 ± 1) mm por encima del disco. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.41)

6.1.3.6 *Dispositivo de carga.*

El dispositivo de carga debe radicar en un balancín con dos brazos de diferentes longitudes, una pesa de carga y un contrapeso. El balancín pivotará con la mínima fricción posible y se colocará casi horizontalmente durante el ensayo. La fuerza que actúa sobre la probeta se obtiene del peso de carga multiplicado por el radio de transmisión de la palanca, la masa del peso ha de ser seleccionada de forma que se produzca una fuerza de ensayo de (294 ± 3) N, la cual debe ser verificada mediante cálculo. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.41)

Figura 33.

Principio del disco de abrasión Böhme



Fuente: INEN 3040 (2015-XX).

6.1.4 Preparación de las probetas.

Se utilizan como recipientes, planchas cuadradas o cubos cuya longitud del borde sea de $(71 \pm 1,5)$ mm. La cara de contacto y la cara opuesta de la probeta deben ser paralelas y planas. Para establecer la pérdida de espesor, la cara opuesta debe ser reducida mecánicamente hasta que sea paralela a la base. Las probetas son secadas a masa constante a temperatura de (105 ± 5) °C, requiriéndose regularmente el predesbastado de la capa de contacto sometiénolo a cuatro ciclos. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.42)

6.1.5 Procedimiento.

Con anterioridad a la prueba de abrasión y posteriormente de cada cuatro ciclos, se pesa la probeta con una precisión de 0,1 g. Se vierten 20 g de abrasivo

normalizado sobre la pista. Se instala la probeta en el soporte y, con la cara de contacto mirando hacia la pista, se carga centralmente con (294 ± 3) N. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.42)

Se comienza a girar el disco teniendo cuidado de que el abrasivo subsista sobre la pista distribuido uniformemente sobre el área determinada por el ancho de la probeta, se ensaya la probeta con 16 ciclos, cada uno consistente en 22 revoluciones, después de cada ciclo, se limpia el disco y la cara de contacto, y se gira progresivamente la probeta 90° , vertiendo nuevo abrasivo sobre la pista. (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.42)

6.1.6 Cálculo de los resultados del ensayo.

Se calcula el desgaste por abrasión después de 16 ciclos, como la pérdida media del volumen de la probeta ΔV , obtenido de la ecuación: (NTE INEN 3040, 2015-XX, pg.42)

$$\Delta V = \left| \frac{\Delta m}{\rho_R} \right|$$

Donde:

ΔV es la pérdida de volumen después de 16 ciclos, en mm^3 .

Δm es la pérdida en masa después de 16 ciclos, en g.

ρ_R es la densidad de la probeta o, en el caso de probetas multi-capa, la densidad de la capa desgastada, en g/mm^3 .

Tabla 39.

Ejemplo de cálculo de ensayo de desgaste en adoquines – Método de Böhme.

Muestra	Volumen (mm3)	Masa (g)	Densidad (g/mm3)	Ciclos 1 al 4			Ciclos 5 al 8			Ciclos 9 al 12			Ciclos 13 al 16			Desgaste total (mm3/mm2)	Desgaste promedio (mm3/mm2)	
				Masa inicial (g)	Masa final (g)	Desgaste 1 (mm3)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Desgaste 2 (mm3)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Desgaste 3 (mm3)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Desgaste 4 (mm3)			
1	351319,72	620,59	0,0017665	620,59	614,51	3441,92	614,51	607,38	4036,34	607,38	599,00	4743,97	599,00	590,41	4862,85	17085,08		
0% FDC	2	353773,07	686,81	0,0019414	686,81	680,00	3507,80	680,00	672,55	3837,47	672,55	664,69	4048,65	664,69	656,99	3966,24	15360,16	16759/5000 CUMPLE
	3	342997,20	620,90	0,0018102	620,90	611,51	5187,22	611,51	604,17	4054,76	604,17	596,94	3993,99	596,94	588,62	4596,13	17832,10	

Elaborado por: Los autores.

$$Densidad = \frac{Masa (g)}{Volumen (mm3)}$$

$$Densidad = \frac{620,59}{351319,72} = 0,0017665 \text{ g/mm}^3$$

$$Desgaste 1 = \frac{Masa\ inicial (g) - Masa\ final (g)}{Densidad}$$

$$Desgaste 1 = \frac{620,59 - 614,51}{0,0017665} = 3441,92 \text{ mm}^3$$

$$Desgaste\ total (mm^3/mm^2) = Desgaste\ 1 + Desgaste\ 2 + Desgaste\ 3 + Desgaste\ 4$$

$$Desgaste\ total (mm^3/mm^2) = 3441,92 + 4036,34 + 4743,97 + 4862,85 = 17085,08 \text{ mm}^3/mm^2$$

$$\text{Desgaste promedio (mm}^3\text{/mm}^2\text{)} = \frac{\sum \text{Desgaste total}}{\text{No. de muestras}}$$

$$\begin{aligned} \text{Desgaste promedio } \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{mm}^2}\right) &= \frac{17085,08 + 15360,16 + 17832,10}{3} \\ &= \frac{16759,11}{5000} \text{ mm}^3\text{/mm}^2 \end{aligned}$$

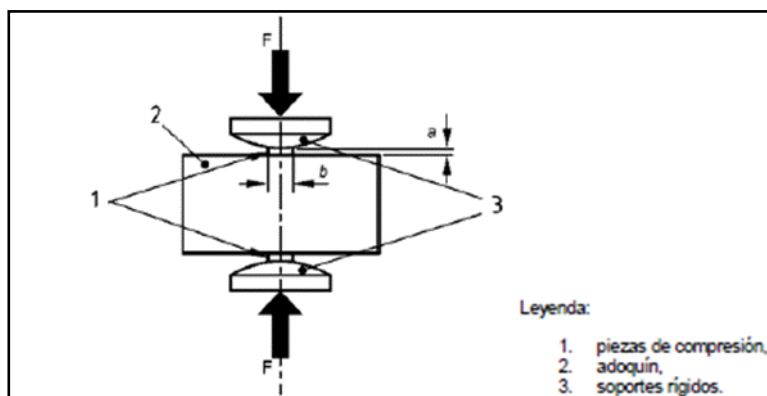
6.2 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta en adoquines. (NTE INEN 3040 2016-04 anexo E)

6.2.1 Equipo.

La máquina debe tener una graduación con una exactitud de $\pm 3 \%$ sobre la categoría conocida de las cargas de ensayo y debe acrecentar la carga a la velocidad especificada. Debe estar provista con un módulo mezclado entre soportes rígidos, cuya área de contacto tenga un radio de $(75 \pm 5) \text{ mm}$. (NTE INEN 3040, 2016, pg.24)

Figura 34.

Principio ensayo de tracción indirecta.



Fuente: INEN 3040 (2016).

6.2.2 Preparación.

Se utilizan adoquines completos y se eliminan las rebabas salientes etc. Si la cara de los adoquines es rugosa, texturada o curva, se debe preparar mediante refrentado mecánico o relleno. (NTE INEN 3040, 2016, pg.24)

Se introducen los adoquines en agua a (20 ± 5) °C durante (24 ± 3) h, se retiran, se secan y se ensayan inminentemente. (NTE INEN 3040, 2016, pg.25)

6.2.3 Procedimiento.

Se colocan los adoquines en la máquina de ensayo, introduciendo las piezas de compresión entre su cara vista y de apoyo y los soportes rígidos. Se asegurará que los ejes de los apoyos y las piezas de compresión están en línea con la sección de tracción indirecta del adoquín. La(s) sección(es) de tracción indirecta se deben seleccionar de acuerdo al siguiente orden de prioridad: (NTE INEN 3040, 2016, pg.25)

- La distancia entre las secciones de tracción indirecta o entre cualquier sección de tracción indirecta y cualquier cara lateral del adoquín es, al menos, 0,5 veces el espesor del adoquín en al menos el 75 % de la longitud de la sección de tracción indirecta considerada. (NTE INEN 3040, 2016, pg.25)

Se emplea la carga suave y gradualmente, de forma que la resistencia se incremente a una velocidad de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s. Se registra la carga de tracción indirecta. (NTE INEN 3040, 2016, pg.25)

Se deduce el área del plano(s) de tracción indirecta del adoquín ensayado empleando la siguiente ecuación: (NTE INEN 3040, 2016, pg.25)

$$S = l * t$$

Donde:

S es la superficie de tracción indirecta, en mm^2 ,

l es la media de dos medidas de la longitud de tracción indirecta, una en su cara vista y otra en su dorso, en mm,

t es el espesor del adoquín en la sección de tracción indirecta, en mm, y es la media de tres medidas, una en el medio y las otras dos en los extremos.

6.2.4 Cálculo de los resultados del ensayo.

Se calcula la resistencia a tracción indirecta del adoquín ensayado, T , en MPa empleando la siguiente ecuación: (NTE INEN 3040, 2016, pg.26)

$$T = 0.637 * k * \frac{P}{S}$$

Donde:

T es la resistencia a tracción indirecta en MPa

P es la carga de tracción indirecta en N

k es un factor de corrección para el espesor “ t ” del adoquín calculado empleando la siguiente ecuación:

- $k = 1.3 - 30 \left(0.18 - \frac{t}{1000}\right)^2$; si $140\text{mm} < t \leq 180\text{mm}$
- $k = 1.3$; si $t > 180\text{mm}$
- $t \leq 140 \text{ mm}$ se determina el valor de k con la siguiente tabla:

Tabla 40.

Factor de corrección k

t (mm)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
k	0,71	0,79	0,87	0,94	1,00	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

Fuente: NTE INEN 3040, pg. 26.

Se calcula la carga de tracción indirecta por unidad de longitud (F) en newtons por milímetro mediante el empleo de la siguiente ecuación: (NTE INEN 3040, 2016, pg.26)

$$F = \frac{P}{l}$$

6.2.5 Cálculo de la resistencia característica.

La resistencia característica se determinará con los valores de las ocho unidades que transigen la muestra. A su vez la desviación estándar se determinará utilizando la fórmula: (NTE INEN 3040, 2016, pg.26)

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

Donde:

S es la desviación estándar (MPa)

f_i es la resistencia a la compresión de cada una de las muestras (MPa)

f_m es la media aritmética de las resistencias a la compresión de todas las muestras (MPa).

La resistencia característica representada por f_k se calcula de la siguiente manera: (NTE INEN 3040, 2016, pg.26)

$$f_k = (f_m - 1,64S)$$

Donde: 1,64 es el factor de probabilidad

La resistencia característica se registrará con una precisión de 0,1 MPa. (NTE

INEN 3040, 2016, pg.26)

Tabla 41.

Ejemplo de cálculo Ensayo de tracción indirecta en adoquines

Muestra	Masa norma l de la probet a (g)	l = Media de longitud de tracción indirecta (mm)	t = Media del espesor del adoquín (mm)	S = l*t; Superficie de tracción indirecta (mm ²)	k = Factor de correcci ón por el espesor del adoquín	P = Carga de tracción indirecta (N)	T = Resisten cia a tracción indirecta (MPa)	F = Carga de tracción indirecta por unidad de longitud (N/mm)	S = Desviación estándar (MPa)	fk = Resistencia característica (MPa)
1	8540	243,00	87,67	21303,00	1,05	125650	3,9	517		
2	8160	241,00	85,00	20485,00	1,03	118847	3,8	493		
3	8750	241,00	82,33	19842,33	1,01	118955	3,8	494		
0%	9	8680	241,50	90,53	21863,80	1,06	115018	3,6	496	0,15
FDC	10	8200	240,50	80,70	19408,35	1,00	121362	4,0		
	11	7680	241,00	84,17	20284,17	1,03	122081	3,9		
	12	8240	241,50	87,07	21026,60	1,04	115985	3,7		
	13	7720	241,00	80,17	19320,17	1,00	120042	4,0		

Elaborado por: Los autores.

$$S = l * t$$

$$S = 243.00 * 87.67 = 21303.00 \text{ mm}^2$$

$$k = 1.00 + \frac{87.67 - 80.00}{90.00 - 80.00} * (1.06 - 1.00) = 1.05 ; \text{interpolación}$$

$$T = 0.637 * k * \frac{P}{S}$$

$$T = 0.637 * 1.05 * \frac{125650,00}{21303,00} = 3.9 \text{ MPa}$$

$$T \text{ promedio} = fm = \frac{3.9 + 3.8 + 3.8 + 3.6 + 4.0 + 3.9 + 3.7 + 4.0}{8} = 3.8 \text{ MPa}$$

$$F = \frac{P}{l}$$

$$F = \frac{125650,00}{243,00} = 517 \text{ N/mm}$$

$$F \text{ promedio} = \frac{517 + 493 + 494 + 476 + 505 + 507 + 480 + 498}{8}$$

$$= 496 \text{ N/mm}$$

$$(f_i - f_m)^2 = (3.9 - 3.8)^2 = 0.01$$

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

$$S = \sqrt{\frac{0.17}{8 - 1}} = 0.15 \text{ MPa}$$

$$fk = (fm - 1,64S)$$

$$fk = (3.8 - 1,64 * 0.15) = 3.6 \text{ MPa}$$

6.2.6 Informe del ensayo.

El informe del ensayo debe incluir la siguiente información: (NTE INEN 3040, 2016, pg.27)

6.3 Ensayo de resistencia climática (absorción total de agua) en adoquines. (NTE INEN 3040 2016 anexo D)

6.3.1 Principio.

Posteriormente al preparar la probeta a $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ésta se empapa en agua potable y a continuación se seca al hornillo. En estos casos se verifica la buena aplicación del proceso, cuando se alcanza una masa constante. (NTE INEN 3040, 2016, pg.22)

El índice de absorción de agua se formula por medio de la diferencia del peso de la probeta saturada menos el peso de la probeta seca contra el peso de la probeta seca, expresado en porcentaje. (NTE INEN 3040, 2016, pg.22)

6.3.2 Probeta.

Si un adoquín pesa más de 5,0 kg debe ser cortado manteniendo su espesor para obtener una probeta no superior a 5,0 kg. (NTE INEN 3040, 2016, pg.22)

6.3.3 Materiales.

Agua potable.

6.3.4 Equipo.

6.3.4.1 Estufa de secado ventilada.

Con una correlación de cabida, mencionada en litros, respecto al área de canales de ventilación, indicada en milímetros cuadrados, menor que 2 000, en la que la temperatura pueda estar controlada a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. (NTE INEN 3040, 2016, pg.22)

6.3.4.2 Recipiente de base plana.

Con una cabida de al menos 2,5 veces el cuerpo de las probetas a ser inmersa y con una profundidad, al menos, 50 mm mayor que la altura de las probetas según se coloquen al ser inmersas. (NTE INEN 3040, 2016, pg.22)

6.3.4.3 Balanza.

Con leída en gramos y una exactitud del 0,1 % de la lectura. (NTE INEN 3040, 2016, pg.22)

6.3.4.4 Cepillo duro.

6.3.4.5 Tela.

6.3.5 Preparación de las probetas.

Se excluye todo el polvo, desconchados e imperfecciones con un cepillo y se afirma que todas las probetas estén a una temperatura de (20 ± 5) °C. (NTE INEN 3040, 2016, pg.22)

6.3.6 Procedimiento.

Se anegan las probetas en agua potable a una temperatura de (20 ± 5) °C hasta que el receptáculo alcance la masa constante M1. Se separan las probetas unas de las otras al menos 15 mm y asegurando que exista un mínimo de 20 mm de agua sobre ellas. Con un tiempo mínimo de inmersión de 3 días y la masa constante se dará por alcance cuando dos probetas pesadas realizadas en un intervalo de 24 h muestren una diferencia en la masa de la probeta inferior al 0,1 %. (NTE INEN 3040, 2016, pg.22)

Se ubica cada probeta en la estufa, de tal forma que la distancia entre cada probeta sea de al menos 15mm. Se seca la probeta a una temperatura de (105 ± 5) °C hasta que alcance la masa constante M2. El tiempo mínimo de secado debe ser de 3 días y la masa constante se considerará alcanzada cuando dos probetas pesadas realizadas en un intervalo de 24 h muestren una diferencia en la masa de la probeta inferior al 0,1 %. Se deja que las probetas se enfríen a temperatura ambiente antes de ser pesadas. (NTE INEN 3040, 2016, pg.23)

6.3.7 Cálculo de los resultados.

El índice de absorción de agua W_a de cada probeta como un porcentaje de su masa empleando se determina con la siguiente ecuación. (NTE INEN 3040, 2016, pg.23)

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100\%$$

Donde:

M_1 es la masa de la probeta saturada de agua, expresada en gramos;

M_2 es la masa final de la probeta seca, expresada en gramos.

Tabla 42.

Ensayo de absorción total de agua en adoquines

Muestra	Masa normal de la probeta (g)	M1 = Masa de la probeta saturada de agua (g)	M2 = Masa final de la probeta seca (g)	Wa = Índice de absorción de agua	
0%	1	3682	3860	3650	5.75
FDC	2	4220	4360	4130	5.57
	3	4004	4150	3950	5.06

Elaborado por: Los autores.

$$W_a = \frac{3860 - 3650}{3650} * 100 = 5.75 \%$$

$$W_a \text{ promedio} = \frac{5.75 + 5.57 + 5.06}{3} = 5.46 \%$$

6.3.8 Informe del ensayo.

El informe del ensayo debe proporcionar los valores de la absorción de agua para cada una de las probetas. (NTE INEN 3040, 2016, pg.23)

CAPÍTULO VII

RESULTADOS

7.1 *Diseño de las mezclas de concreto hidráulico*

Tabla 43.

Diseño de mezcla para adoquines convencionales

Dosificación para 1 saco de cemento (50kg) 0% PFC	
Agua (lt)	20.00
Cemento (kg)	50.00
Agregado grueso (kg)	60.79
Agregado fino (kg)	329.31

Elaborado por: Los autores.

Tabla 44.

Diseño de mezcla para adoquines con 3% de part. de fibra de caucho

Dosificación para 1 saco de cemento (50kg) 3% PFC	
Agua (lt)	20.00
Cemento (kg)	50.00
Agregado grueso (kg)	60.79
Agregado fino (kg)	319.43
Part. de fibra de caucho (kg)	9.88

Elaborado por: Los autores.

Tabla 45.*Diseño de mezcla para adoquines con 6% de part. de fibra de caucho*

Dosificación para 1 saco de cemento (50kg) 6% PFC	
Agua (lt)	20.00
Cemento (kg)	50.00
Agregado grueso (kg)	60.79
Agregado fino (kg)	309.55
Part. de fibra de caucho (kg)	19.76

Elaborado por: Los autores.

Tabla 46.*Diseño de mezcla para adoquines con 9% de part. de fibra de caucho*

Dosificación para 1 saco de cemento (50kg) 9% PFC	
Agua (lt)	20.00
Cemento (kg)	50.00
Agregado grueso (kg)	60.79
Agregado fino (kg)	299.67
Part. de fibra de caucho (kg)	29.64

Elaborado por: Los autores.

Tabla 47.*Diseño de mezcla para adoquines con 12% de part. de fibra de caucho*

Dosificación para 1 saco de cemento (50kg) 12% PFC	
Agua (lt)	20.00
Cemento (kg)	50.00
Agregado grueso (kg)	60.79
Agregado fino (kg)	289.79
Part. de fibra de caucho (kg)	39.52

Elaborado por: Los autores.

Tabla 48.

Diseño de mezcla para adoquines con 15% de part. de fibra de caucho

Dosificación para 1 saco de cemento (50kg) 15% PFC	
Agua (lt)	20.00
Cemento (kg)	50.00
Agregado grueso (kg)	60.79
Agregado fino (kg)	279.91
Part. de fibra de caucho (kg)	49.40

Elaborado por: Los autores.

7.2 Determinación de resistencia al desgaste en adoquines método de Böhme (NTE INEN 3040 2015-xx anexo G)

Tabla 49.

Ensayo de desgaste - Adoquines

Muestra	Desgaste promedio (mm ³ /mm ²)
0% FDC	16759
3% FDC	13766
6% FDC	14649
9% FDC	19298
12% FDC	17987
15% FDC	19863

Elaborado por: Los autores.

7.3 Determinación de resistencia a la tracción indirecta en adoquines. (NTE INEN 3040 2016-04 anexo E)

Tabla 50.*Ensayo de tracción indirecta – Adoquines*

Muestra	T = Resistencia a tracción indirecta (MPa)	fk = Resistencia característica (MPa)
0% FDC	3.8	3.6
3% FDC	2.9	2.6
6% FDC	2.0	1.8
9% FDC	1.5	1.2
12% FDC	0.9	0.7
15% FDC	0.6	0.3

Elaborado por: Los autores.

7.4 Determinación de resistencia climática (absorción total de agua) en adoquines.*(NTE INEN 3040 2016 anexo D)***Tabla 51.***Ensayo de resistencia climática - Adoquines*

Muestra	Wa = Índice de absorción de agua (%)
0% FDC	5.46
3% FDC	10.49
6% FDC	12.55
9% FDC	15.63
12% FDC	15.42
15% FDC	15.69

Elaborado por: Los autores.

CAPÍTULO VIII

VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA

8.1 Comparación de adoquín normal con adoquín con fibra de caucho

Tabla 52.

Resumen de ensayos realizados – Adoquines

Muestra	Resistencia al desgaste promedio (mm ³ /mm ²)	Verificación Resistencia al desgaste promedio (< 20000mm ³ /5000mm ²)	Resistencia a tracción indirecta (MPa)	Verificación Resistencia a tracción indirecta (≥ 2,9MPa)	Resistencia característica a la tracción indirecta (MPa)	Verificación Resistencia característica a la tracción indirecta (≥ 3,6MPa)	Resistencia climática (%)	Verificación Resistencia climática (≤ 6%)
0% FDC	16759	Cumple	3,8	Cumple	3,6	Cumple	5,46	Cumple
3% FDC	13766	Cumple	2,9	Cumple	2,6	No cumple	10,49	No cumple
6% FDC	14649	Cumple	2,0	No cumple	1,8	No cumple	12,55	No cumple
9% FDC	19298	Cumple	1,5	No cumple	1,2	No cumple	15,63	No cumple
12% FDC	17987	Cumple	0,9	No cumple	0,7	No cumple	15,42	No cumple
15% FDC	19863	Cumple	0,6	No cumple	0,3	No cumple	15,69	No cumple

Elaborado por: Los autores.

Tabla 53.

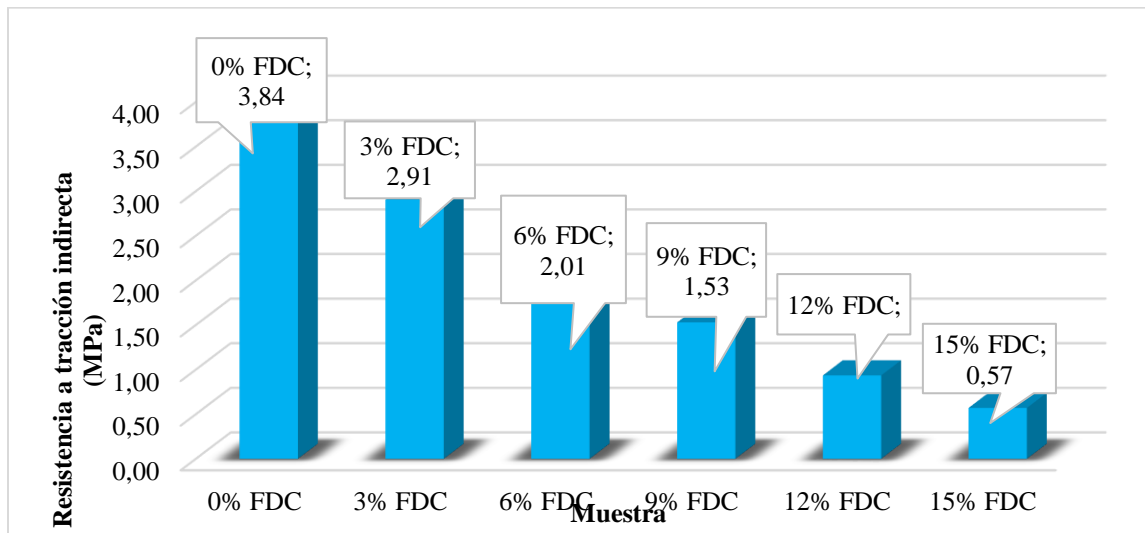
Requisitos normados – Adoquines

Ensayo	Norma de Ensayo	Método de Ensayo	Número de adoquines	Criterio de conformidad
Resistencia y carga de tracción indirecta	NTE INEN 3040 2016-04	Anexo E	8	La resistencia característica a la tracción indirecta debe ser igual o mayor a 3,6 MPa. Ningún adoquín debe tener una resistencia a la tracción indirecta menor que 2,9 MPa, ni una carga de tracción indirecta inferior a 250 N/mm.
Resistencia a la abrasión	NTE INEN 3040 2015-XX	Anexo G	3	Todo adoquín debe satisfacer una longitud de cuerda máxima de 23 mm o un desgaste máximo de 20000 mm ³ / 5000 mm ² , según el caso.
Resistencia climática	NTE INEN 3040 2016-04	Anexo D	3	Todo adoquín debe tener un índice de absorción igual o inferior a 6 %

Elaborado por: Los autores.

Figura 35.

Comparación de la resistencia a la tracción indirecta de los adoquines.

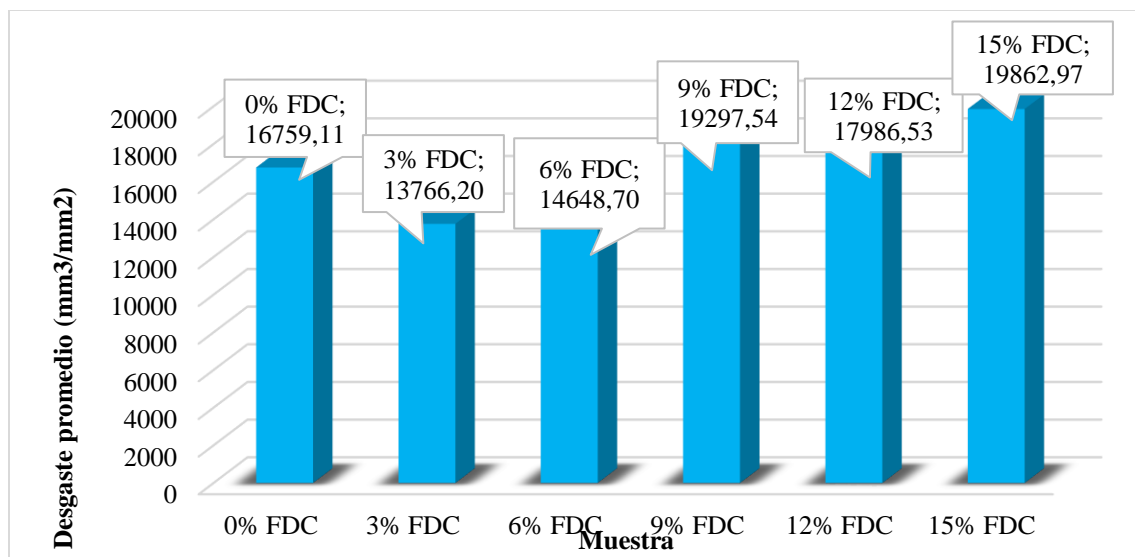


Elaborado por: Los autores.

Con la prueba de tracción indirecta se pudo comprobar que los adoquines convencionales cumplen con los estándares señalados por la norma NTE INEN 3040 2016-04, que señala el valor característico de tracción indirecta, indicando que dicho valor debe ser superior o igual a 3,6 MPa, cabe recalcar que los adoquines que contienen diferentes porcentajes de fibra de caucho no cumplieron con los estándares requeridos.

Figura 36.

Comparación de desgaste de los adoquines

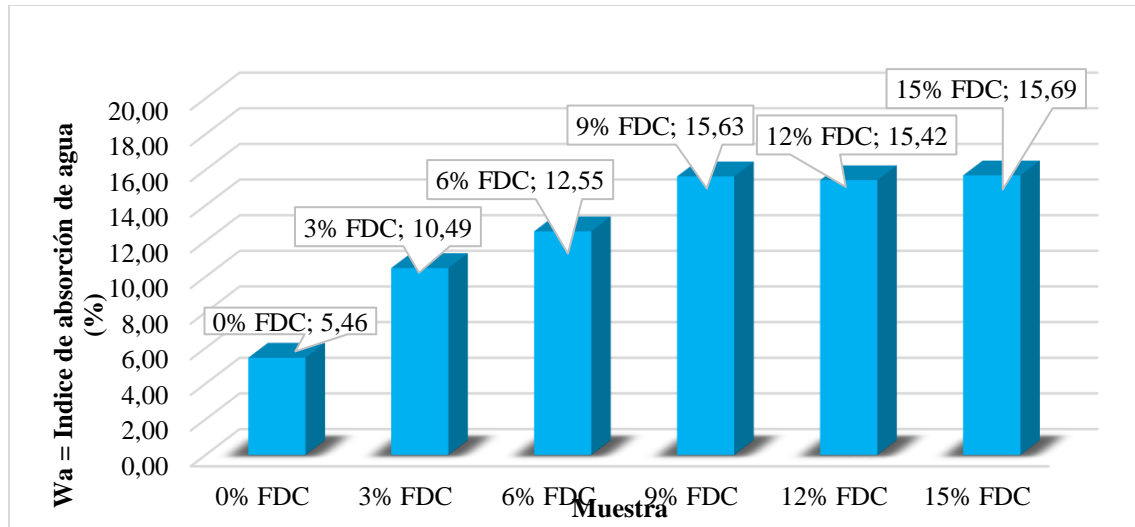


Elaborado por: Los autores.

En la figura 36 se observa que el desgaste de los adoquines convencionales (0% FDC) es relativamente alto a comparación con los adoquines con fibra de caucho, el adoquín con 6% de fibra de caucho es el que presenta un menor desgaste por el Método de Böhme, cabe recalcar que todos los especímenes cumplen con la norma NTE INEN 3040 2015-XX, en la cual muestra que el volumen de desgaste debe ser menor o igual a 20000mm³/5000mm².

Figura 37.

Comparación de la resistencia climática de los adoquines



Elaborado por: Los autores.

El porcentaje de absorción de los adoquines con fibra de caucho ensayados es alto y no cumple lo establecido en la norma NTE INEN 3040 2016-04, pero en los adoquines convencionales se puede observar el cumplimiento de dicha norma, con lo que se puede constatar que los adoquines con fibra de caucho exhiben mayor número de vacíos a comparación con los adoquines convencionales.

8.2 Precios unitarios

8.2.1 Análisis de precios unitarios de adoquines convencionales (0% FDC).

A continuación, se encuentra detallado el Análisis de Precios Unitarios de adoquines hexagonales convencionales para uso vehicular (0% FDC), diseñados para una resistencia a la compresión $f'c = 35$ MPa, este análisis no incluye transporte:

Tabla 54.

APU para adoquines convencionales

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DETALLE:	Adoquín vehicular hexagonal, f'c = 350 kg/cm2 (0 % FDC)			UNIDAD:	U
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5% MO)	0.10000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00500
Mezcladora	0.20000	1.50000	0.30000	0.05333	0.01600
Vibro prensadora	0.20000	1.00000	0.20000	0.05333	0.01067
SUBTOTAL M					0.03167
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	horas - hombre R	D=C*R
Peón albañilería	0.20000	2.50000	0.50000	0.05333	0.02667
Maestro	0.10000	3.50000	0.35000	0.05333	0.01867
SUBTOTAL N					0.04533
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.83333	0.13333	0.11111	
Arena	Kg	5.48841	0.01125	0.06174	
Chispa	Kg	1.01312	0.01500	0.01520	
Agua	Lt	0.33333	0.01183	0.00394	
Luz	kw/h	0.01000	0.01683	0.00017	
Tablón rustico 4x23x240cm	U	0.01667	1.42000	0.02367	
SUBTOTAL O					0.21583
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0.00000
		COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)			0.29283
		INDIRECTOS %			15.00% 0.04392
		UTILIDAD %			5.00% 0.01464
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			0.35140
		VALOR OFERTADO			0.35
ESTE PRECIO NO INCLUYEN IVA.					

Elaborado por: Los autores.

8.2.2 Análisis de precios unitarios de adoquines con fibra de caucho (3%, 6%, 9%, 12% y 15% FDC).

En las siguientes tablas se muestra el Análisis de Precios Unitarios de adoquines con los diversos porcentajes establecido de fibra de caucho (FDC):

Tabla 55.

APU para adoquines con 3% de part. de fibra de caucho

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
DETALLE:	Adoquín vehicular hexagonal, f'c = 350 kg/cm ² (3 % FDC)				UNIDAD:	u
EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herramienta menor (5% MO)	0.10000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00500	
Mezcladora	0.20000	1.50000	0.30000	0.05333	0.01600	
Vibro prensadora	0.20000	1.00000	0.20000	0.05333	0.01067	
SUBTOTAL M					0.03167	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Peón albañilería	0.20000	2.50000	0.50000	0.05333	0.02667	
Maestro	0.10000	3.50000	0.35000	0.05333	0.01867	
SUBTOTAL N					0.04533	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
		A	B	C=A*B		
Cemento	Kg	0.83333	0.13333	0.11111		
Arena	Kg	5.32376	0.01125	0.05989		
Chispa	Kg	1.01312	0.01500	0.01520		
Agua	Lt	0.33333	0.01183	0.00394		
Luz	kw/h	0.01000	0.01683	0.00017		
Tablón rustico 4x23x240cm	U	0.01667	1.42000	0.02367		
Partículas de fibra de caucho	Kg	0.16465	0.49933	0.08222		
SUBTOTAL O				0.29620		
			COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)		0.37320	
				INDIRECTOS %	15.00% 0.05598	
				UTILIDAD %	5.00% 0.01866	
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		0.44784	
			VALOR OFERTADO		0.45	
ESTE PRECIO NO INCLUYEN IVA.						

Elaborado por: Los autores.

Tabla 56.

APU para adoquines con 6% de part. de fibra de caucho

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
DETALLE:	Adoquín vehicular hexagonal, f'c = 350 kg/cm ² (6 % FDC)				UNIDAD:	u
EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herramienta menor (5% MO)	0.10000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00500	
Mezcladora	0.20000	1.50000	0.30000	0.05333	0.01600	
Vibro prensadora	0.20000	1.00000	0.20000	0.05333	0.01067	
SUBTOTAL M					0.03167	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Peón albañilería	0.20000	2.50000	0.50000	0.05333	0.02667	
Maestro	0.10000	3.50000	0.35000	0.05333	0.01867	
SUBTOTAL N					0.04533	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
		A	B	C=A*B		
Cemento	Kg	0.83333	0.13333	0.11111		
Arena	Kg	5.15911	0.01125	0.05804		
Chispa	Kg	1.01312	0.01500	0.01520		
Agua	Lt	0.33333	0.01183	0.00394		
Luz	kw/h	0.01000	0.01683	0.00017		
Tablón rustico 4x23x240cm	U	0.01667	1.42000	0.02367		
Partículas de fibra de caucho	Kg	0.32930	0.49933	0.16443		
SUBTOTAL O					0.37656	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
		A	B	C=A*B		
SUBTOTAL P					0.00000	
		COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)			0.45356	
				INDIRECTOS %	15.00% 0.06803	
				UTILIDAD %	5.00% 0.02268	
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	0.54427	
				VALOR OFERTADO	0.54	
ESTE PRECIO NO INCLUYEN IVA.						

Elaborado por: Los autores.

Tabla 57.

APU para adoquines con 9% de part. de fibra de caucho.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
DETALLE:	Adoquín vehicular hexagonal, f'c = 350 kg/cm ² (9 % FDC)				UNIDAD:	u
EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herramienta menor (5% MO)	0.10000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00500	
Mezcladora	0.20000	1.50000	0.30000	0.05333	0.01600	
Vibro prensadora	0.20000	1.00000	0.20000	0.05333	0.01067	
SUBTOTAL M					0.03167	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Peón albañilería	0.20000	2.50000	0.50000	0.05333	0.02667	
Maestro	0.10000	3.50000	0.35000	0.05333	0.01867	
SUBTOTAL N					0.04533	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
		A	B	C=A*B		
Cemento	Kg	0.83333	0.13333	0.11111		
Arena	Kg	4.99446	0.01125	0.05619		
Chispa	Kg	1.01312	0.01500	0.01520		
Agua	Lt	0.33333	0.01183	0.00394		
Luz	kw/h	0.01000	0.01683	0.00017		
Tablón rustico 4x23x240cm	U	0.01667	1.42000	0.02367		
Partículas de fibra de caucho	Kg	0.49396	0.49933	0.24665		
SUBTOTAL O				0.45692		
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
		A	B	C=A*B		
SUBTOTAL P				0.00000		
		COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)			0.53392	
				INDIRECTOS %	15.00% 0.08009	
				UTILIDAD %	5.00% 0.02670	
				COSTO TOTAL DEL RUBRO	0.64071	
				VALOR OFERTADO	0.64	
ESTE PRECIO NO INCLUYEN IVA.						

Elaborado por: Los autores.

Tabla 58.*APU para adoquines con 12% de part. de fibra de caucho.*

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DETALLE:	Adoquín vehicular hexagonal, f'c = 350 kg/cm ² (12 % FDC)			UNIDAD:	u
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5% MO)	0.10000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00500
Mezcladora	0.20000	1.50000	0.30000	0.05333	0.01600
Vibro prensadora	0.20000	1.00000	0.20000	0.05333	0.01067
SUBTOTAL M					0.03167
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO horas - hombre	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón albañilería	0.20000	2.50000	0.50000	0.05333	0.02667
Maestro	0.10000	3.50000	0.35000	0.05333	0.01867
SUBTOTAL N					0.04533
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.83333	0.13333	0.11111	
Arena	Kg	4.82980	0.01125	0.05434	
Chispa	Kg	1.01312	0.01500	0.01520	
Agua	Lt	0.33333	0.01183	0.00394	
Luz	kw/h	0.01000	0.01683	0.00017	
Tablón rustico 4x23x240cm	U	0.01667	1.42000	0.02367	
Partículas de fibra de caucho	Kg	0.65861	0.49933	0.32887	
SUBTOTAL O					0.53729
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0.00000
		COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)			0.61429
				INDIRECTOS %	15.00% 0.09214
				UTILIDAD %	5.00% 0.03071
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			0.73715
		VALOR OFERTADO			0.74
ESTE PRECIO NO INCLUYEN IVA.					

Elaborado por: Los autores.

Tabla 59.

APU para adoquines con 15% de part. de fibra de caucho

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
DETALLE:	Adoquín vehicular hexagonal, f'c = 350 kg/cm2 (12 % FDC)			UNIDAD:	u
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor (5% MO)	0.10000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00500
Mezcladora	0.20000	1.50000	0.30000	0.05333	0.01600
Vibro prensadora	0.20000	1.00000	0.20000	0.05333	0.01067
SUBTOTAL M					0.03167
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO horas - hombre	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón albañilería	0.20000	2.50000	0.50000	0.05333	0.02667
Maestro	0.10000	3.50000	0.35000	0.05333	0.01867
SUBTOTAL N					0.04533
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.83333	0.13333	0.11111	
Arena	Kg	4.66515	0.01125	0.05248	
Chispa	Kg	1.01312	0.01500	0.01520	
Agua	Lt	0.33333	0.01183	0.00394	
Luz	kw/h	0.01000	0.01683	0.00017	
Tablón rustico 4x23x240cm	U	0.01667	1.42000	0.02367	
Partículas de fibra de caucho	Kg	0.82326	0.49933	0.41108	
SUBTOTAL O					0.61765
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P					0.00000
		COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)			0.69465
				INDIRECTOS %	15.00% 0.10420
				UTILIDAD %	5.00% 0.03473
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			0.83358
		VALOR OFERTADO			0.83
ESTE PRECIO NO INCLUYEN IVA.					

Elaborado por: Los autores.

8.3 *Presupuesto referencial*

Tabla 60.

Presupuesto referencial de adoquines realizados

Descripción del Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario
Adoquín vehicular hexagonal f'c=35 MPa (0% FDC)	U	60	0.35
Adoquín vehicular hexagonal f'c=35 MPa (3% FDC)	U	60	0.45
Adoquín vehicular hexagonal f'c=35 MPa (6% FDC)	U	60	0.54
Adoquín vehicular hexagonal f'c=35 MPa (9% FDC)	U	60	0.64
Adoquín vehicular hexagonal f'c=35 MPa (12% FDC)	U	60	0.74
Adoquín vehicular hexagonal f'c=35 MPa (15% FDC)	U	60	0.83

Elaborado por: Los autores.

CONCLUSIONES

Los adoquines convencionales presentan excelentes propiedades físico – mecánicas, cumpliendo con todos los límites establecidos en la norma NTE INEN 3040, por lo tanto, la dosificación establecida es la correcta para asegurar que los adoquines pasan todos los estándares de calidad para ser usados en tránsito vehicular y uso residencial.

En la presente investigación se comprobó que los adoquines con fibra de caucho no cumplen con los parámetros establecidos en la norma NTE INEN 3040 2016-04 para el ensayo de Tracción Indirecta, en adoquines con 3% FDC cumple con la Resistencia a la Tracción Indirecta pero no con la Resistencia Característica a la Tracción Indirecta de 2.91 MPa y 2.60 MPa respectivamente; mientras que con el aumento del porcentaje de fibra de caucho estas resistencias van disminuyendo.

En el ensayo de Desgaste por el Método de Böhme se demostró que la mezcla usada es correcta para que los adoquines convencionales como los adoquines con todos los porcentajes de fibra de caucho cumplan con un desgaste máximo de 20000 mm³/ 5000 mm², el valor máximo de desgaste que se obtuvo fue de 19862.97 mm³/mm² para los adoquines con 15% de FDC.

En cuanto a lo abordado con anterioridad, una desventaja de los adoquines con fibra de caucho es que presentan un grado de compacidad alto, menor compactación de los materiales de la mezcla y mayor cantidad de aire atrapado que es llenado por las partículas de agua, generando en el ensayo de Resistencia Climática un mayor Índice de absorción de agua entre más alto es el porcentaje de fibra de caucho que contengan los adoquines.

El Análisis de Precios Unitarios obtenidos en esta investigación, nos indica que los adoquines convencionales presentan un costo acorde al indicado en la revista de la Cámara de la Construcción que es 0.35 centavos de dólar; por otro lado, los adoquines con fibra de caucho tienen un costo que oscila entre 0.45 hasta 0.83 centavos de dólar, que no es un valor rentable para el uso en empresas ya que se esperaba un costo menor al adoquín convencional y con mejores propiedades mecánicas.

Actualmente la verificación de la calidad de los adoquines además del ensayo de compresión incluye los ensayos de tracción indirecta y desgaste, por este motivo en la investigación realizada por M. Caiza y R. Chipugsi, con el tema “Influencia de las partículas de caucho en el desgaste de adoquines de hormigón”, se analizó el ensayo de compresión, en el que se determinó que con un 12% de caucho reciclado la resistencia a la compresión fue de 36.1 MPa, siendo la resistencia de diseño en la dosificación de 35 MPa; con respecto al ensayo de desgaste en dicha investigación y en el actual proyecto se llegó a valores menores al máximo establecido en la norma NTE INEN 3040; mientras que en el presente proyecto se verificó que la resistencia a la tracción indirecta en los adoquines con fibra de caucho no cumplen los límites establecidos por la norma, con esto se constató que ya no solo es necesario realizar un ensayo de compresión en los adoquines ya que los ensayo de tracción indirecta y desgaste también son de suma importancia para determinar la calidad de los mismos y asegurar un mejor desempeño ante tránsito peatonal y vehicular.

RECOMENDACIONES

En la fabricación de adoquines en planta se debe verificar al momento de la compactación y vibrado, que el peso de la presa sea mayor a 1 tonelada y el tiempo de vibración sea de 50 a 60 segundos, para obtener unos adoquines de mejor calidad y mejores propiedades físico – mecánicas.

Verificar que el operador realice correctamente el peso establecido de los materiales en la dosificación, el buen funcionamiento de la mezcladora tipo tolva y por último un proceso de curado adecuado para cumplir la resistencia a la compresión de diseño y no usar más material del señalado en la dosificación porque aumentaría el costo de comercialización de los adoquines.

Es importante realizar nuevas investigaciones de diseños de hormigón con distintos materiales reciclados, que cumplan con los requisitos establecidos en las normas NTE INEN o en normas internacionales, para así reducir la cantidad de escombros generados cada año por el ser humano.

Para mejorar el comportamiento de la fibra de caucho en adoquines, el mismo se podría someter a un tratamiento que mejore la adherencia con los agregados y la pasta de cemento fraguado y así obtener mejores resultados antes los ensayos realizados en este proyecto.

Se recomienda que para la fabricación de adoquines con fibra de caucho se haga uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad y compactación de la mezcla de adoquines.

En base a los resultados obtenidos se recomienda la utilización de los adoquines con fibra de caucho (3% FDC) en calles peatonales donde no exista carga vehicular o de uso decorativo.

Se sugiere como estudio adicional a la presente investigación, analizar las propiedades mecánicas de los adoquines con fibra de caucho, haciendo uso de una dosificación en la que el material cementante sea reemplazado por las partículas de fibra de caucho y haciendo uso de un aditivo que mejore el comportamiento de la mezcla.

REFERENCIAS

Álvarez, B. y Guachamín, S. (2020). *CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA Y LA RESISTENCIA CLIMÁTICA (ABSORCIÓN DE AGUA) EN ADOQUINES DE HORMIGÓN EN LA CIUDAD DE QUITO*, [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador]. Repositorio digital.

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19410>

ASTM, C – 566:2004. “Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying”.

ASTM, C128:2001. “Standard Test Method for Density, relative density (Specific Gravity), and absorption of fine aggregate”.

ASTM, C131:2003. “Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine”.

ASTM, C136:2014. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. American Society for Testing and Materials.

ASTM, C29:2003. “Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and voids in aggregate”.

ASTM, C40-2004. “Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete”.

ASTM, C702:2003. Standard Practice for Reducing Samples of Aggregates to Testing Size. American Society for Testing and Materials.

ASTM, D75:1997. Standard Practice for sampling aggregates.

Asocreto. (2010). *Tecnología del concreto - Materiales, propiedades y diseño de mezclas.*

Tomo 1. Nomos Impresores.

<https://doku.pub/documents/tecnologia-del-concreto-tomo-1-9qgo5vjv3kln>

Beaty, A. (1996). *Laying Course Materials: Specifications and Performance*. Proceedings of the 5th international Conference on CBP, PAVE ISRAEL 96, 130.

<http://www.sept.org/techpapers/679.pdf>

Caiza, M. y Chipugsi, R. (2018). *INFLUENCIA DE LAS PARTÍCULAS DE CAUCHO EN EL DESGASTE DE ADOQUINES DE HORMIGÓN*, [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador]. Repositorio digital.

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16053>

Carrión, J. y Saraguro, B. (2019). *RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL DESGASTE EN ADOQUINES DE HORMIGÓN*, [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador]. Repositorio digital.

https://rrae.cedia.edu.ec/Record/UPS_8dba45af8fdb92b4e5a9662393af8f1

Corzo, D. y Cuatín, M. (2011). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES Y BLOQUES*, [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador]. Repositorio digital.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4299>

Crespín, R., Santa Cruz, I. y Torres, P. (2012). *Aplicación del Método Marshall y Granulometría Superpave en el Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente con Asfalto Clasificación Grado de Desempeño*, [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador]. Archivo digital.

<https://es.slideshare.net/bio76/aplicacion-del-metodo-marshall-y-granulometria-superpave-en-el-diseo-de-mezclas-asfalticas-en-caliente-con-asfalto-clasificacion-grado-de-desempeo>

Delgado, H., Garnica, P., Villatoro, G. y Rodríguez, G. (2006). *INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA*. Secretaría De Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano Del Transporte.

<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt299.pdf>

Echaveguren, T. (2013). *Manual de Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón*. Concepción, Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH).

https://issuu.com/ich_mkt/docs/manual_diseno_de_pavimentos_de_adoq

Gómez Domínguez, J. (2000). *Materiales de la construcción*. ITESM, Departamento de Ingeniería Civil.

<https://es.slideshare.net/ramirobautistaaguirre/libro-materialesdeconstruccion-dominguez>

Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Impreso- Centro de publicaciones Universidad Naciones Sección Manizales.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>

Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala. (2013). *Guía de Instalación de Adoquines de Concreto*. Impreso- Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala.

<https://www.iccg.org.gt/index.php/component/phocadownload/category/4->

[documentos-tecnicos?download=56:guia-de-instalacion-de-adoquines-de-concreto](#)

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (2010). *Agregados – Contenido de agua por secado. Método de prueba*. IMCYC.

<http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas37.pdf>

Mather, B. y Ozyildirim, C. (2002). *Cartilla del Concreto*. Ing; Raúl Huerta Martínez editor.

<https://es.slideshare.net/flaviorosarioflores/cartilla-del-concreto>

NTC 127. (2000). *Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto*.

NTC 1776. (1994). *Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados*.

NTC 237. (1995). *Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino*.

NTC 98. (2006). *Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos hasta de 17,5mm, utilizando la máquina de los ángeles*.

NTE INEN 1483. (1986). *Adoquines. Terminología y clasificación*. Primera Edición.

NTE INEN 1484. (1987). *Adoquines. Muestreo*. Primera Edición.

NTE INEN 1488. (1987). *Adoquines. Requisitos*. Primera Edición.

NTE INEN 1576. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico – Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*. Primera edición.

NTE INEN 1855. (2015). *Hormigones. Hormigón premezclado. Requisitos*. Primera edición.

NTE INEN 2566. (2010). *Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo*. Primera edición.

NTE INEN 3040. (2015-XX). *Adoquines de hormigón. requisitos y métodos de ensayo*. Primera Edición.

NTE INEN 3040. (2016-04). *Adoquines de hormigón. requisitos y métodos de ensayo*. Primera Edición.

NTE INEN 694. (2010). *Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología*. Primera edición.

NTE INEN 695. (2010). *Áridos. Muestreo. Terminología*. Primera edición.

NTE INEN 696. (2011). *Análisis granulométrico en los áridos finos y gruesos*. Primera edición.

NTE INEN 855. (2010). *Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*. Primera edición.

NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Primera revisión.

NTE INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Primera edición.

NTE INEN 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Primera revisión.

NTE INEN 860. (2010). *Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. Primera edición.

NTE INEN 862. (2011). *Áridos para hormigón, determinación del contenido total de humedad*.

Registro Oficial 598. (2017). *Instructivo para la gestión integral de neumáticos usados*, República del Ecuador, Asamblea Nacional.

<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-098.pdf>

Registro Oficial Suplemento 998. (2017). *Ley Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre*, República del Ecuador Asamblea Nacional.

https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/LOTAIP_5_LEY-DE-INFRAESTRUCTURA.pdf

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bhandar editores.

<https://www.ingenieriaayconstruccioncolombia.com/descargas/>

Yepes, W. (2012). *Efecto del sistema de vulcanización en la cinética de reacción y en las propiedades físico-químicas de un caucho natural colombiana*. [Tesis de pregrado, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia]. Repositorio institucional.

<https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/2836>

ANEXOS

ANEXO 1

Registro fotográfico de la elaboración de adoquines

Figura 38.

Peso de los materiales para la mezcla.



Elaborado por: Los autores.

Figura 39.

Instrumentos para la corrección por peso unitario de la mezcla.



Elaborado por: Los autores.

Figura 40.

Realización del ensayo de peso unitario del concreto fresco.



Elaborado por: Los autores.

Figura 41.

Mezcla de los materiales en la tolva.



Elaborado por: Los autores.

Figura 42.

Moldeado y vibrado de los adoquines.



Elaborado por: Los autores.

Figura 43.

Almacenamiento de adoquines.



Elaborado por: Los autores.

ANEXO 2

Determinación de resistencia al desgaste en adoquines método de Böhme (NTE INEN 3040 2015-xx anexo G)

Tabla 61.*Ensayo de desgaste en adoquines – Método de Böhme.*

Muestra		Volumen (mm ³)	Masa (g)	Densidad (g/mm ³)	Ciclos 1 al 4 Desgaste 1	Ciclos 5 al 8 Desgaste 2	Ciclos 9 al 12 Desgaste 3	Ciclos 13 al 16 Desgaste 4	Desgaste total (mm ³ /mm ²)	Desgaste promedio (mm ³ /mm ²)
0% FDC	1	351319.72	620.59	0.0017665	3441.92	4036.34	4743.97	4862.85	17085.08	16759/5000
	2	353773.07	686.81	0.0019414	3507.80	3837.47	4048.65	3966.24	15360.16	
	3	342997.20	620.90	0.0018102	5187.22	4054.76	3993.99	4596.13	17832.10	
3% FDC	1	357246.22	660.88	0.0018499	3362.29	3481.22	3216.34	3356.89	13416.73	13766/5000
	2	355735.75	656.55	0.0018456	3700.67	3353.90	3418.92	3348.48	13821.98	
	3	342487.66	602.89	0.0017603	3215.31	3681.14	3612.97	3550.48	14059.89	
6% FDC	1	346811.95	566.75	0.0016342	3316.67	3573.68	3585.92	3769.50	14245.76	14649/5000
	2	338604.00	560.63	0.0016557	3515.11	3931.85	3708.38	3877.49	15032.83	
	3	345444.39	546.87	0.0015831	3385.78	3379.46	4099.57	3802.69	14667.51	
9% FDC	1	356832.26	568.96	0.0015945	3944.87	3712.82	4245.91	3418.05	15321.66	19298/5000
	2	353768.45	523.82	0.0014807	3957.62	4146.73	4099.45	5044.96	17248.76	
	3	339087.72	516.22	0.0015224	6404.45	6351.90	6371.61	6194.25	25322.21	
12% FDC	1	338604.00	528.35	0.0015604	5819.11	4780.89	5037.24	5165.42	20802.66	17987/5000
	2	353720.25	540.19	0.0015272	4616.39	5081.30	5467.64	5755.75	20921.09	
	3	348866.37	541.44	0.0015520	3112.12	3028.35	3582.48	2512.89	12235.84	
15% FDC	1	345895.30	522.88	0.0015117	4696.79	6085.98	4657.10	5166.47	20606.33	19863/5000
	2	350836.20	530.50	0.0015121	4986.44	5165.00	4424.31	4794.65	19370.39	
	3	357811.92	525.62	0.0014690	4608.63	5514.01	5527.63	3961.92	19612.19	

Elaborado por: Los autores.

ANEXO 3

Determinación de resistencia a la tracción indirecta en adoquines. (NTE INEN 3040 2016-04 anexo E)

Tabla 62.

Ensayo de tracción indirecta en adoquines.

Muestra	Masa normal de la probeta (g)	l = Media de longitud de tracción indirecta (mm)	t = Media del espesor del adoquín (mm)	S = l ² t; Superficie de tracción indirecta (mm ²)	k = Factor de corrección por el espesor del adoquín	P = Carga de tracción indirecta (N)	T = Resistencia a tracción indirecta (MPa)	F = Carga de tracción indirecta por unidad de longitud (N/mm)	S = Desviación estándar (MPa)	fk = Resistencia característica (MPa)
0% FDC	1	8540	243,00	87,67	21303.00	1.05	125650.00	3,9		
	2	8160	241,00	85,00	20485.00	1.03	118847.00	3,8		
	3	8750	241,00	82,33	19842.33	1.01	118955.00	3,9		
	9	8680	241,50	90,53	21863.80	1.06	115018.00	3,6		
	10	8200	240,50	80,70	19408.35	1.00	121362.00	4,0	3.8	496
	11	7680	241,00	84,17	20284.17	1.03	122081.00	3,9		0.15
	12	8240	241,50	87,07	21026.60	1.04	115985.00	3,7		
13	7720	241,00	80,17	19320.17	1.00	120042.00	4,0			3.6
3% FDC	1	7650	240,00	86,67	20800.00	1.04	90852.00	2,9		
	2	7180	241,00	83,33	20083.33	1.02	85729.00	2,8		
	3	7580	240,00	89,50	21480.00	1.06	98325.00	3,1		
	9	7580	239,50	85,47	20469.27	1.03	95345.00	3,1	2.9	380
	10	7510	240,50	84,93	20426.47	1.03	83675.00	2,7		0.16
	11	7820	240,00	89,27	21424.00	1.06	87157.00	2,7		
	12	7280	240,00	84,60	20304.00	1.03	94713.00	3,1		
13	7750	240,50	87,37	21011.68	1.04	93910.00	3,0			2.6
6% FDC	1	7080	239,00	87,30	20864.70	1.04	60850.00	1,9		
	2	7000	240,50	86,80	20875.40	1.04	63458.00	2,0		
	3	7340	240,00	90,40	21696.00	1.06	59756.00	1,9		
	9	7280	241,00	88,53	21336.53	1.05	58142.00	1,8	2.0	265
	10	7210	241,00	90,07	21706.07	1.06	63157.00	2,0		0.14
	11	6870	241,00	86,90	20942.90	1.04	69875.00	2,2		
	12	7010	240,50	83,27	20025.63	1.02	67852.00	2,2		
13	6700	239,00	88,67	21191.33	1.05	65963.00	2,1			1.8

Elaborado por: Los autores.

Tabla 63.

Ensayo de tracción indirecta en adoquines.

Muestra	Masa normal de la probeta (g)	l = Media de longitud de tracción indirecta (mm)	t = Media del espesor del adoquín (mm)	S = l*t; Superficie de tracción indirecta (mm ²)	k = Factor de corrección por el espesor del adoquín	P = Carga de tracción indirecta (N)	T = Resistencia a tracción indirecta (MPa)	F = Carga de tracción indirecta por unidad de longitud (N/mm)	S = Desviación estándar (MPa)	fk = Resistencia característica (MPa)	
9% FDC	1	6960	241,00	89,13	21481.13	1.05	51043.00	1,6			
	2	6350	239,50	84,90	20333.55	1.03	42817.00	1,4			
	3	6850	240,50	88,70	21332.35	1.05	41857.00	1,3			
	9	6760	240,50	87,33	21003.67	1.04	40919.00	1,3	1.5	195	
	10	7040	240,50	89,57	21540.78	1.06	56527.00	1,8			0.23
	11	6660	240,00	86,10	20664.00	1.04	45825.00	1,5			
	12	6380	239,50	81,93	19623.03	1.01	44856.00	1,5			
13	6580	240,00	60,33	14480.00	0.88	50059.00	1,9				
1	6850	241,50	90,13	21767.20	1.06	28685.00	0,9				
2	6390	239,00	84,00	20076.00	1.02	34240.00	1,1				
12% FDC	3	6520	240,50	86,10	20707.05	1.04	31708.00	1,0			
	9	6650	240,50	88,77	21348.38	1.05	30724.00	1,0	0.9	123	
	10	6330	239,50	86,23	20652.88	1.04	30584.00	1,0			0.12
	11	6130	239,50	86,20	20644.90	1.04	27842.00	0,9			
	12	6510	240,50	87,93	21147.97	1.05	29177.00	0,9			
	13	6190	240,00	87,20	20928.00	1.04	22498.00	0,7			
1	6050	241,00	85,17	20525.17	1.03	19124.00	0,6				
15% FDC	2	6120	240,50	90,40	21741.20	1.06	10827.00	0,3			
	3	6390	239,50	88,40	21171.80	1.05	18420.00	0,6			
	9	6070	240,50	89,63	21556.82	1.06	25451.00	0,8	0.6	75	
	10	6410	240,50	86,27	20747.13	1.04	21092.00	0,7			0.18
	11	6480	239,00	87,50	20912.50	1.05	23975.00	0,8			
	12	6020	240,50	89,43	21508.72	1.06	11249.00	0,4			
	13	6150	240,00	90,47	21712.00	1.06	14554.00	0,5			

Elaborado por: Los autores.

ANEXO 4

Determinación de resistencia climática (absorción total de agua) en adoquines. (NTE INEN 3040 2016 anexo D)

Tabla 64.

Ensayo de absorción total de agua en adoquines

Muestra		Masa normal de la probeta (g)	M1 = Masa de la probeta saturada de agua (g)	M2 = Masa final de la probeta seca (g)	Wa = Índice de absorción de agua	
0% FDC	1	3682	3860	3650	5.75	5.46
	2	4220	4360	4130	5.57	
	3	4004	4150	3950	5.06	
3% FDC	1	3828	4000	3600	11.11	10.49
	2	4044	4280	3880	10.31	
	3	4034	4270	3880	10.05	
6% FDC	1	3606	3880	3430	13.12	12.55
	2	3570	3810	3370	13.06	
	3	3828	4080	3660	11.48	
9% FDC	1	3436	3730	3240	15.12	15.63
	2	3300	3610	3090	16.83	
	3	3476	3770	3280	14.94	
12% FDC	1	3258	3520	3040	15.79	15.42
	2	3528	3830	3320	15.36	
	3	3312	3580	3110	15.11	
15% FDC	1	3386	3560	3080	15.58	15.69
	2	3224	3510	3050	15.08	
	3	3306	3620	3110	16.40	

Elaborado por: Los autores.

ANEXO 5

Registro fotográfico de los ensayos en adoquines

Figura 44.

Ensayo de desgaste en adoquines – Método de Böhme.



Elaborado por: Los autores.

Figura 45.

Ensayo de tracción indirecta.



Elaborado por: Los autores.

Figura 46.

Ensayo de absorción total.



Elaborado por: Los autores.