



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COHESIÓN DEBIDO A LA HUMEDAD
EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

AUTORES:

García Delviciér, Christian Joao
Garzozzi Palma, Jorge Nahin

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.

Guayaquil, Ecuador

2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **García Delvicier Christian Joao** y **Garzosi Palma Jorge Nahin**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther. MSc.

Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **García Delvicier Christian Joao** y
Garzosi Palma Jorge Nahin

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación **Evaluación de la pérdida de cohesión debido a la humedad en las mezclas asfálticas** previo a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación, de tipo **experimental e investigativo** referido.

Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2018

AUTORES

f. _____

García Delvicier Christian Joao

f. _____

Garzosi Palma Jorge Nahin



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **García Delvicier Christian Joao** y
Garzozi Palma Jorge Nahin

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Evaluación de la pérdida de cohesión debido a la humedad en las mezclas asfálticas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2018

AUTORES

f. _____

García Delvicier Christian Joao

f. _____

Garzozi Palma Jorge Nahin

Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS DE CHRISTIAN GARCIA Y JORGE GARZOZI.docx (D35972470)
Submitted: 2/27/2018 6:19:00 PM
Submitted By: iifiuc.ucatolica@cu.ucsg.edu.ec
Significance: 1 %

Sources included in the report:

tesis-Urkund2.docx (D13822633)
tesis -Urkund.docx (D13819882)

Instances where selected sources appear:

2

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado salud para poder culminar con esta etapa de mi vida. A mi familia, en especial a mis padres Walter y Grace, pilares fundamentales en mi vida, quienes me han dado su amor y apoyo incondicional, me han enseñado valores y me han motivado a cumplir todas mis metas. Al Dr. Rolando Vila por la confianza y por compartir sus conocimientos para lograr culminar este trabajo. Al Ing. José Jaramillo por su sincera amistad, paciencia y apoyo a lo largo de este trabajo. A mi amigo y compañero de tesis Jorge Garzosi y demás personas que incidieron para que esto sea posible.

Christian García Delvicier

Primero quisiera agradecerle a Dios por todas las bendiciones que me ha brindado a lo largo de esta carrera y a pesar de los tropiezos y complicaciones siempre me dio las fuerzas para cumplir mi meta; segundo a mi familia por su gran apoyo en todos los momentos, en especial a mis padres, siendo los pilares fundamentales de mi vida que gracias a con sus consejos y los valores que me inculcaron puedo disfrutar de este éxito y también a mi hermana ya que nunca dejo de creer en mí y siempre estuvo apoyándome en todo momento y me dio la fortaleza para enfrentar todos los retos que me he propuesto. Agradezco a mi tutor el Dr. Rolando Vila y al ingeniero José Jaramillo por su tiempo, dedicación y paciencia ya que no solo fueron guías sino también amigos en este tiempo de desarrollo en el trabajo de titulación Además a mi compañero de tesis y amigo Christian García por su esfuerzo y dedicación al realizar este trabajo.

Jorge Garzosi Palma

DEDICATORIA

A mis padres por brindarme su amor, comprensión y apoyo sin cansancio, quienes considero mis ejemplos a seguir. A mis hermanos y familiares que me acompañaron en todo momento.

Christian García Delviciér

Este trabajo se lo dedico a Dios, porque sin sus bendiciones nada de esto hubiera sido posible, y a mis padres por brindarme su apoyo y fuerzas incondicionalmente.

También a mi hermana y todos mis seres queridos por darme su ayuda, consejos y preocupación en este largo camino.

Jorge Garzozi Palma



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Rolando Vila Romaní. PhD.

TUTOR

f. _____

Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas. MSc.

DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

Ing. Daniel De La Pared Condo. MI.

DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Federico von Buchwald. MSc.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	2
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Razones que motivaron el estudio	3
1.3. Justificación del tema	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Alcance	4
1.6. Metodología	5
CAPÍTULO II	7
2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	7
2.1 Cemento asfáltico	7
2.2 Agregados Minerales	8
2.2.1 Clasificación de los agregados a utilizar según su mineralogía	8
2.2.2 Características de los Agregados minerales para Mezclas Asfálticas	13
2.2.3 Exigencias de la calidad de los agregados minerales en el Ecuador para Mezclas Asfálticas	19
2.2.4 Características de los agregados a utilizar	20
2.3 Mezclas Asfálticas	24
2.3.1 Parámetros Constitutivos	25
2.3.1.1 Granulometría del agregado combinado	25
2.3.1.2 Porcentaje de Asfalto (Pb)	30
2.3.2 Parámetros Volumétricos	36
2.3.2.1 Gravedad Específica Bruta “Bulk” (Gmb)	36
2.3.2.2 Densidad máxima teórica (RICE)	37
2.3.3.2 Porcentaje de vacíos con aire (Va)	38
2.3.2.4 Porcentajes de vacíos en el agregado (VMA)	39
2.3.2.5 Porcentaje de vacíos relleno de asfalto (VFA)	40
CAPÍTULO III	41
3. ESTUDIO EXPERIMENTAL	41
3.1. Metodología de trabajo	41
3.2. Proceso de elaboración de cilindros	42

3.3. Parámetros volumétricos obtenidos en la elaboración de los cilindros	46
3.4. Ensayos realizados	51
3.4.1 Ensayo de compresión	51
3.4.1 Ensayo de corte	52
3.4.3 Distribución de los cilindros para las pruebas de resistencia	53
3.4.4 Proceso de saturación con inmersión en agua	58
CAPÍTULO IV	60
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
4.1. Resultados de ensayos de compresión	60
4.1.1 Andesita	60
4.1.2 Argilita	62
4.1.3 Basalto 1	63
4.1.4 Basalto 2	65
4.1.5 Caliza	66
4.1.6 Depósitos Aluviales	68
4.1.7 Granito	69
4.1.8 Lutita	71
4.1.9 Pizarra.....	72
4.2. Resultados de ensayos de corte	74
4.2.1 Andesita	74
4.2.2 Argilita	75
4.2.3 Basalto 1	77
4.2.4 Basalto 2	78
4.2.5 Caliza	80
4.2.6 Depósitos Aluviales	81
4.2.7 Granito	83
4.2.8 Lutita	84
4.2.9 Pizarra.....	86
4.3. Evaluación de resultados.....	87
CAPÍTULO V	94
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
CAPÍTULO V	96
6. BIBLIOGRAFÍA	96

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2

Figura 2. 1 Cemento Asfáltico.....	7
Figura 2. 2 Andesita.....	9
Figura 2. 3 Argilita.....	9
Figura 2. 4 Basalto.....	10
Figura 2. 5 Caliza.....	10
Figura 2. 6 Granito.....	11
Figura 2. 7 Lutita.....	12
Figura 2. 8 Pizarra	12
Figura 2. 9 Depósitos Aluviales.....	13
Figura 2. 10 Daño en agua	18
Figura 2. 11 Granulometría del agregado Andesita	26
Figura 2. 12 Granulometría del agregado Argilita	26
Figura 2. 13 Granulometría del agregado Basalto 1	27
Figura 2. 14 Granulometría del agregado Basalto 2	27
Figura 2. 15 Granulometría del agregado Calizo	28
Figura 2. 16 Granulometría del agregado Depósito Aluvial	28
Figura 2. 17 Granulometría del agregado Granito.....	29
Figura 2. 18 Granulometría del agregado Lutita.....	29
Figura 2. 19 Granulometría del agregado Pizarra	30
Figura 2. 20 Ensayo RICE	37

CAPITULO 3

Figura 3. 1 Moldes y bandejas de agregados en horno	43
Figura 3. 2 Mezclado de agregado y ligante asfáltico	43
Figura 3. 3 Relleno de moldes de mezcla asfáltica	44
Figura 3. 4 Control de temperatura	44
Figura 3. 5 Proceso de compactación con martillo Marshall modificado	45
Figura 3. 6 Cilindros en cámara de frío	45
Figura 3. 7 Desmolde de cilindros.....	46
Figura 3. 8 Cilindros con diferentes agregados.....	46

Figura 3. 9 Ensayo de compresión	52
Figura 3. 10 Ensayo de corte.....	53

CAPITULO 4

Figura 4. 1 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Andesita	61
Figura 4. 2 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Andesita	61
Figura 4. 3 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Argilita ..	62
Figura 4. 4 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Argilita ..	63
Figura 4. 5 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Basalto 1	64
Figura 4. 6 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Basalto 1	64
Figura 4. 7 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Basalto 2	65
Figura 4. 8 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Basalto 2	66
Figura 4. 9 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Caliza ..	67
Figura 4. 10 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Caliza..	67
Figura 4. 11 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Depósito Aluvial.....	68
Figura 4. 12 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Depósito Aluvial.....	69
Figura 4. 13 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Granito	70
Figura 4. 14 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Granito	70
Figura 4. 15 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Lutita..	71
Figura 4. 16 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Lutita..	72
Figura 4. 17 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Pizarra	73

Figura 4. 18 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Pizarra	73
Figura 4. 19 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Andesita	74
Figura 4. 20 Resultados de prueba a corte con inmersión con Andesita	75
Figura 4. 21 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Argilita	76
Figura 4. 22 Resultados de prueba a corte con inmersión con Argilita	76
Figura 4. 23 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Basalto 1	77
Figura 4. 24 Resultados de prueba a corte con inmersión con Basalto 1	78
Figura 4. 25 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Basalto 2	79
Figura 4. 26 Resultados de prueba a corte con inmersión con Basalto 2	79
Figura 4. 27 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Caliza	80
Figura 4. 28 Resultados de prueba a corte con inmersión con Caliza	81
Figura 4. 29 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Depósito Aluvial	82
Figura 4. 30 Resultados de prueba a corte con inmersión con Depósito Aluvial	82
Figura 4. 31 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Granito	83
Figura 4. 32 Resultados de prueba a corte con inmersión con Granito	84
Figura 4. 33 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Lutita	85
Figura 4. 34 Resultados de prueba a corte con inmersión con Lutita	85
Figura 4. 35 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Pizarra	86
Figura 4. 36 Resultados de prueba a corte con inmersión con Pizarra	87
Figura 4. 37 Variación de la resistencia a compresión con los tipos de agregados	88
Figura 4. 38 Variación de la resistencia a cortante con los tipos de agregados	89
Figura 4. 39 Variación de la diferencia de resistencia retenida	91
Figura 4. 40 Relación entre resistencia retenida a compresión y el porcentaje de vacíos	92
Figura 4. 41 Relación entre resistencia retenida a cortante y el porcentaje de vacíos	93

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 2

Tabla 2. 1 Requisitos de calidad de los agregados según el MTOP 2002....	19
Tabla 2. 2 Características del agregado Andesita.....	20
Tabla 2. 3 Características del agregado Argilita.....	21
Tabla 2. 4 Características del agregado Basalto 1	21
Tabla 2. 5 Características del agregado Basalto 2.....	22
Tabla 2. 6 Características del agregado Caliza.....	22
Tabla 2. 7 Características del agregado Depósitos Aluviales.....	23
Tabla 2. 8 Características del agregado Granito	23
Tabla 2. 9 Características del agregado Lutita.....	24
Tabla 2. 10 Características del agregado Pizarra Tobácea.....	24
Tabla 2. 11 Porcentaje de pasantes para capas de rodadura en pavimentos asfálticos del Ecuador.....	25
Tabla 2. 12 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Andesita	32
Tabla 2. 13 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Argilita ...	32
Tabla 2. 14 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Basalto	133
Tabla 2. 15 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Basalto	233
Tabla 2. 16 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Caliza	34
Tabla 2. 17 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Aluvial	34
Tabla 2. 18 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Lutita.....	35
Tabla 2. 19 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Pizarra ...	35
Tabla 2. 20 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Granito...	36
Tabla 2. 21 Valores RICE por tipo de roca.....	38

CAPITULO 3

Tabla 3. 1 Agregados minerales empleados	41
Tabla 3. 2 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Andesita.	47
Tabla 3. 3 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Argilita	47
Tabla 3. 4 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Basalto 1	48
Tabla 3. 5 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Basalto 2	48
Tabla 3. 6 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Caliza	49
Tabla 3. 7 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Aluvial	49

Tabla 3. 8	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Granito	50
Tabla 3. 9	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Lutita	50
Tabla 3. 10	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Pizarra	51
Tabla 3. 11	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Andesita	54
Tabla 3. 12	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Argilita	54
Tabla 3. 13	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Basalto 1	55
Tabla 3. 14	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Basalto 2	55
Tabla 3. 15	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Caliza	56
Tabla 3. 16	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Aluvial	56
Tabla 3. 17	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Granito	57
Tabla 3. 18	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Lutita	57
Tabla 3. 19	Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Pizarra	58

CAPITULO 4

Tabla 4. 1	Resistencia a compresión de cilindros con agregado Andesita ...	60
Tabla 4. 2	Resistencia a compresión de cilindros con agregado Argilita	62
Tabla 4. 3	Resistencia a compresión de cilindros con agregado Basalto 1 ..	63
Tabla 4. 4	Resistencia a compresión de cilindros con agregado Basalto 2 ..	65
Tabla 4. 5	Resistencia a compresión de cilindros con agregado Caliza	66
Tabla 4. 6	Resistencia a compresión de cilindros con agregado Aluvial	68
Tabla 4. 7	Resistencia a compresión de cilindros con agregado Granito	69
Tabla 4. 8	Resistencia a compresión de cilindros con agregado Lutita	71
Tabla 4. 9	Resistencia a compresión de cilindros con agregado Pizarra	72
Tabla 4. 10	Resistencia a corte de cilindros con agregado Andesita	74
Tabla 4. 11	Resistencia a corte de cilindros con agregado Argilita	75
Tabla 4. 12	Resistencia a corte de cilindros con agregado Basalto 1	77
Tabla 4. 13	Resistencia a corte de cilindros con agregado Basalto 2	78
Tabla 4. 14	Resistencia a corte de cilindros con agregado Caliza	80
Tabla 4. 15	Resistencia a corte de cilindros con agregado Aluvial	81
Tabla 4. 16	Resistencia a corte de cilindros con agregado Granito	83
Tabla 4. 17	Resistencia a corte de cilindros con agregado Lutita	84
Tabla 4. 18	Resistencia a corte de cilindros con agregado Pizarra	86
Tabla 4. 19	Resumen de los resultados de resistencia obtenidos	88

RESUMEN

Uno de los problemas que más impacta el comportamiento de las mezclas asfálticas en los pavimentos de carreteras es el daño por el agua, en el presente trabajo se realiza un análisis de la pérdida de cohesión debido al efecto de la humedad en mezclas para capas de rodadura producidas con agregados de composiciones diferentes, evaluada a partir de la resistencia retenida en pruebas de compresión y corte directo con y sin inmersión en agua.

Se seleccionaron 9 tipos de agregados de calidad variable empleando la misma exigencia granulométrica y porcentajes de asfaltos variables, buscando alcanzar un porcentaje de vacíos próximo al 7%.

Los resultados obtenidos en ambos ensayos tienen tendencia parecida respecto a la pérdida de cohesión, aunque en general los valores obtenidos en la resistencia retenida a cortante son menores.

El peor comportamiento atendiendo a las rocas estudiadas lo generan la Argilita y la Lutita aunque según la prueba de corte también se pudieran incluir la Pizarra y el Basalto 1.

Palabras claves: Ensayo de corte, Ensayo de compresión, Cohesión, Mezclas asfálticas.

ABSTRACT

One of the problems that most impacts the behavior of asphalt mixtures in road pavements is the damage by water, in the present work an analysis of the loss of cohesion due to the effect of moisture in mixtures for road layers is performed produced with aggregates of different compositions, evaluated from the resistance retained in compression tests and direct cutting with and without immersion in water.

9 types of variable quality aggregates were selected using the same granulometric requirement and percentages of variable asphalts, seeking to reach a percentage of gaps close to 7%.

The results obtained in both tests have a similar tendency with respect to the loss of cohesion, although in general the values obtained in the resistance retained to shear are lower.

The worst behavior according to the studied rocks is generated by Argilite and Shale, although according to the cutting test the Slate and Basalt 1 could also be included.

Key words: Shear Test, Compression Test, Cohesion. Asphalt mixtures.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En todo el mundo el impacto del daño en agua en las mezclas asfálticas de los pavimentos es muy grande, y en general los controles más estrictos existentes no se enfocan al control de los mecanismos que producen la degradación sino en la evaluación indirecta de su efecto, comparando la pérdida de resistencia a compresión o tracción que puede producirse en briquetas antes y después de un proceso de inmersión en agua.

En Ecuador la evaluación del daño por humedad puede hacerse de dos maneras posibles: la primera una evaluación visual de los desprendimientos superficiales del asfalto observados en una mezcla colocada en agua hirviendo (procedimiento de poca precisión y anticuado); y la segunda determinando la resistencia a la tracción indirecta retenida en briquetas luego de un proceso de inmersión en agua (procedimiento válido pero enfocado a un tipo de fallo).

El punto de partida para analizar el funcionamiento de la mezcla se encuentra en el sistema agregado mineral – ligante asfáltico, especialmente en la calidad y posterior conservación de la adherencia que se produce entre ellos. Si bien los agregados minerales por una parte y el asfalto por otra deben cumplir ciertos requisitos de calidad, usualmente no se realizan pruebas para la evaluación directa de la adherencia en el mencionado sistema. Es más, en los últimos 10 años es que se está tratando este asunto con más profundidad a nivel internacional.

1.2. Razones que motivaron el estudio

Una de las principales preocupaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) del Ecuador es la poca durabilidad de los pavimentos asfálticos.

Es muy común encontrar vías construidas o rehabilitadas para períodos de diseño de 10 años que deben intervenir nuevamente a los pocos años, lo que crea un serio problema de gastos para el país, además de las afectaciones a la seguridad y el confort de los usuarios.

Los deterioros que se producen debido a la poca durabilidad se ven aceleran durante la temporada de lluvias, siendo tal vez el más típico el conocido como “desmoronamiento e intemperismo”, conocido en el Ecuador como “peladura”. Este tipo de falla es registrado en el método de evaluación y calificación de daños PAVER (ASTM D6334-07), muy usual en el país. Si bien en este deterioro inciden ciertas insuficiencias constructivas, como una mala compactación, también pueden existir problemas de calidad de los agregados y falta de adhesión agregado-asfalto entre otros, aspectos que se relacionan con el diseño de la mezcla. Vale destacar que un fallo por peladura está mucho más relacionado con el fallo por cortante de la mezcla que al fallo por tracción y menos aún por compresión. Sin embargo, la resistencia al cortante no se prevé en los procedimientos de control.

1.3. Justificación del tema

El diseño y control de calidad rutinario a las mezclas fabricadas en planta en el Ecuador se basa en los criterios del método de diseño Marshall (Asphalt Institute, 1997), cuyo empleo está establecido por nuestras especificaciones técnicas (MTO, 2002). Sin embargo, los parámetros resistentes involucrados: la estabilidad Marshall y el flujo, están relacionados solo con la deformación plástica. Otras pruebas para el control de las fisuras y el efecto del agua son escasas. Pese a que usualmente se cumple con los diseños y controles establecidos es muy frecuente ver en el país pavimentos dañados a

los pocos años de su construcción o rehabilitación, lo que demuestra la poca durabilidad de estos. La incidencia de los daños como es conocido por todos se acelera durante el período de invierno y hace crisis con los fenómenos del El Niño.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la pérdida de cohesión debido al efecto de la humedad en la fracción fina de diferentes mezclas asfálticas para capas de rodadura producidas con agregados de composiciones mineralógicas diferentes, mediante el empleo de pruebas inmersión- compresión y corte directo.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Selección y estudio de nueve tipos de agregados minerales de diferente composición mineralógica, así como del cemento asfáltico a emplear.
- ✓ Preparar las muestras correspondientes a cada planta según los parámetros volumétricos específicos en cada caso.
- ✓ Determinar la pérdida de cohesión y/o la resistencia retenida por la acción del agua.
- ✓ Analizar y comparar los resultados obtenidos de acuerdo a criterios estadísticos.

1.5. Alcance

Este trabajo está enmarcado dentro de un proyecto de investigación que realiza el Laboratorio de Carreteras del IIFIUC para evaluar el nivel de daño por el agua en mezclas asfálticas y pretende ampliar la visión que nos ofrecen las pruebas convencionales que exigen las normativas del MTOP respecto al

daño por humedad, que es uno de los problemas más importantes en las mezclas.

Se compararán los resultados de compresión simple de corte directo en cilindros con y sin inmersión, para analizar las relaciones existentes entre ellos.

En las mezclas asfálticas el daño por humedad se define como la pérdida de rigidez o resistencia causada por la exposición a la humedad bajo cargas mecánicas, lo que puede acelerar varios tipos de daños en las capas asfálticas, como son los desprendimientos de agregados (peladuras), fisuras y baches. Si el agua penetra en una capa asfáltica, podrá actuar como un efectivo agente destructor de las delgadas películas de asfalto que recubren los agregados, siguiendo mecanismos químicos y físicos. De esta forma ocurre una pérdida de adherencia y cohesión de la mezcla, que implicará destrucciones prematuras como desmoronamientos (peladuras) y fisuras, los cuales suelen presentarse en las temporadas de lluvia de la costa ecuatoriana.

1.6. Metodología

El presente trabajo de titulación presenta una parte teórica y otra experimental, donde se pretende realizar mediante el empleo de pruebas inmersión - compresión y corte directo a cilindros de mezclas asfálticas con agregados procedente de nueve canteras, que contengan porcentajes de vacíos parecido a los que se pueden encontrar en las carreteras para poder evaluar el daño por humedad entre el ligante asfáltico y el agregado mineral. El trabajo de titulación está compuesto por cuatro etapas, las cuales se mencionan a continuación:

1. Marco teórico.
2. Elaboración de las muestras a ensayar.
3. Desarrollo experimental.
4. Análisis de resultados.

Cada etapa cuenta con temas y procedimientos definidos, dentro de los cuales se pueden encontrar los siguientes:

1. Marco teórico:
 - ✓ Estudio bibliográfico.
2. Elaboración de cilindros:
 - ✓ Recopilación de los diferentes materiales a utilizar.
 - ✓ Determinación del número de golpes necesario para obtener porcentaje de vacíos requerido.
 - ✓ Fabricación de los cilindros correspondiente a las diferentes mezclas asfálticas.
 - ✓ Determinación de las densidades de los diferentes cilindros realizados.
3. Desarrollo experimental:
 - ✓ Pruebas de compresión y corte directo a las diferentes mezclas elaboradas, en condiciones sin y con inmersión.
4. Análisis de resultados:
 - ✓ Comparación de los resultados obtenidos entre las diferentes mezclas asfálticas, y el daño en agua.
 - ✓ Conclusiones.
 - ✓ Recomendaciones.

CAPÍTULO II

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1 Cemento asfáltico

El asfalto es considerado como un material bituminoso, cementante, altamente adhesivo, impermeable y duradero, además, es resistente a agentes externos como los álcalis, ácidos y sales (ver Figura 2.1). Puede producirse naturalmente a través del proceso de destilación durante millones de años, pudiendo ser libre de impurezas o contaminado con ciertas proporciones de agua, minerales y otras sustancias. Por esta razón pueden hallarse en depósitos naturales, específicamente dentro de rocas porosas, conocido como asfalto de rocas o roca asfáltica. En la actualidad es obtenido como residuo del proceso de refinación industrial del petróleo al ser separado de las fracciones volátiles.



Figura 2. 1 Cemento Asfáltico

Fuente: Pasargadoilco

Las características del ligante asfáltico pueden influir tanto en la adherencia del sistema asfalto-agregado como en la cohesión del mástico (mezcla de asfalto con filler). Las propiedades del ligante asfáltico que influyen en la unión con el agregado son: la química del asfalto, la viscosidad, el espesor de la película y la energía superficial.

Algunos estudios han sugerido que los asfaltos más envejecidos son más propensos a daños por humedad que aquellos no envejecidos, debido a la presencia de material fuertemente ácido en los ligantes oxidados. Se ha observado que los cementos asfálticos que contienen cetonas y nitrógeno son los menos susceptibles al daño por la humedad.

2.2 Agregados Minerales

Proveniente de canteras o de ríos y se clasifica en agregado grueso, que son gravas y agregado fino, que son arenas. Los agregados son comúnmente clasificados como hidrofílicos (mayor afinidad natural por el agua que por el ligante asfáltico) o hidrofóbico (mayor afinidad natural por el asfalto que por el agua).

Los agregados deben cumplir con ciertas características para que así nuestras mezclas se desempeñen de mejor manera, ya que de ellos depende una gran parte del comportamiento de las mezclas asfálticas. El tamaño y la forma del agregado, el volumen de poros, el área superficial y la absorción son algunas de las características de los agregados que pueden influir en el daño por humedad.

En las mezclas asfálticas el agregado mineral constituye un 93 a 97% en peso y el asfalto un 3 a 7%, proporcionando el agregado gran parte de la capacidad portante en el pavimento. (Garnica, Flores, Gómez, & Delgado, 2005).

2.2.1 Clasificación de los agregados a utilizar según su mineralogía

Para el presente trabajo de titulación se utiliza mezclas asfálticas con nueve tipos de agregados minerales los cuales se detallan a continuación:

- ✓ **Andesita:** Es una roca ígnea extrusiva de grano fino, proveniente de erupciones con tonalidad gris oscuro o negra. Está compuesta principalmente por plagioclasa con otros minerales y es de gran importancia en obras hidráulicas por su impermeabilidad e incluso

como fino puede servir como sub-base para construcción de carreteras.
(Figura 2.2)



Figura 2. 2 Andesita

Fuente: Foro de minerales

- ✓ **Argilita:** Es una roca arcillosa sedimentaria con cuarzo, sílice y hierro formadas con alteraciones o reemplazamientos de feldespato con un tamaño menor a 4 micras (1/256mm) también se considera rocas metafóricas por presentar cierta cristalización con diversos colores entre ellos rojo, gris, blanco y verde depositándose en zonas marinas y pueden ser usados en cerámicas y ladrillos. (Figura 2.3)



Figura 2. 3 Argilita

Fuente: Autores

- ✓ **Basalto:** Es una roca volcánica de origen ígneo de grano fino producto del rápido enfriamiento del magma, es impermeable y expuesto en la atmósfera tiene tendencia a meteorizarse. Está compuesta principalmente por plagioclasa y piroxeno y se identifica por su color

oscuro y contiene de 45 a 55% de sílice que comparándolas con otras rocas ígneas su contenido es bajo, además posee una baja capacidad de reflejar radiación. (Figura 2.4)



Figura 2. 4 Basalto

Fuente: Foro de mineralogía formativa

- ✓ **Caliza:** Esta roca está compuesta por minerales de magnesio y carbonatos de calcio. La caliza contiene varios derivados de su material como la calcita, aragonita, y la dolimita. Contienen la mayor cantidad de carbono y hoy en día el conocimiento que se tiene sobre los invertebrados en la paleontología se debe a los fósiles que tienen estas rocas. (Figura 2.5)



Figura 2. 5 Caliza

Fuente: The University of Auckland: Geology rocks & minerals

- ✓ **Granito:** Es una roca intrusiva ígnea de grano grueso y de color claro que contiene principalmente cuarzo y los minerales de feldesfato.

En la capa superior continental las rocas más abundantes son los granitoides ya que conforman el 5 % de la corteza terrestre y el 17 % de los continentes. Estos se forman cuando el magma se solidifica con alto contenido en sílice lo que se conoce como magma saturado bajo la corteza terrestre con un enfriamiento lento. (Figura 2.6)

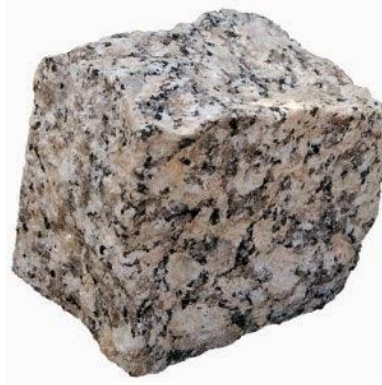


Figura 2. 6 Granito

Fuente: Materiales pétreos MM

- ✓ **Lutita:** Es una roca sedimentaria compuesta por partículas del tamaño de la arcilla y del limo. Estas constituyen más de la mitad de todas las rocas sedimentarias. Las partículas de estas rocas son tan pequeñas que no pueden identificarse con facilidad sin grandes aumentos y es por ello que resulta más complicado el estudio y análisis de lutitas que la mayoría de las otras rocas sedimentarias. Las diminutas partículas de la lutita indican que se produjo un depósito como consecuencia de la sedimentación gradual de corrientes no turbulentas relativamente tranquilas. (Figura 2.7)



Figura 2. 7 Lutita

Fuente: Autores

Pizarra: Es una roca metamórfica homogénea de grano fino formada por la compactación por metamorfismo de bajo grado de lutitas. Se presenta generalmente en un color opaco azulado oscuro y estructurada en lajas u hojas planas por una esquistosidad bien desarrollada, y gracias a esta característica es utilizada en cubiertas. (Figura 2.8)



Figura 2. 8 Pizarra

Fuente: Ciclo de las rocas – Guillermo Muñoz Vera

- ✓ **Depósitos Aluviales:** Está conformado por material transportado por un río y depositado, casi siempre temporalmente, en puntos a lo largo de su llanura de inundación. Están normalmente compuestos por cantos rodados (quijarros) y arenas naturales. Pueden poseer gran variedad de minerales importantes. En nuestro estudio se emplearán cantos rodados triturados. Dichos cantos rodados son fragmentos de

rocas pulidas y pueden proceder de rocas graníticas, areniscas y cuarcitas entre otros. (Figura 2.9)



Figura 2. 9 Depósitos Aluviales

Fuente: Texplorock - Clasificación de los depósitos sedimentarios

2.2.2 Características de los Agregados minerales para Mezclas Asfálticas

La mezcla asfáltica es la combinación de asfalto y agregados minerales en porciones medidas, las características principales de estos son:

- ✓ **Tamaño:** En un ensayo de granulometría al ser tamizado, las partículas que tienen un diámetro entre 2mm y 6.4cm son llamadas gravas. Tales con menor diámetro entre 0.075 y 2mm son llamadas arenas gruesas o arenas finas; y finalmente las que tienen un diámetro inferior a 0.075mm son reconocidas como arcilla. Estas últimas pueden adquirir la denominación de filler si no experimentan plasticidad en contacto con el agua (índice de plasticidad, $IP=0$). (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

- ✓ **Dureza:** Es la capacidad que tienen los agregados para soportar el roce de todas las partículas de la mezcla para que en su tiempo de servicio soporten todo tipo de situaciones y este parámetro se evalúa por medio de dos ensayos que son:

- El ensayo de sanidad de los agregados frente a la acción de los sulfato de sodio (AASHTO T104): Evalúa la resistencia del agregado pétreo a desintegrarse cuando, dentro de sus poros, el agua se expande por congelamiento. En teoría es un ensayo que busca evaluar la resistencia de agregado pétreo al intemperismo.
 - El ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles (AASHTO T96): Permite medir la resistencia a la abrasión o desgaste por fricción entre partículas. Sin embargo, la realidad es que el ensayo solo presenta una resistencia a la fracturación entre partículas por impacto ya que, durante la prueba, agregados pétreos gruesos de hasta 37.5mm (gravas) son impactadas dentro de un cilindro metálico por esferas de acero de diámetro aproximado 46.8mm y una masa comprendida entre 390g y 445g, las cuales lo fracturan. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).
- ✓ **Forma:** Los agregados pueden presentar diversas formas y ángulos que pueden interferir en el pavimento, podemos evaluar la forma del agregado con los siguientes ensayos:
- Caras fracturadas a una y dos caras (ASTM D 5821): Ensayo visual que consiste en medir el número o la masa de partículas de agregado pétreo grueso, entre 9.5 y 90mm de diámetro, que presentan caras fracturadas dentro de una muestra significativa. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).
 - Partículas planas y alargadas (ASTM D 4791): Con este ensayo se determina la cantidad de partículas alargadas o partículas planas dentro de una muestra.
 - Angularidad (ASTM C 1252): Este ensayo sirve para asegurar un agregado anguloso con alto grado de fricción interna entre partículas.

- ✓ **Textura Superficial:** Por medio de esta característica se puede comprobar la resistencia al deslizamiento de la mezcla. La adherencia superficial está determinada por dos tipos de condiciones, micro-textura y macro-textura

La micro-textura corresponde a la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos, las cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulida. En general, los áridos utilizados por su mayor dureza presentan un menor desgaste o pulimiento. (Roco, Fuentes, & Valverde). Puede chequearse por:

- Ensayo de Péndulo de Fricción: tiene mediciones normalizadas según la ASTM E-303, para efectuar la medida, este se ajusta al modo que el patín de goma, fijado en el péndulo, recorra una distancia normalizada en la superficie a medir. El péndulo se balancea desde la vertical hasta el reposo y La pérdida de energía del péndulo debido a la fricción del pavimento se registra en una escala graduada. Este instrumento es indicativo de la resistencia al deslizamiento a bajas velocidades (menor a 50km/h), por consiguiente, provee medidas para la micro-textura. (Roco, Fuentes, & Valverde)

La macro-textura en cambio, se refiere a la textura superficial del pavimento asfáltico, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. En este caso, las propiedades de la macro-textura están dadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie. (Roco, Fuentes, & Valverde). Puede evaluarse por:

- El método del círculo de arena: está basado en la Norma ASTM E-965, determina la profundidad de penetración de un volumen conocido de arena dentro de las asperezas de la superficie de un pavimento, valor que se denomina “profundidad de textura”. (Gerencia)

- ✓ **Limpieza:** Para que un agregado pétreo se comporte adecuadamente dentro de cualquier capa de firme, debe estar completamente limpio, durables y libres de cantidades en excesos de piezas planas o alargadas, polvo, bolas de arcilla y otro material indeseable. Se pueden realizar los siguientes ensayos para garantizar la limpieza de los agregados pétreos: (Ingeniería Civil, 2011)
 - Equivalente de arena (ASTM D2419): Este ensayo es utilizado para evaluar el contenido de partículas de tamaño de arcilla en una muestra de agregado pétreo fina, como arena triturada. El exceso de partículas de tamaño de arcilla en una mezcla asfáltica es indeseable. Adicionalmente, el exceso de finos induce pérdidas de adherencia con el asfalto y necesidad de incrementar el contenido de asfalto para aglomerarlo. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).
 - Ensayo de deletéreos (AASHTO T-112 y ASTM C-142): Determina grumos de arcilla y partículas desmenuzables o friables en agregados, usando una báscula o balanza con aproximación del 0.1% del peso de la muestra, recipientes, tamices, una estufa para el secado que permita libre circulación de aire y pueda mantener una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$. (MTD, 2000).

- ✓ **Adherencia:** La adherencia depende del tipo y calidad de los agregados proveniente de distintos lugares y canteras, como consecuencia de una mala adherencia se dan los deterioros y problemas en los pavimentos, originando el desprendimiento en la superficie de la carpeta asfáltica. Los ensayos de control para este parámetro en el Ecuador son:
 - Prueba de agua hirviendo (Boiling Test) – ASTM D 3625: Esta prueba se la realiza con la finalidad de evaluar la susceptibilidad a la humedad de un pavimento asfáltico, apreciando mediante la observación el nivel de desvestimiento que se produce en la

muestra luego de ser sometida a un procedimiento en donde se hierva la mezcla en agua destilada. Dicho procedimiento asimismo se lo utiliza para valorar el rendimiento de los aditivos anti desvestimiento incluidos en ciertas mezclas que sufren más con el agua (Kennedy, Roberts, & Anagnos, 1984).

La prueba en mención consiste en medir visualmente la pérdida de la película de asfalto de la mezcla al someterla a agua en ebullición durante 10 minutos. En este examen visual que evalúa el desvestimiento, se dará como resultado el porcentaje de área total del agregado que retiene la cobertura original del ligante y se clasifica como superior al 95% o inferior a este valor. (Gamba & Mercado, 2004)

- Procedimiento de Ensayo ASTM D 3625.
 1. Se coloca alrededor de 950 ml de agua destilada en un vaso de precipitados de 1500-2000 ml.
 2. Se calienta el agua para que hierva y se aproxime hasta el punto de ebullición, y a continuación se agrega la mezcla.
 3. Luego se lleva a la mezcla hasta el punto de ebullición y se la mantiene en el agua hirviendo durante 10 minutos.
 4. Posteriormente se decanta el asfalto del vaso de precipitados y se llena el mismo con agua fría y se espera hasta que llegue a temperatura ambiente manteniéndola dentro del vaso.
 5. A continuación, se retira el agua de vaso y se esparce la mezcla sobre un papel en donde se espera hasta que la misma seque.
 6. Finalmente se aprecia mediante la observación, la cantidad de asfalto que ha quedado en el agregado después del proceso de hervido. El porcentaje del área visible total del

agregado que conservó su recubrimiento original de asfalto está clasificado como superior o inferior a 95%.

Fuente: (González, 2015); (Hicks, 1991)



Figura 2. 10 Daño en agua

Fuente: Hidalgo – Riera, 2016

- Pérdida de resistencia por tracción indirecta (TSR) – ASTM D 4867 – AASHTO T 283: El ensayo de pérdida de resistencia ante el agua por tracción indirecta, más conocido como TSR, conlleva el uso de una carga a compresión que se distribuye en toda la extensión de los ejes diametrales de una muestra. En el mencionado ensayo, se produce un estado de tensiones de tracción aproximadamente homogéneas a lo largo de los ejes diametrales, debido a los mecanismos empleados en el mismo, para realizar este ensayo:
 1. Se colocan las muestras en un baño de agua a 77 ° F (25 °C) durante un mínimo de 2 horas.
 2. Se ejecuta un ensayo de tracción indirecta sobre cada muestra mediante la colocación de la muestra entre las dos placas de apoyo de la máquina de ensayo y se le aplica la carga a una velocidad constante de 2 pulgadas / minuto (50 mm / minuto).

3. Se registran los valores de las cargas de rotura y se calculan los valores de la resistencia a la tracción indirecta (St) con la siguiente expresión:

$$St = \frac{2 * Pmax}{\pi * t * d}$$

En donde:

St= resistencia a la rotura por tracción indirecta (Kg/cm²)

Pmax= carga máxima o carga de rotura (Kg)

t= espesor de la briqueta (cm)

d= diámetro de la briqueta (cm)

- Calcular el porcentaje de resistencia retenida (TSR) por medio de la expresión:

$$TSR = 100 * \frac{St_{con\ inmersión}}{St_{sin\ inmersión}}$$

2.2.3 Exigencias de la calidad de los agregados minerales en el Ecuador para Mezclas Asfálticas

A continuación, en la Tabla 2.1 se presentan las diferentes pruebas y exigencias del MTOP que deben cumplir los agregados minerales para una mezcla asfáltica:

Tabla 2. 1 Requisitos de calidad de los agregados según el MTOP 2002

PRUEBAS	AGREGADOS MINERALES	
	GRUESOS	FINOS
FORMA	1) Caras fracturadas (> 80% - 2)	Angularidad (> 45%)
	2) Planas y alargadas (<10%)	

DUREZA	1) Abrasión Los Ángeles (<40%)	Perdida ante sulfato de sodio (<12%)
	2) Perdida ante sulfato de sodio (<12%)	
LIMPIEZA	Deleterios (<1%)	Equivalente de arena (> 50%)
ADHERENCIA	1) Resistencia retenida ante el agua en prueba de tracción indirecta (> 80%)	
	2) Peladura de la mezcla en agua hirviendo (> 80%)	

Fuente: Clases de la asignatura pavimentos (R.Vila, UCSG, 2015)

2.2.4 Características de los agregados a utilizar

2.2.4.1 Andesita

Tabla 2. 2 Características del agregado Andesita

Andesita	
Gravedad específica de masa	2.497
Gravedad específica de s.s.s	2.561
Gravedad específica aparente	2.666
Absorción (%)	2,54
Abrasión de los Ángeles	26,6
Durabilidad ante los sulfatos	3,00

Fuente: Información suministrada por el tutor de este trabajo

2.2.4.2 Argilita

Tabla 2. 3 Características del agregado Argilita

Argilita	
Gravedad específica de masa	2.253
Gravedad específica de s.s.s	2.358
Gravedad específica aparente	2.517
Absorción (%)	4,66
Abrasión de los Ángeles	41,0
Durabilidad ante los sulfatos	26,50

Fuente: Información suministrada por el tutor de este trabajo

2.2.4.3 Basalto 1

Tabla 2. 4 Características del agregado Basalto 1

Basalto 1	
Gravedad específica de masa	2.542
Gravedad específica de s.s.s	2.609
Gravedad específica aparente	2.725
Absorción (%)	2,64
Abrasión de los Ángeles	21,2
Durabilidad ante los sulfatos	1,89

Fuente: Información suministrada por el tutor de este trabajo

2.2.4.4 Basalto 2

Tabla 2. 5 Características del agregado Basalto 2

Basalto 2	
Gravedad específica de masa	2.871
Gravedad específica de s.s.s	2.899
Gravedad específica aparente	2.953
Absorción (%)	0,97
Abrasión de los Ángeles	9,9
Durabilidad ante los sulfatos	0,81

Fuente: Información suministrada por el tutor de este trabajo

2.2.4.5 Caliza

Tabla 2. 6 Características del agregado Caliza

Caliza	
Gravedad específica de masa	2.550
Gravedad específica de s.s.s	2.595
Gravedad específica aparente	2.671
Absorción (%)	1,78
Abrasión de los Ángeles	27,0
Durabilidad ante los sulfatos	7,05

Fuente: Información suministrada por el tutor de este trabajo

2.2.4.6 Depósitos Aluviales

Tabla 2. 7 Características del agregado Depósitos Aluviales

Depósitos Aluviales	
Gravedad específica de masa	2.687
Gravedad específica de s.s.s	2.713
Gravedad específica aparente	2.759
Absorción (%)	0,97
Abrasión de los Ángeles	15,6
Durabilidad ante los sulfatos	1,32

Fuente: Información suministrada por el tutor de este trabajo

2.2.4.7 Granito

Tabla 2. 8 Características del agregado Granito

Granito	
Gravedad específica de masa	2.847
Gravedad específica de s.s.s	2.852
Gravedad específica aparente	2.863
Absorción (%)	0,20
Abrasión de los Ángeles	19,3
Durabilidad ante los sulfatos	0,61

Fuente: Información suministrada por el tutor de este trabajo

2.2.4.8 Lutita

Tabla 2. 9 Características del agregado Lutita

Lutita	
Gravedad específica de masa	2.137
Gravedad específica de s.s.s	2.302
Gravedad específica aparente	2.558
Absorción (%)	7,71
Abrasión de los Ángeles	26,1
Durabilidad ante los sulfatos	21,61

Fuente: Información suministrada por el tutor de este trabajo

2.2.4.9 Pizarra Tobácea

Tabla 2. 10 Características del agregado Pizarra Tobácea

Pizarra Tobácea	
Gravedad específica de masa	2.232
Gravedad específica de s.s.s	2.359
Gravedad específica aparente	2.556
Absorción (%)	5,67
Abrasión de los Ángeles	20,6
Durabilidad ante los sulfatos	23,6

Fuente: Información suministrada por el tutor de este trabajo

2.3 Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas consisten en la combinación en proporciones exactas entre los agregados minerales con el asfalto. Las proporciones de éstos determinan las propiedades físicas de la mezcla al igual que su desempeño al momento de funcionar como una capa de pavimento.

En el diseño y control de calidad por el método Marshall, en general suelen determinarse ciertos parámetros constitutivos y volumétricos fundamentales,

que se explican a continuación, así como otros parámetros resistentes: Estabilidad Marshall y el flujo, que no forman parte de este estudio.

2.3.1 Parámetros Constitutivos

2.3.1.1 Granulometría del agregado combinado

El principal objetivo de la granulometría es lograr la clasificación por tamaño de los agregados de la muestra, separándolo a través de una serie de tamices con diferentes aberturas decrecientes.

En el Ecuador, la granulometría que usualmente se utilizar para capas de rodadura en los pavimentos asfálticos es la correspondiente a la especificación: 1/2". MOP- 001 F- 2002. TABLA 405-5.1., como se indica en la Tabla 2.11. En la especificación mencionada se puede encontrar los porcentajes de pasantes acumulados utilizados en este trabajo.

Tabla 2. 11 Porcentaje de pasantes para capas de rodadura en pavimentos asfálticos del Ecuador

Tabla 405-5.1.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80	--	90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: (MTO, 2002)

Basados en las exigencias mencionadas anteriormente, encontramos desde la figura 2.11. hasta la figura 2.19. la granulometría de cada mezcla asfáltica utilizada en este trabajo:

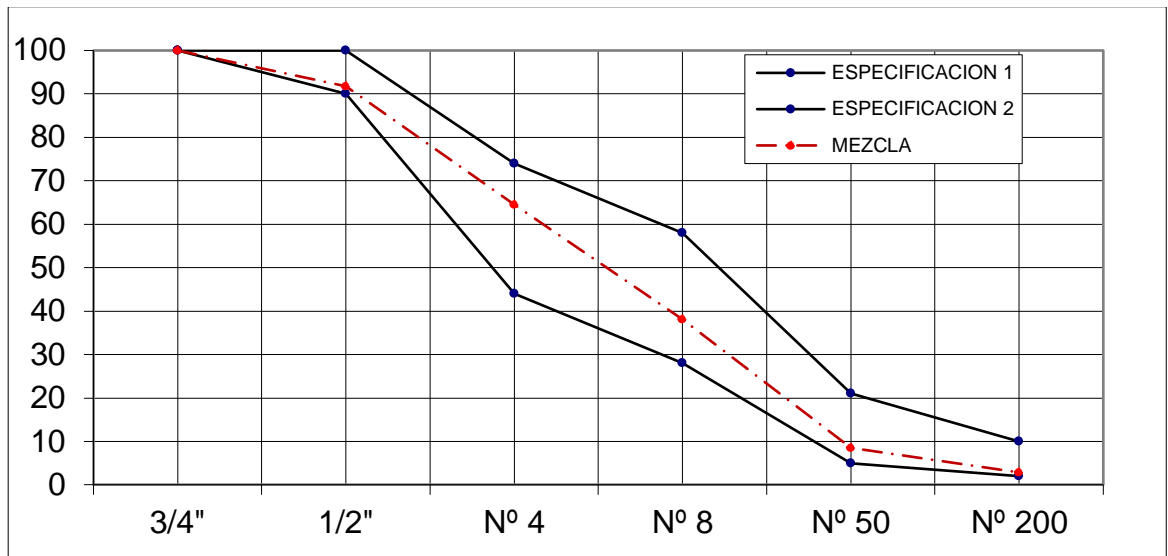


Figura 2. 11 Granulometría del agregado Andesita

Fuente: Autores

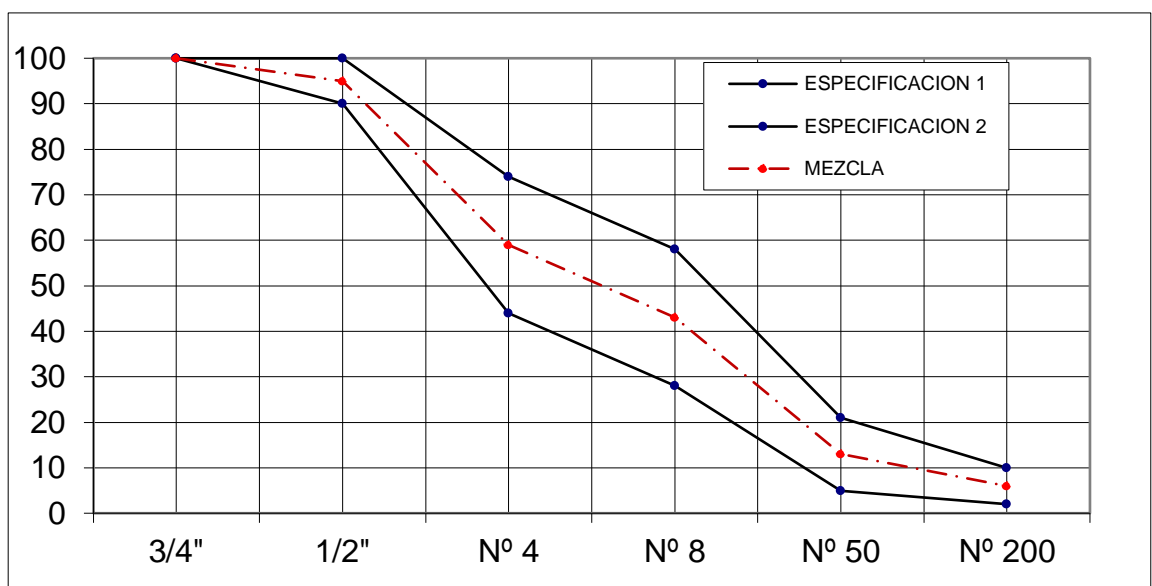


Figura 2. 12 Granulometría del agregado Argilita

Fuente: Autores

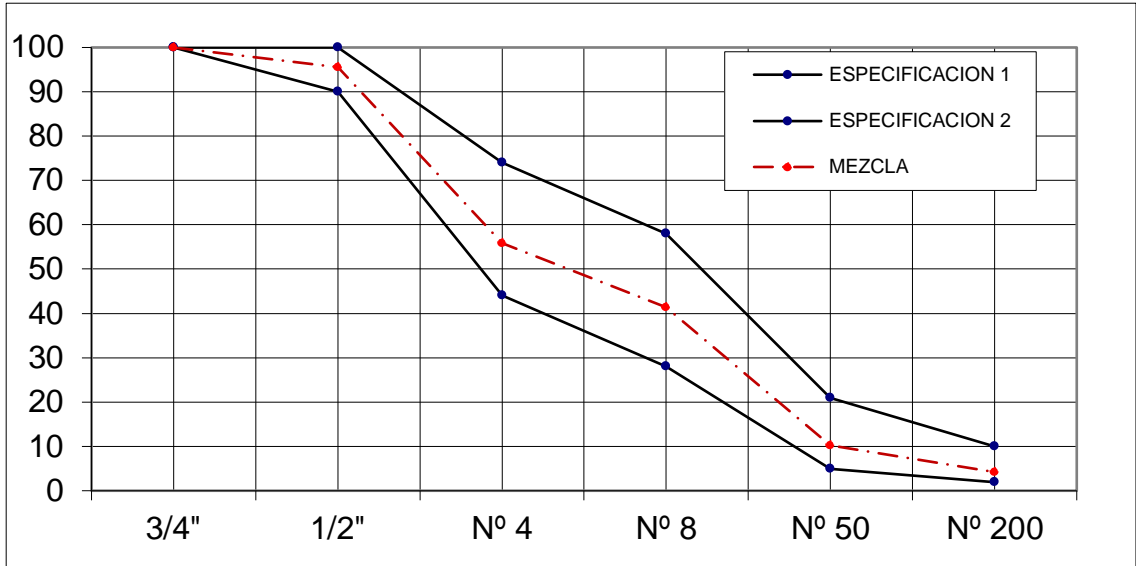


Figura 2. 13 Granulometría del agregado Basalto 1

Fuente: Autores

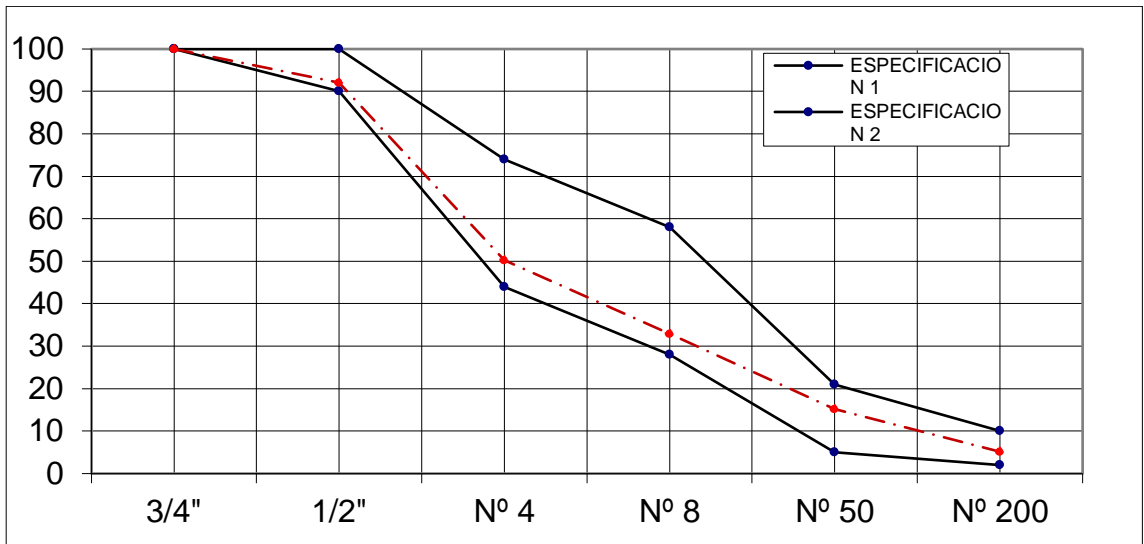


Figura 2. 14 Granulometría del agregado Basalto 2

Fuente: Autores

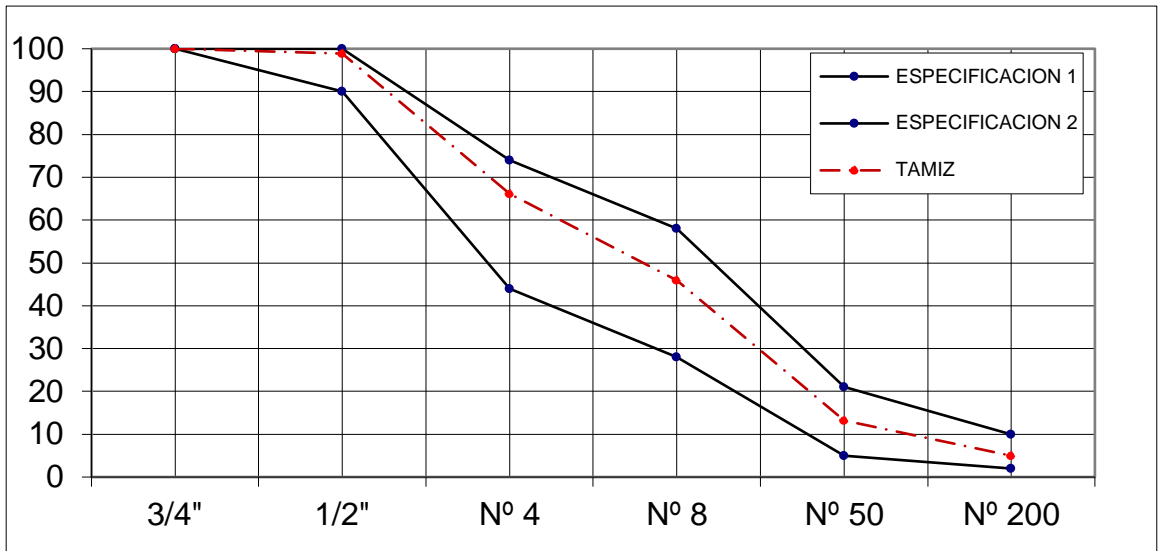


Figura 2. 15 Granulometría del agregado Calizo

Fuente: Autores

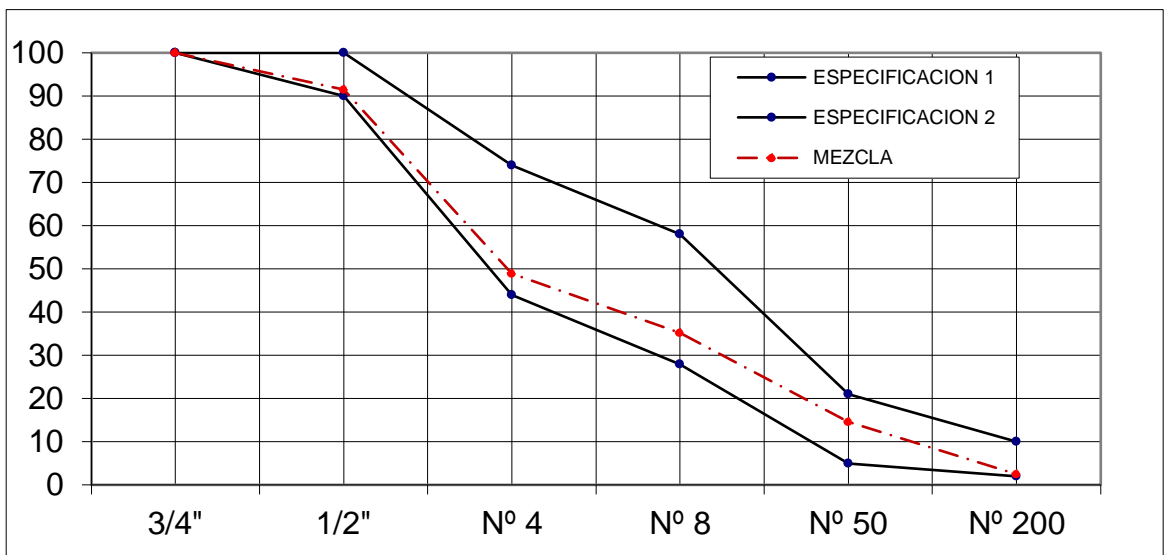


Figura 2. 16 Granulometría del agregado Depósito Aluvial

Fuente: Autores

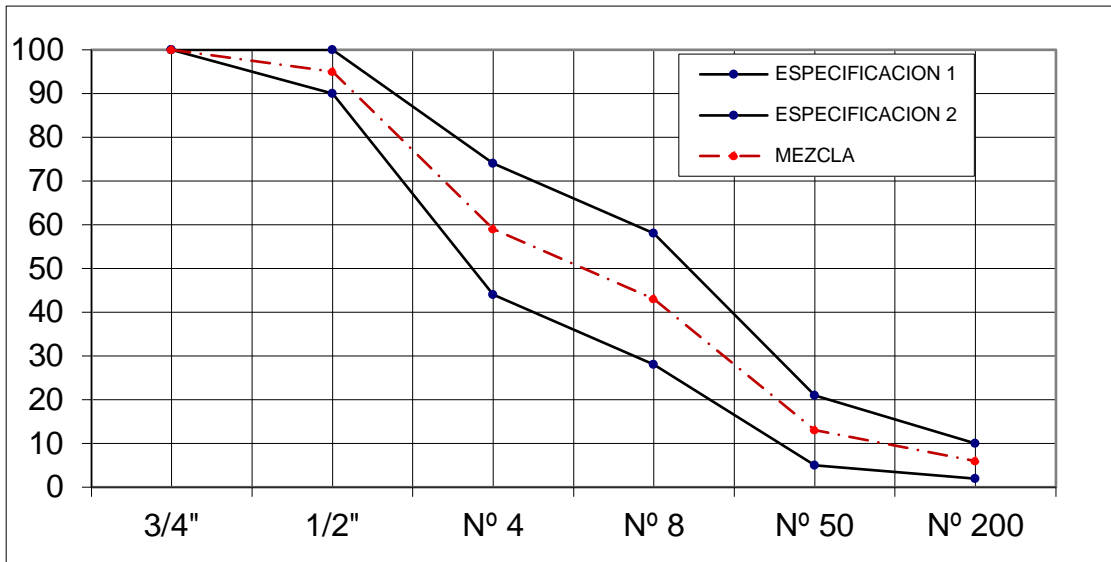


Figura 2. 17 Granulometría del agregado Granito

Fuente: Autores

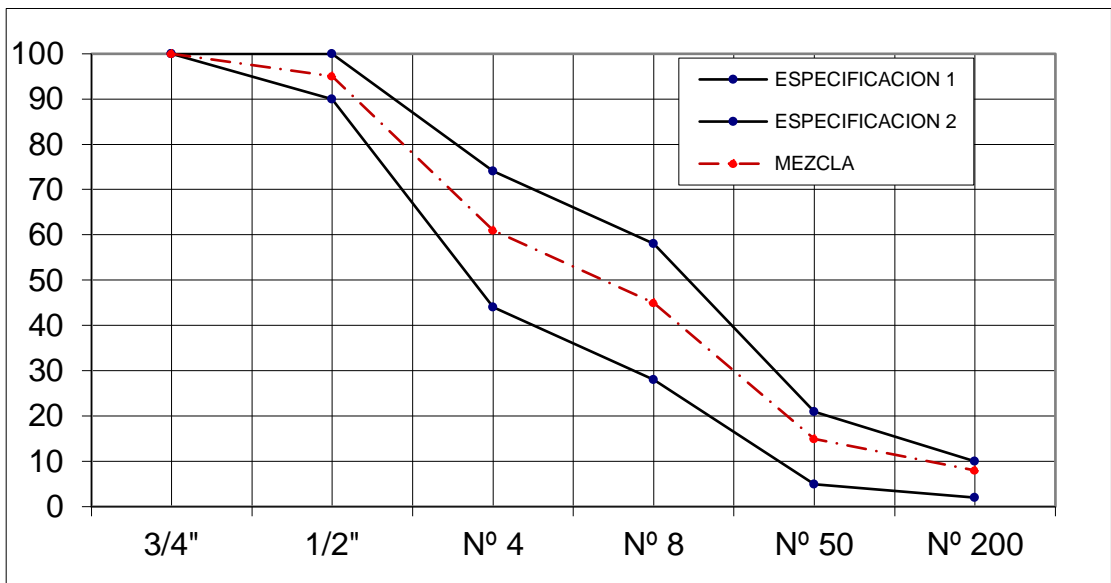


Figura 2. 18 Granulometría del agregado Lutita

Fuente: Autores

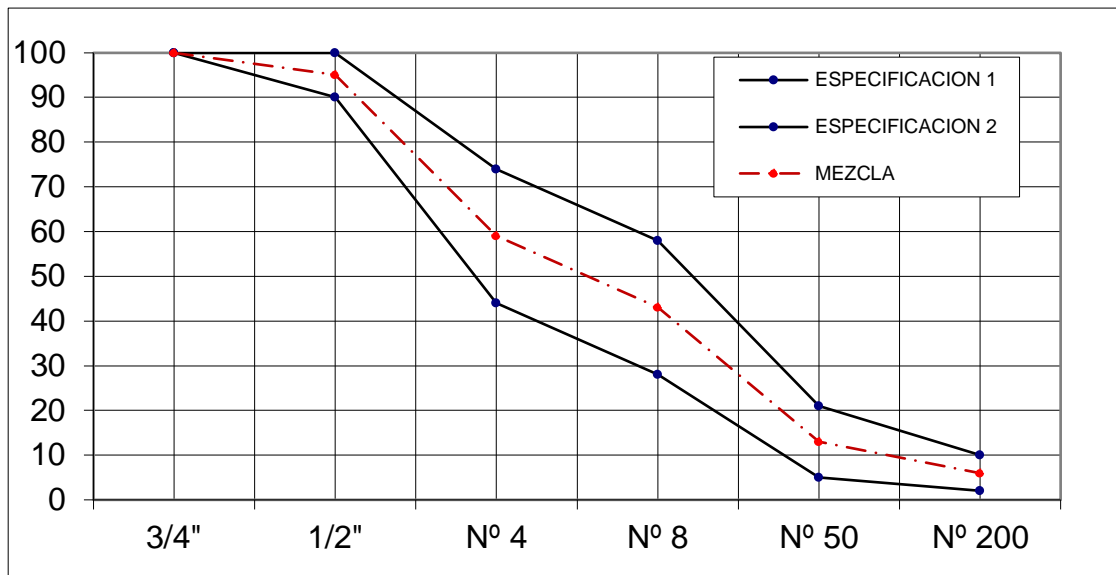


Figura 2. 19 Granulometría del agregado Pizarra

Fuente: Autores

2.3.1.2 Porcentaje de Asfalto (Pb)

El porcentaje de asfalto representa la cantidad total de aglomerante en las mezclas asfálticas y se expresa como un porcentaje de la masa total de la mezcla. (Haddock, 2011)

El laboratorio de asfaltos en una planta precisa debidamente la cantidad de asfalto a utilizar en la mezcla y debe ser inspeccionada con rigor en toda obra.

En su mayoría, el porcentaje de asfalto ideal en una mezcla se debe a las características y particularidades del agregado, tales como lo son la granulometría y el porcentaje de absorción. Con respecto a la granulometría de los agregados, se resalta que está directamente relacionada con el contenido de asfalto adecuado debido a que mientras la mezcla tenga mayor cantidad de finos, tendrá mayor área de superficie total y por ende necesita mayor cantidad de asfalto para recubrirlo. A diferencia de éstas, las mezclas con agregados gruesos necesitan menor porcentaje de asfalto debido a que tienen menor área de superficie total.

Para determinar el porcentaje de asfalto ideal, es importante tener en consideración la capacidad de absorción del agregado, en otras palabras, la

cantidad de asfalto que puede absorber o retener el agregado a utilizar en la mezcla.

En el cálculo del porcentaje o contenido de asfalto suelen considerarse dos tipos: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto. El contenido total se conoce como la cantidad de asfalto que la mezcla requiere para llegar a las condiciones establecidas en el diseño, a diferencia del asfalto efectivo que es considerado como el volumen de asfalto que no ha sido absorbido por el agregado.

El contenido de asfalto es calculado mediante el procedimiento establecido en la norma AASHTO T 164 y en la ASTM D2127. A nivel de laboratorio, el porcentaje de asfalto es determinado usualmente por el método de la centrifuga, el cual requiere que se coloque mezcla dentro del quipo de centrifugado y cubrirlo con tricloro de tileno. Posteriormente se inicia el proceso de centrifugado a 3600 rpm, para luego de que se haya disuelto el asfalto de la mezcla, se repite el proceso hasta que el líquido salga de color claro. (Riera – Hidalgo, 2016)

Para el cálculo del porcentaje de asfalto, se emplea la siguiente fórmula:

$$Pb = \frac{(W1 - W2) - (W3 + W4)}{(W1 - W2)} * 100$$

Donde:

- **W1**= Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)
- **W2**= Contenido de humedad (gr)
- **W3**= Peso del agregado, incluido el filtro (gr)
- **W4**= Peso del material extraído (gr)

A continuación, se mostrará desde la Tabla 2.13. hasta la Tabla 2.20. los contenidos de asfalto usados para cada una de las plantas en este trabajo:

Tabla 2. 12 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Andesita

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)	1000
F1: Peso del filtro antes de la extracción (gr)	13.8
W2: Contenido de humedad (gr)	0
W3A: Peso de agreg. Lavado en centrifuga (gr)	934
F2: Peso del filtro después de la extracción (gr)	14.5
W3B: F2 - F1	0.7
W3: Peso agreg. Incluyendo recup. Filtro (gr) (W3A + W3B)	933.3
Volumen de solvente empleado en el lavado (ml)	3000
W4: Peso de material mineral en extracto (gr)	3
W4: Volumen solvente en lavado (ml) * 0,001	
% de asfalto: $\{[(W1-W2)-(W3+W4)]/(W1-W2)\} * 100$	6.37

Fuente: Autores

Tabla 2. 13 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Argilita

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)	1000
F1: Peso del filtro antes de la extracción (gr)	13.6
W2: Contenido de humedad (gr)	0
W3A: Peso de agreg. Lavado en centrifuga (gr)	926
F2: Peso del filtro después de la extracción (gr)	14.5
W3B: F2 - F1	0.9
W3: Peso agreg. Incluyendo recup. Filtro (gr) (W3A + W3B)	925.1
Volumen de solvente empleado en el lavado (ml)	3000
W4: Peso de material mineral en extracto (gr)	3
W4: Volumen solvente en lavado (ml) * 0,001	
% de asfalto: $\{[(W1-W2)-(W3+W4)]/(W1-W2)\} * 100$	7.19

Fuente: Autores

Tabla 2. 14 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Basalto 1

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)	1000
F1: Peso del filtro antes de la extracción (gr)	13.8
W2: Contenido de humedad (gr)	0
W3A: Peso de agreg. Lavado en centrifuga (gr)	934
F2: Peso del filtro después de la extracción (gr)	14.5
W3B: F2 - F1	0.7
W3: Peso agreg. Incluyendo recup. Filtro (gr) (W3A + W3B)	933.3
Volumen de solvente empleado en el lavado (ml)	3000
W4: Peso de material mineral en extracto (gr)	3
W4: Volumen solvente en lavado (ml) * 0,001	
% de asfalto: $\{[(W1-W2)-(W3+W4)]/(W1-W2)\} * 100$	6.37

Fuente: Autores

Tabla 2. 15 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Basalto 2

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)	1000
F1: Peso del filtro antes de la extracción (gr)	14.6
W2: Contenido de humedad (gr)	0
W3A: Peso de agreg. Lavado en centrifuga (gr)	935.7
F2: Peso del filtro después de la extracción (gr)	15.1
W3B: F2 - F1	0.5
W3: Peso agreg. Incluyendo recup. Filtro (gr) (W3A + W3B)	935.2
Volumen de solvente empleado en el lavado (ml)	3000
W4: Peso de material mineral en extracto (gr)	3
W4: Volumen solvente en lavado (ml) * 0,001	
% de asfalto: $\{[(W1-W2)-(W3+W4)]/(W1-W2)\} * 100$	6.18

Fuente: Autores

Tabla 2. 16 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Caliza

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)	1000
F1: Peso del filtro antes de la extracción (gr)	13
W2: Contenido de humedad (gr)	0
W3A: Peso de agreg. Lavado en centrifuga (gr)	937.7
F2: Peso del filtro después de la extracción (gr)	14.6
W3B: F2 - F1	1.6
W3: Peso agreg. Incluyendo recup. Filtro (gr) (W3A + W3B)	936.1
Volumen de solvente empleado en el lavado (ml)	3000
W4: Peso de material mineral en extracto (gr)	3
W4: Volumen solvente en lavado (ml) * 0,001	
% de asfalto: $\{[(W1-W2)-(W3+W4)]/(W1-W2)\} * 100$	6.09

Fuente: Autores

Tabla 2. 17 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Aluvial

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)	1000
F1: Peso del filtro antes de la extracción (gr)	13.5
W2: Contenido de humedad (gr)	0
W3A: Peso de agreg. Lavado en centrifuga (gr)	938
F2: Peso del filtro después de la extracción (gr)	14.4
W3B: F2 - F1	0.9
W3: Peso agreg. Incluyendo recup. Filtro (gr) (W3A + W3B)	937.1
Volumen de solvente empleado en el lavado (ml)	3000
W4: Peso de material mineral en extracto (gr)	3
W4: Volumen solvente en lavado (ml) * 0,001	
% de asfalto: $\{[(W1-W2)-(W3+W4)]/(W1-W2)\} * 100$	5.99

Fuente: Autores

Tabla 2. 18 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Lutita

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)	1000
F1: Peso del filtro antes de la extracción (gr)	14.1
W2: Contenido de humedad (gr)	0
W3A: Peso de agreg. Lavado en centrifuga (gr)	922.7
F2: Peso del filtro después de la extracción (gr)	14.8
W3B: F2 - F1	0.7
W3: Peso agreg. Incluyendo recup. Filtro (gr) (W3A + W3B)	922
Volumen de solvente empleado en el lavado (ml)	3000
W4: Peso de material mineral en extracto (gr)	3
W4: Volumen solvente en lavado (ml) * 0,001	
% de asfalto: $\{[(W1-W2)-(W3+W4)]/(W1-W2)\} * 100$	7.5

Fuente: Autores

Tabla 2. 19 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Pizarra

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)	1000
F1: Peso del filtro antes de la extracción (gr)	14.3
W2: Contenido de humedad (gr)	0
W3A: Peso de agreg. Lavado en centrifuga (gr)	927.5
F2: Peso del filtro después de la extracción (gr)	15
W3B: F2 - F1	0.7
W3: Peso agreg. Incluyendo recup. Filtro (gr) (W3A + W3B)	926.8
Volumen de solvente empleado en el lavado (ml)	3000
W4: Peso de material mineral en extracto (gr)	3
W4: Volumen solvente en lavado (ml) * 0,001	
% de asfalto: $\{[(W1-W2)-(W3+W4)]/(W1-W2)\} * 100$	7.02

Fuente: Autores

Tabla 2. 20 Contenido de asfalto en la mezcla con agregado tipo Granito

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica (gr)	1000
F1: Peso del filtro antes de la extracción (gr)	14.3
W2: Contenido de humedad (gr)	0
W3A: Peso de agreg. Lavado en centrifuga (gr)	937.8
F2: Peso del filtro después de la extracción (gr)	15.1
W3B: F2 - F1	0.8
W3: Peso agreg. Incluyendo recup. Filtro (gr) (W3A + W3B)	937
Volumen de solvente empleado en el lavado (ml)	3000
W4: Peso de material mineral en extracto (gr)	3
W4: Volumen solvente en lavado (ml) * 0,001	
% de asfalto: $\{[(W1-W2)-(W3+W4)]/(W1-W2)\} * 100$	6

Fuente: Autores

2.3.2 Parámetros Volumétricos

2.3.2.1 Gravedad Específica Bruta “Bulk” (Gmb)

Está definida como la relación entre el peso de una unidad de volumen de mezcla asfáltica caliente compactada y el peso de un volumen igual de agua (incluyendo los vacíos permeables como parte de dicho volumen). (Haddock, 2011)

En las mezclas asfálticas compactadas en un pavimento terminado, es importante conseguir una elevada gravedad específica bruta debido a que se pretende alcanzar un desempeño óptimo que perdure. El Gbm, se determina mediante el procedimiento ASTM D1188 o ASTM D2726. El resultado obtenido en el laboratorio es considerado como una densidad de referencia y es utilizada como guía para verificar si la densidad de las capas asfálticas es óptima. (Asphalt Institute, 1992) ; (Salado Martínez & Estrada, 2013)

2.3.2.2 Densidad máxima teórica (RICE)

La densidad máxima teórica se puede definir como la relación entre la masa de una unidad de volumen de la mezcla asfáltica sin compactar y la masa de un volumen de agua (incluyendo los vacíos permeables como parte del mismo). Este valor mencionado es conocido como "RICE". (Haddock, 2011)

El RICE, es un ensayo utilizado para encontrar la densidad o gravedad específica máxima teórica, empleando las normas ASTM D 2041, y AASHTO T209. Éstas normas establecen el procedimiento para obtener la densidad teórica máxima de mezclas asfálticas que se encuentren a una temperatura de 25 °C y que no hayan sido compactadas. (Parrales 2013)



Figura 2. 20 Ensayo RICE

Fuente: Autores

Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$Gmm = \frac{C}{A - (B - C)}$$

En donde:

- **A=** Peso de picnómetro más agua
- **B=** Peso del picnómetro más la mezcla rellena de agua
- **C=** Peso de la mezcla suelta

En la Tabla 2.11. se muestran los valores de RICE obtenidos para las cada una de las mezclas estudiadas.

Tabla 2. 21 Valores RICE por tipo de roca

TIPO DE ROCA	RICE
Andesita	2.443
Argilita	2.143
Basalto 1	2.441
Basalto 2	2.617
Caliza	2.374
Depósitos Aluviales	2.461
Granito	2.595
Lutita	2.424
Pizarra Tobácea	2.202

Fuente: Autores

2.3.3.2 Porcentaje de vacíos con aire (Va)

Los vacíos con aire corresponden al volumen total de las pequeñas bolsas de aire entre las partículas de agregado revestido que conforman la mezcla de pavimentación. El "Va", es el porcentaje de vacíos respecto al volumen total de la muestra compactada. (Asphalt Institute, 1997)

En una mezcla asfáltica, es preciso que algún porcentaje de vacíos esté contenido dentro de las mezclas densamente graduadas, para que el asfalto pueda expandirse. Normalmente en los diseños Marshall los porcentajes de vacíos permitidos (en mezclas asfálticas de laboratorio), pueden variar entre 3 y 5 por ciento para capas superficiales. (Asphalt Insitute)

La vida útil de un pavimento está condicionada por el porcentaje de vacíos que éste tenga. Es decir, a medida que la cantidad de vacíos disminuye, la filtración de agua resultará menor. Mientras que, en un pavimento asfáltico

con un porcentaje de vacíos altos, aparecerán conductos en las mezclas a través de los cuales pueden ingresar agua que causarían deterioro en las mezclas. Sin embargo, un pavimento asfáltico con un escaso porcentaje de vacíos podría causar exudación de asfalto, una situación en donde la alta cantidad de asfalto es presionada hacia el exterior o superficie de la mezcla.

Evidentemente, la densidad y el contenido de vacíos son afines mente, las exigencias de compactación en obra se solicita alcanzar el 97% de la densidad de laboratorio correspondiente a la mezcla diseñada con 4% de vacíos

Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$V_a = \frac{RICE - Densidad}{RICE}$$

NOTA: Los resultados de este parámetro se encuentran en 3.3.

2.3.2.4 Porcentajes de vacíos en el agregado (VMA)

Los vacíos en el agregado mineral (VMA), son los espacios intergranulares de aire entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo e, contenido efectivo de asfalto y los huecos de aire, expresado como un porcentaje del volumen total. (Asphalt Institute, 1997)

El “VMA” se calcula en base a la gravedad específica bruta del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen bruto de la mezcla de pavimentación compactada. Por lo tanto, se puede calcular restando el volumen del agregado determinado por su peso específico bruto, del volumen bruto de la mezcla de pavimentación compactada. (Asphalt Institue, 1997)

Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$VMA = 100 - \frac{Gmb * Ps}{Gsb}$$

En donde:

- **Gsb**= Gravedad específica bruta del agregado
- **Gmb**= Gravedad específica bruta de las briquetas compactadas
- **Ps**= Porcentaje o contenido de agregados

2.3.2.5 Porcentaje de vacíos relleno de asfalto (VFA)

Los vacíos rellenos de asfalto “VFA”, son el porcentaje de espacios intergranulares vacíos entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran ocupados por asfalto, es decir, es el porcentaje de los porcentajes de vacíos en el agregado que están llenos de asfalto efectivo. (Asphalt Institute, 1997)

El porcentaje de vacíos en el agregado incluye asfalto y aire, por ende, el porcentaje de vacíos relleno de asfalto, se obtiene de la resta de los vacíos de aire con el VMA, y de la posterior división para el VMA, teniendo como resultado el valor expresado en porcentaje. (Asphalt Institute, 1992)

Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$VFA = \frac{100 * (VMA - Va)}{VMA}$$

En donde:

- **VFA**= Volúmen lleno de asfalto, en %
- **Va**= Porcentaje de vacíos con aire
- **VMA**= Porcentaje de vacíos en el agregado mineral

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO EXPERIMENTAL

3.1. Metodología de trabajo

En el presente trabajo se evalúa el daño que genera el agua en mezclas asfálticas empleando nueve agregados minerales procedentes de diferentes tipos de rocas, mediante ensayos de compresión y de corte. Ver Tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Agregados minerales empleados

AGREGADOS	TIPOS DE ROCA
1	ANDESITA
2	ARGILITA
3	BASALTO 1
4	BASALTO 2
5	CALIZA
6	DEPÓSITOS ALUVIALES
7	GRANITO
8	LUTITA
9	PIZARRA

Fuente: Autores

Todas las mezclas tienen diseños aprobados siguiendo la metodología Marshall. Cabe mencionar que ciertos diseños fueron desarrollados en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG, mientras que los demás fueron diseños correspondientes a plantas de mezclas asfálticas que trabajan con los materiales mencionados.

El tipo de asfalto en todos los casos procede de la Refinería de Esmeraldas que usualmente califica como AC-20 o AC-30. Un aspecto importante considerado será el porcentaje de asfalto a utilizar en nuestras mezclas, los cuales permiten cumplir las exigencias del diseño Marshall. Sin embargo, no se pudo conseguir mezclas asfálticas de planta producidas con cada uno de esos nueve agregados, por lo que se tuvo que confeccionar totalmente en el laboratorio las mezclas correspondientes a: Argilita, Granito, Lutita y Pizarra, siguiendo las especificaciones del MTOP.

El procedimiento de compactación empleando un martillo Marshall con un diámetro modificado a 5 cm, permitió confeccionar cilindros de mezcla compactada que alcanzasen en general un porcentaje de vacíos entre 6,8 y 8,2% variando el número de golpes a emplear por tipo de agregado. La mezcla confeccionada con roca Lutita fue la excepción dando un promedio de 15,0%. Vale aclarar que esta roca no es empleada en la práctica para la fabricación de mezclas, observándose que luego de la compactación muchos fragmentos gruesos estaban fracturados.

Nuestro estudio se enfocará en realizar pruebas de corte y compresión a los cilindros ensayados en seco y luego de un proceso de inmersión en agua durante 4 días a temperatura de 25°C.

3.2. Proceso de elaboración de cilindros

Para realizar este trabajo se elaboraron cilindros de mezcla asfáltica para cada uno de los nueve tipos de agregados mencionados anteriormente.

1. Una vez pesadas las distintas fracciones de los agregados para alcanzar la granulometría combinada (Tamaño Nominal $\frac{1}{2}$ " de la Tabla 2.1, MTOP, 2002) se colocaron en un horno por un tiempo de 24 horas a 110 °C y luego se subió la temperatura por 2 horas a 140°C.
2. Poner los moldes en el horno para que se calienten a la misma temperatura expresada anteriormente. (Figura 3.1)



Figura 3. 1 Moldes y bandejas de agregados en horno

Fuente: Autores

3. Calentar el cemento asfáltico a utilizar a una temperatura similar de 140 °C.
4. Mezclar manualmente los agregados minerales según la dosificación con el porcentaje de asfalto correspondiente, procurando siempre lograr que la mezcla sea lo más homogénea posible. (Figura 3.2)



Figura 3. 2 Mezclado de agregado y ligante asfáltico

Fuente: Autores

5. Envejecer la mezcla asfáltica en el horno a una temperatura de 135 °C por 2 horas. Esto es realizado con la final de que el agregado absorba el asfalto de manera similar a la obra.
6. Rellenar los moldes calentados y previamente engrasados, con la cantidad de mezcla requerida para que una vez que el cilindro sea compactado, tenga una altura aproximada a 10 centímetros. (Figura 3.3)



Figura 3. 3 Relleno de moldes de mezcla asfáltica

Fuente: Autores

7. Colocar el cilindro en la base y empezar el proceso de compactación con el martillo Marshall modificado. Es de vital importancia tener un estricto control de temperatura (entre 133 y 137 °C) antes de empezar el proceso de compactación. (Figura 3.4) (Figura 3.5)



Figura 3. 4 Control de temperatura

Fuente: Autores



Figura 3. 5 Proceso de compactación con martillo Marshall modificado

Fuente: Autores

8. Colocar los especímenes en una cámara de frío. (Figura 3.6)



Figura 3. 6 Cilindros en cámara de frío

Fuente: Autores

9. Desmoldar los cilindros utilizando la gata hidráulica y el collarín previamente fabricado, identificándolos adecuadamente según su orden de confección y el tipo de agregado utilizado. (Figura 3.7 y 3.8). Dejarlos en reposo por 24 horas.



Figura 3. 7 Desmolde de cilindros

Fuente: Autores



Figura 3. 8 Cilindros con diferentes agregados

Fuente: Autores

NOTA: Para la mezcla procedente de plantas asfálticas, el proceso comenzó en el Paso 5.

3.3. Parámetros volumétricos obtenidos en la elaboración de los cilindros

Los parámetros volumétricos obtenidos están presentados en las tablas 3.2 hasta 3.10.

Tabla 3. 2 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Andesita.

ANDESITA						
Cilindro	Peso Seco	P. agua	P. SSS	Volumen	Densidad	Vacíos
1	434.6	243.8	439.1	195.3	2.225	8,9
2	426.0	238.2	429.3	191.1	2.229	8,8
3	428.6	239.8	431.9	192.1	2.231	8,7
4	433.5	242.6	437.0	194.4	2.230	8,7
5	439.5	244.8	441.5	196.7	2.234	8,5
6	446.0	250.6	449.4	198.8	2.243	8,2
7	429.5	241.4	432.8	191.4	2.244	8,2
8	450.0	253.1	453.3	200.2	2.248	8
9	454.6	256.1	458.1	202.0	2.250	7,9
10	458.0	256.4	459.8	203.4	2.252	7,8
11	451.7	252.5	452.5	200.0	2.259	7,6
12	451.6	256.2	456.1	199.9	2.259	7,5
Promedio						8,2
Des. Estándar						0,5
Coef. Variación						5,9

Fuente: Autores

Tabla 3. 3 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Argilita

ARGILITA						
Cilindro	Peso Seco	P. agua	P. SSS	Volumen	Densidad	Vacíos
1	411.6	207.1	414.8	207.7	1.982	7,5
2	409.9	207.3	413.5	206.2	1.988	7,2
3	417.9	208.5	418.7	210.2	1.988	7,2
4	416.1	209.5	418.5	209.0	1.991	7,1
5	410.9	207.4	413.2	205.8	1.997	6,8
6	399.8	203.7	403.8	200.1	1.998	6,8
7	409.0	205.8	410.5	204.7	1.998	6,8
8	412.5	207.5	413.8	206.3	2.000	6,7
9	410.9	207.3	412.7	205.4	2.000	6,7
10	422.1	213.9	424.8	210.9	2.001	6,6
11	408.2	207.5	411.1	203.6	2.005	6,4
12	407.8	206.6	409.8	203.2	2.007	6,4
Promedio						6,8
Des. Estándar						0,3
Coef. Variación						5,0

Fuente: Autores

Tabla 3. 4 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Basalto 1

BASALTO 1						
Cilindro	Peso Seco	P. agua	P. SSS	Volumen	Densidad	Vacíos
18	481.7	268.6	482.8	214.2	2.249	7,9
11	470.3	261.7	470.7	209.0	2.250	7,8
15	457.9	256.6	459.6	203.0	2.256	7,6
8	461.0	258.0	462.4	204.4	2.255	7,6
4	455.4	254.5	456.1	201.6	2.259	7,5
2	451.2	251.8	451.7	199.9	2.257	7,5
10	456.9	255.5	457.7	202.2	2.260	7,4
9	450.4	252.6	451.3	198.7	2.267	7,2
3	470.6	264.5	472.1	207.6	2.267	7,1
17	466.4	261.6	466.9	205.3	2.272	6,9
5	467.2	262.7	468.1	205.4	2.275	6,8
7	498.3	280.7	498.7	218.0	2.286	6,4
Promedio						7,3
Des. Estándar						0,4
Coef. Variación						6,1

Fuente: Autores

Tabla 3. 5 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Basalto 2

BASALTO 2						
Cilindro	Peso Seco	P. agua	P. SSS	Volumen	Densidad	Vacíos
1	451.5	265.2	453.5	188.3	2.398	8,4
2	479.0	282.5	482.0	199.5	2.401	8,3
3	476.9	280.7	478.2	197.5	2.415	7,7
4	446.2	262.6	447.0	184.4	2.420	7,5
5	469.3	276.1	470.0	193.9	2.420	7,5
6	476.3	280.8	477.2	196.4	2.425	7,3
7	452.0	268.0	453.6	185.6	2.435	6,9
8	474.3	280.6	475.1	194.5	2.439	6,8
9	466.4	276.2	467.2	191.0	2.442	6,7
10	464.5	275.3	465.3	190.0	2.445	6,6
11	485.5	287.6	485.9	198.3	2.448	6,5
12	466.7	277.8	468.4	190.6	2.449	6,4
Promedio						7,2
Des. Estándar						0,7
Coef. Variación						9,4

Fuente: Autores

Tabla 3. 6 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Caliza

CALIZA						
Cilindro	Peso Seco	P. agua	P. SSS	Volumen	Densidad	Vacíos
1	421.5	228.0	422.5	194.5	2.167	8,7
2	420.7	228.1	421.8	193.7	2.172	8,5
3	412.1	223.0	412.6	189.6	2.174	8,4
4	410.8	223.0	411.1	188.1	2.184	8
5	410.8	223.4	411.5	188.1	2.184	8
6	396.1	215.7	396.8	181.1	2.187	7,9
7	420.6	229.2	421.3	192.1	2.189	7,8
8	424.1	232.0	425.0	193.0	2.197	7,4
9	412.3	225.3	412.6	187.3	2.201	7,3
10	427.1	233.8	427.4	193.6	2.206	7,1
11	419.7	230.6	420.3	189.7	2.212	6,8
12	415.6	228.2	415.9	187.7	2.214	6,7
Promedio						7,7
Des. Estándar						0,7
Coef. Variación						8,6

Fuente: Autores

Tabla 3. 7 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Aluvial

DEPÓSITOS ALUVIALES						
Cilindro	Peso Seco	P. agua	P. SSS	Volumen	Densidad	Vacíos
1	447.0	252.6	450.2	197.6	2.262	8,1
2	452.4	255.9	455.5	199.6	2.267	7,9
3	452.0	255.7	454.9	199.2	2.269	7,8
4	450.7	258.3	456.4	198.1	2.275	7,6
5	456.0	258.5	458.8	200.3	2.277	7,5
6	459.2	260.5	462.0	201.5	2.279	7,4
7	449.8	255.7	452.8	197.1	2.282	7,3
8	453.6	258.3	457.0	198.7	2.283	7,3
9	448.4	255.5	451.9	196.4	2.283	7,2
10	451.9	256.2	453.1	196.9	2.295	6,8
11	453.9	258.8	456.4	197.6	2.297	6,7
12	452.4	259.0	455.1	196.1	2.307	6,3
Promedio						7,3
Des. Estándar						0,5
Coef. Variación						7,3

Fuente: Autores

Tabla 3. 8 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Granito

GRANITO						
Cilindro	Peso Seco	P. agua	P. SSS	Volumen	Densidad	Vacíos
1	478.5	281.5	480.8	199.3	2.401	7,5
2	473.5	278.5	475.6	197.1	2.402	7,4
3	480.2	282.5	482.3	199.8	2.403	7,4
4	478.9	285.0	484.0	199.0	2.407	7,3
5	496.9	294.7	501.2	206.5	2.406	7,3
6	476.2	280.3	477.8	197.5	2.411	7,1
7	490.2	288.2	491.4	203.2	2.412	7
8	481.5	284.6	484.1	199.5	2.414	7
9	483.9	284.6	485.1	200.5	2.413	7
10	472.0	278.2	473.3	195.1	2.419	6,8
11	478.8	283.4	481.1	197.7	2.422	6,7
12	476.7	281.5	478.0	196.5	2.426	6,5
Promedio						7,1
Des. Estándar						0,3
Coef. Variación						4,4

Fuente: Autores

Tabla 3. 9 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Lutita

LUTITA						
Cilindro	Peso Seco	P. agua	P. SSS	Volumen	Densidad	Vacíos
1	402.5	204.1	404.3	200.2	2.010	15,7
2	409.4	207.5	410.8	203.3	2.014	15,6
3	408.7	208.4	411.1	202.7	2.016	15,5
4	393.8	199.7	394.8	195.1	2.018	15,4
5	409.5	208.0	410.6	202.6	2.021	15,3
6	399.4	203.6	400.8	197.2	2.025	15,1
7	393.2	201.3	395.1	193.8	2.029	15
8	405.2	207.3	406.6	199.3	2.033	14,8
9	410.4	211.3	412.4	201.1	2.041	14,5
10	423.2	217.2	424.7	207.5	2.040	14,5
11	411.9	211.5	413.1	201.6	2.043	14,4
12	405.4	208.5	406.8	198.3	2.044	14,3
Promedio						15
Des. Estándar						0,5
Coef. Variación						3,3

Fuente: Autores

Tabla 3. 10 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Pizarra

PIZARRA						
Cilindro	Peso Seco	P. agua	P. SSS	Volumen	Densidad	Vacíos
18	430.8	219.6	432.5	212.9	2.023	8,1
10	394.6	202.3	396.4	194.1	2.033	7,7
9	397.2	203.4	398.7	195.3	2.034	7,6
15	389.5	200.2	390.8	190.6	2.044	7,2
16	409.2	210.5	410.8	200.3	2.043	7,2
20	421.1	217.0	422.8	205.8	2.046	7,1
17	412.1	213.1	414.5	201.4	2.046	7,1
3	385.3	199.2	387.3	188.1	2.048	7
14	401.6	207.3	403.2	195.9	2.050	6,9
1	380.4	196.2	381.5	185.3	2.053	6,8
12	392.2	202.5	393.3	190.8	2.056	6,7
11	422.8	218.7	424.1	205.4	2.058	6,5
Promedio						7,2
Des. Estándar						0,5
Coef. Variación						6,3

Fuente: Autores

3.4. Ensayos realizados

Como ya se ha expresado, se realizarán pruebas para evaluar la resistencia a compresión y a cortante en cilindros sin y con inmersión.

3.4.1 Ensayo de compresión

Una de las principales consideraciones que se deben tener para este ensayo es que la carga de compresión aplicada debe estar distribuida uniformemente a lo largo de la superficie de la sección transversal de cada espécimen confeccionado, con relación altura/diámetro de 2 a 1. (Figura 3.9)

El proceso para realizar este ensayo es el siguiente:

1. Limpiar y engrasar las placas de contacto con el cilindro, por donde se aplicará la carga.

2. Colocar el cilindro centrado con respecto a la base y a la placa superior
3. Aplicar la carga a compresión con una velocidad de 50 mm / min
4. Registrar los valores de carga.
5. Calcular la resistencia a compresión con:

$$R_{comp} = \frac{P_{comp}}{\text{Área}}$$



Figura 3. 9 Ensayo de compresión

Fuente: Autores

3.4.1 Ensayo de corte

Para este ensayo, se aplicará una carga a cortante a un cilindro colocado horizontalmente dentro de un dispositivo de corte como se puede observar en la Figura 3.10

El procedimiento para este ensayo es el siguiente:

1. Engrasar el molde de corte y limpiar la superficie de apoyo de la prensa.
2. Colocar cuidadosamente el cilindro en el dispositivo de corte directo, evitando que las paredes del equipo lo deformen o dañen.
3. Se coloca el dispositivo en la prensa, se desenroscan las tuercas para liberar el sistema de corte y se aplica una carga de 50 mm/min.

4. Registrar los valores de carga.
5. Calcular la resistencia a cortante con:

$$R_{cort} = \frac{P_{cort}}{\text{Área}}$$



Figura 3. 10 Ensayo de corte

Fuente: Autores

3.4.3 Distribución de los cilindros para las pruebas de resistencia

De los 12 cilindros confeccionados se emplearán un total de 6 cilindros para las pruebas de compresión y otros tantos para la prueba de cortante. En ambos tipos de pruebas 3 cilindros se utilizarán para ensayo sin inmersión (en seco) y los restantes con inmersión en agua.

Para la realización propicia de dichas pruebas para cada tipo de agregado, se realizó una cuidada selección de los cilindros, de manera tal que los porcentajes de vacíos promedio para cada prueba específica por agregado mantuvieron un valor similar o muy próximo al promedio de los 12 cilindros correspondientes al agregado en particular.

Ver tablas 3.11 a 3.19.

Tabla 3. 11 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Andesita

ANDESITA				
No.	% vacíos	No.	% vacíos	Prueba
1	8.9	1	8.9	Compresión Sin Inmersión
2	8.8	12	7.5	
3	8.7	7	8.2	
4	8.7	Promedio	8.2	
5	8.5	2	8.8	Compresión Con Inmersión
6	8.2	11	7.6	
7	8.2	6	8.2	
8	8.0	Promedio	8.2	
9	7.9	3	8.7	Cortante Sin Inmersión
10	7.8	10	7.8	
11	7.6	5	8.5	
12	7.5	Promedio	8.3	
Promedio	8.2	4	8.7	Cortante Con Inmersión
		9	7.9	
		8	8.0	
		Promedio	8.2	

Fuente: Autores

Tabla 3. 12 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Argilita

ARGILITA				
No.	% vacíos	No.	% vacíos	Prueba
1	7.5	1	7.5	Compresión Sin Inmersión
2	7.2	12	6.4	
3	7.2	7	6.8	
4	7.1	Promedio	6.9	
5	6.8	2	7.2	Compresión Con Inmersión
6	6.8	11	6.4	
7	6.8	6	6.8	
8	6.7	Promedio	6.8	
9	6.7	3	7.2	Cortante Sin Inmersión
10	6.6	10	6.6	
11	6.4	5	6.8	
12	6.4	Promedio	6.9	
Promedio	6.8	4	7.1	Cortante Con Inmersión
		9	6.7	
		8	6.7	
		Promedio	6.8	

Fuente: Autores

Tabla 3. 13 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Basalto 1

BASALTO 1				
No.	% vacíos	No.	% vacíos	Prueba
1	7.9	1	7.9	Compresión Sin Inmersión
2	7.8	12	6.4	
3	7.6	7	7.4	
4	7.6	Promedio		7.2
5	7.5	2	7.8	Compresión Con Inmersión
6	7.5	11	6.8	
7	7.4	6	7.5	
8	7.2	Promedio		7.4
9	7.1	3	7.6	Cortante Sin Inmersión
10	6.9	10	6.9	
11	6.8	8	7.2	
12	6.4	Promedio		7.2
Promedio	7.3	4	7.6	Cortante Con Inmersión
		9	7.1	
		5	7.5	
		Promedio		7.4

Fuente: Autores

Tabla 3. 14 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Basalto 2

BASALTO 2				
No.	% vacíos	No.	% vacíos	Prueba
1	8.4	1	8.4	Compresión Sin Inmersión
2	8.3	12	6.4	
3	7.7	7	6.9	
4	7.5	Promedio		7.2
5	7.5	2	8.3	Compresión Con Inmersión
6	7.3	11	6.5	
7	6.9	8	6.8	
8	6.8	Promedio		7.2
9	6.7	3	7.7	Cortante Sin Inmersión
10	6.6	10	6.6	
11	6.5	6	7.3	
12	6.4	Promedio		7.2
Promedio	7.2	4	7.5	Cortante Con Inmersión
		9	6.7	
		5	7.5	
		Promedio		7.2

Fuente: Autores

Tabla 3. 15 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Caliza

CALIZA				
No.	% vacíos	No.	% vacíos	Prueba
1	8.7	1	8.7	Compresión Sin Inmersión
2	8.5	12	6.7	
3	8.4	7	7.8	
4	8.0	Promedio 7.7		Compresión Con Inmersión
5	8.0	2	8.5	
6	7.9	11	6.8	
7	7.8	6	7.9	Promedio 7.7
8	7.4	Promedio 7.7		
9	7.3	3	8.4	
10	7.1	10	7.1	Cortante Sin Inmersión
11	6.8	8	7.4	
12	6.7	Promedio 7.6		
Promedio	7.7	4	8.0	Cortante Con Inmersión
		9	7.3	
		5	8.0	
		Promedio 7.8		

Fuente: Autores

Tabla 3. 16 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Aluvial

DEPÓSITOS ALUVIALES				
No.	% vacíos	No.	% vacíos	Prueba
1	8.1	1	8.1	Compresión Sin Inmersión
2	7.9	12	6.3	
3	7.8	5	7.5	
4	7.6	Promedio 7.3		Compresión Con Inmersión
5	7.5	2	7.9	
6	7.4	11	6.7	
7	7.3	8	7.2	Promedio 7.3
8	7.2	Promedio 7.3		
9	7.2	3	7.8	
10	6.8	10	6.8	Cortante Sin Inmersión
11	6.7	6	7.4	
12	6.3	Promedio 7.3		
Promedio	7.3	4	7.6	Cortante Con Inmersión
		9	7.2	
		7	7.3	
		Promedio 7.4		

Fuente: Autores

Tabla 3. 17 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Granito

GRANITO				
No.	% vacíos	No.	% vacíos	Prueba
1	7.5	1	7.5	Compresión Sin Inmersión
2	7.4	12	6.5	
3	7.4	5	7.3	
4	7.3	Promedio	7.1	
5	7.3	2	7.4	Compresión Con Inmersión
6	7.1	11	6.7	
7	7.0	7	7.0	
8	7.0	Promedio	7.0	
9	7.0	3	7.4	Cortante Sin Inmersión
10	6.8	10	6.8	
11	6.7	6	7.1	
12	6.5	Promedio	7.1	
Promedio	7.1	4	7.3	Cortante Con Inmersión
		9	7.0	
		8	7.0	
		Promedio	7.1	

Fuente: Autores

Tabla 3. 18 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Lutita

LUTITA				
No.	% vacíos	No.	% vacíos	Prueba
1	15.7	1	15.7	Compresión Sin Inmersión
2	15.6	12	14.3	
3	15.5	7	15.0	
4	15.4	Promedio	15.0	
5	15.3	2	15.6	Compresión Con Inmersión
6	15.1	11	14.4	
7	15	6	15.1	
8	14.8	Promedio	15.0	
9	14.5	3	15.5	Cortante Sin Inmersión
10	14.5	10	14.5	
11	14.4	8	14.8	
12	14.3	Promedio	14.9	
Promedio	15.0	4	15.4	Cortante Con Inmersión
		9	14.5	
		5	15.3	
		Promedio	15.1	

Fuente: Autores

Tabla 3. 19 Tabla de porcentaje de vacíos de la piedra Pizarra

PIZARRA				
No.	% vacíos	No.	% vacíos	Prueba
1	8.1	1	8.1	Compresión Sin Inmersión
2	7.7	12	6.5	
3	7.6	7	7.1	
4	7.2	Promedio	7.2	
5	7.2	2	7.7	Compresión Con Inmersión
6	7.1	11	6.7	
7	7.1	6	7.1	
8	7.0	Promedio	7.2	
9	6.9	3	7.6	Cortante Sin Inmersión
10	6.8	10	6.8	
11	6.7	8	7	
12	6.5	Promedio	7.1	
Promedio	7.2	4	7.2	Cortante Con Inmersión
		9	6.9	
		5	7.2	
		Promedio	7.1	

Fuente: Autores

3.4.4 Proceso de saturación con inmersión en agua

Para realizar las pruebas planificadas de compresión y corte los cilindros deben tener un correcto proceso de inmersión en agua. Dada que el volumen de nuestras muestras (cilindros) es relativamente pequeño y el porcentaje de vacíos alto, el empleo del acondicionamiento usual de 24 horas de inmersión a 60 grados Celsius no fue posible.

Después de hacer varios ensayos de ajuste en el laboratorio empleando diferentes tiempos y temperaturas, se decidió emplear como procedimiento para la inmersión, la colocación en baño de maría de los cilindros a 25 grados Celsius por un tiempo de 4 días. (Figura 3.11)



FIGURA 3. 11 Proceso de saturación con inmersión en agua

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se muestra los resultados obtenidos en los ensayos de las 9 mezclas asfálticas estudiadas:

4.1. Resultados de ensayos de compresión

4.1.1 Andesita

Tabla 4. 1 Resistencia a compresión de cilindros con agregado Andesita

Resistencia a compresión (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
ANDESITA	1	5,08	292	2800	12,5	6,15		97,8
	2	5,05	254	2445	10,9	5,43		
	3	5,06	252	2420	10,8	5,35		
	Promedio					5,64		
	Desv. Estandar					0,44		
	Coef. Variación					7,74		
	4	5,10	250	2400	10,7		5,23	
	5	5,12	302	2900	12,9		6,27	
	6	5,07	239	2300	10,2		5,07	
	Promedio						5,52	
	Desv. Estandar						0,65	
	Coef. Variación						11,79	

Fuente: Autores

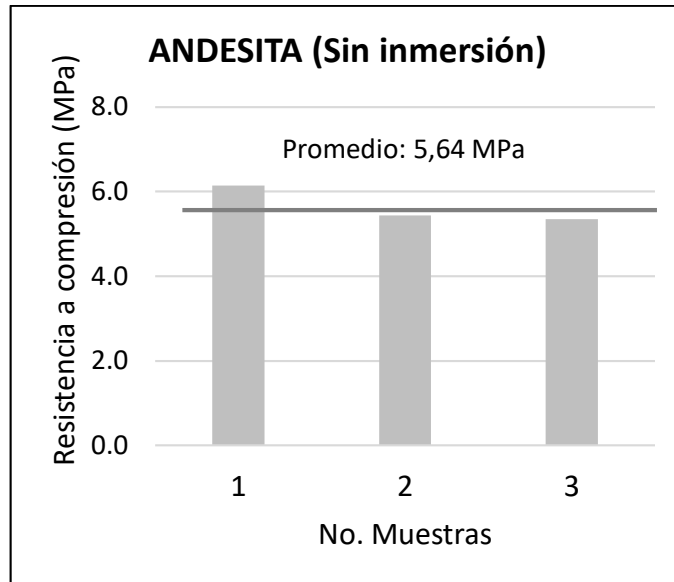


Figura 4. 1 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Andesita

Fuente: Autores

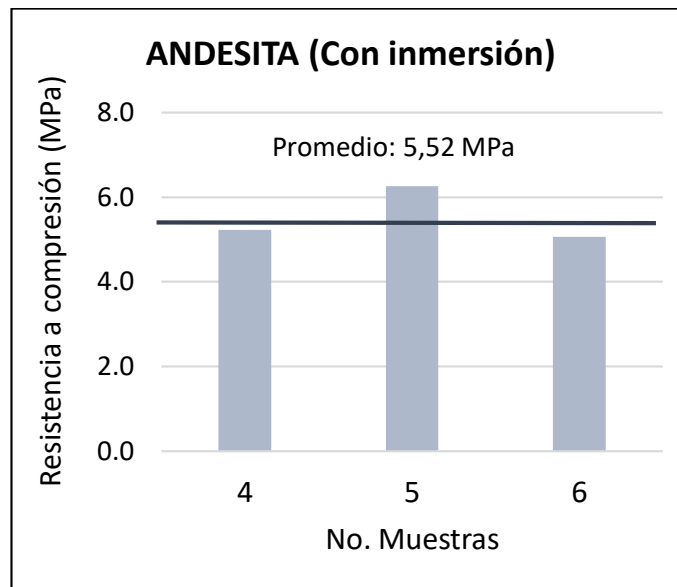


Figura 4. 2 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Andesita

Fuente: Autores

4.1.2 Argilita

Tabla 4. 2 Resistencia a compresión de cilindros con agregado Argilita

Resistencia a compresión (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
ARGILITA	1	5,09	213	2050	9,1	4,48		48,3
	2	5,06	253	2435	10,8	5,39		
	3	5,08	310	2980	13,3	6,54		
	Promedio					5,47		
	Desv. Estandar					1,03		
	Coef. Variación					18,87		
	4	5,14	91	880	3,9		1,89	
	5	5,10	127	1230	5,5		2,68	
	6	5,11	160	1548	6,9		3,36	
	Promedio						2,64	
Desv. Estandar						0,74		
Coef. Variación						27,88		

Fuente: Autores

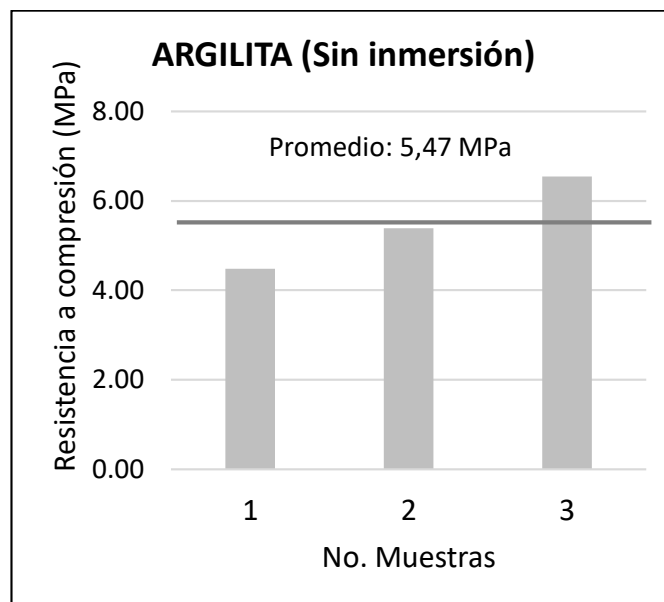


Figura 4. 3 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Argilita

Fuente: Autores

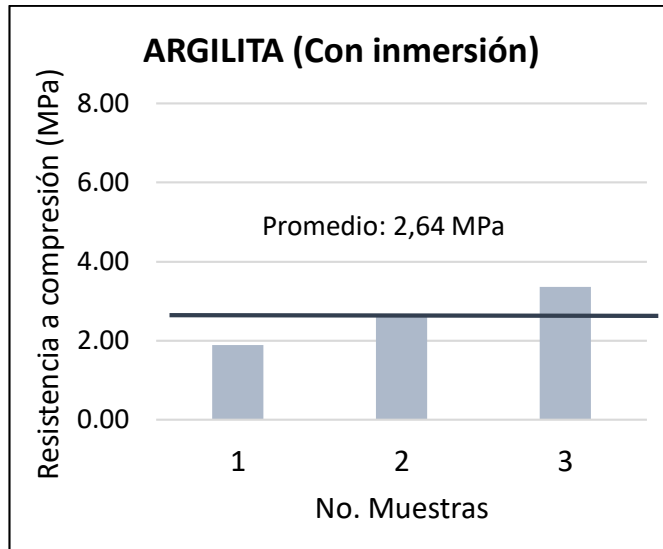


Figura 4. 4 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Argilita

Fuente: Autores

4.1.3 Basalto 1

Tabla 4. 3 Resistencia a compresión de cilindros con agregado Basalto 1

Resistencia a compresión (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	%retenida
BASALTO 1	1	5,03	160	1548	6,9	3,47		73,3
	2	5,05	195	1880	8,4	4,18		
	3	5,01	187	1800	8,0	4,06		
	Promedio					3,90		
	Desv. Estandar					0,38		
	Coef. Variación					9,78		
	4	5,06	152	1470	6,5		3,25	
	5	5,09	116	1120	5,0		2,45	
	6	5,06	135	1300	5,8		2,88	
	Promedio						2,86	
Desv. Estandar						0,40		
Coef. Variación						14,06		

Fuente: Autores

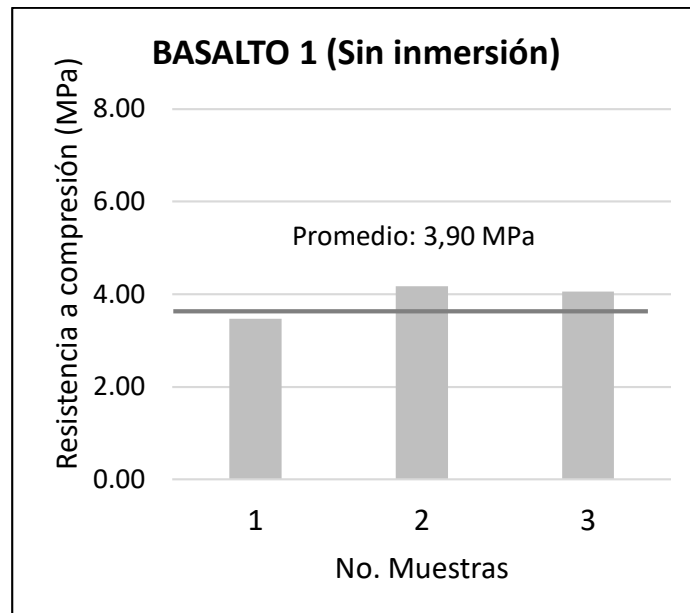


Figura 4. 5 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Basalto 1

Fuente: Autores

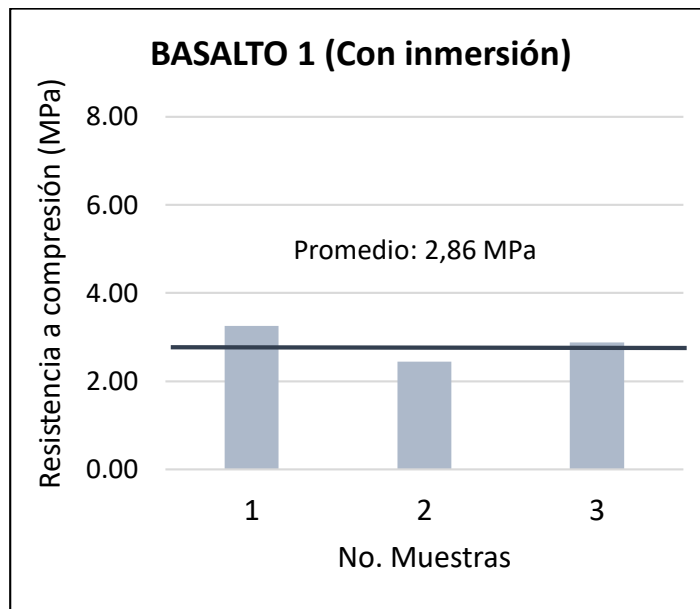


Figura 4. 6 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Basalto 1

Fuente: Autores

4.1.4 Basalto 2

Tabla 4. 4 Resistencia a compresión de cilindros con agregado Basalto 2

Resistencia a compresión (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
BASALTO 2	1	5,02	317	3045	13,5	6,84		71,2
	2	5,05	250	2400	10,7	5,33		
	3	5,03	334	3200	14,2	7,16		
	PROMEDIO					6,45		
	Desv. Estandar					0,98		
	Coef. Variación					15,19		
	4	5,08	204	1960	8,7		4,30	
	5	5,11	223	2145	9,5		4,65	
	6	5,10	230	2210	9,8		4,81	
	PROMEDIO						4,59	
Desv. Estandar						0,26		
Coef. Variación						5,69		

Fuente: Autores

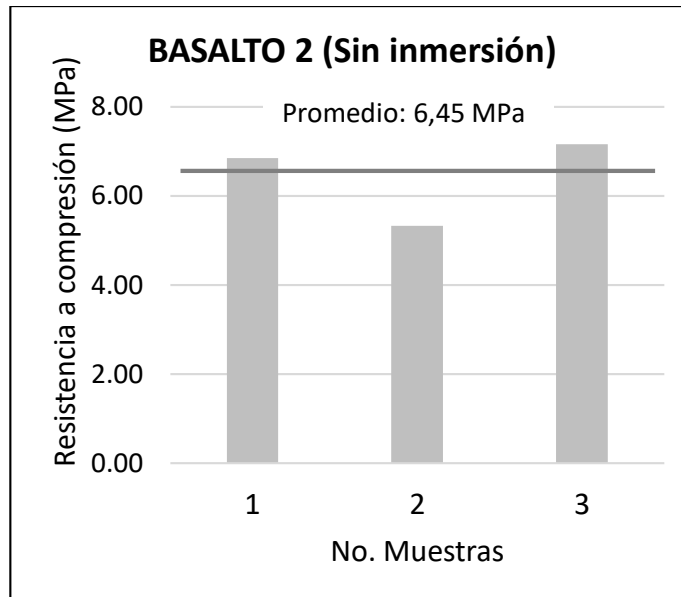


Figura 4. 7 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Basalto 2

Fuente: Autores

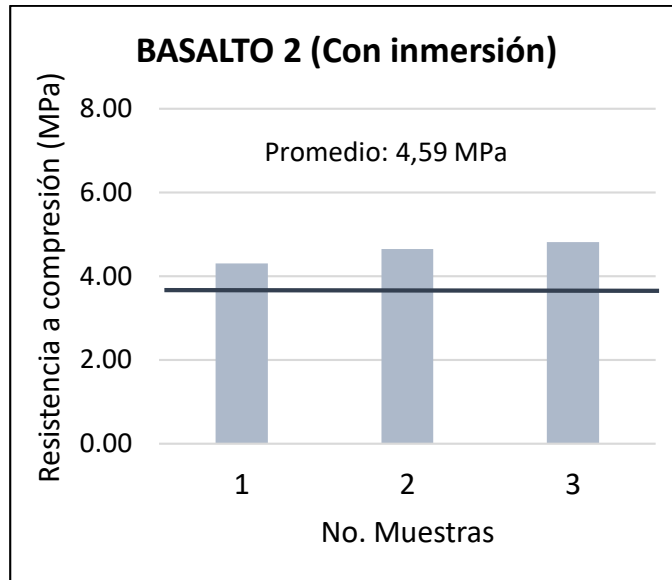


Figura 4. 8 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Basalto 2

Fuente: Autores

4.1.5 Caliza

Tabla 4. 5 Resistencia a compresión de cilindros con agregado Caliza

Resistencia a compresión (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
CALIZA	1	5,04	152	1470	6,5	3,28		96,3
	2	5,03	195	1880	8,4	4,21		
	3	5,06	186	1790	8,0	3,96		
	PROMEDIO					3,82		
	Desv. Estandar					0,48		
	Coef. Variación					12,63		
	4	5,09	174	1686	7,5		3,69	
	5	5,08	176	1700	7,6		3,73	
	6	5,08	171	1645	7,3		3,61	
	PROMEDIO						3,68	
Desv. Estandar						0,06		
Coef. Variación						1,66		

Fuente: Autores

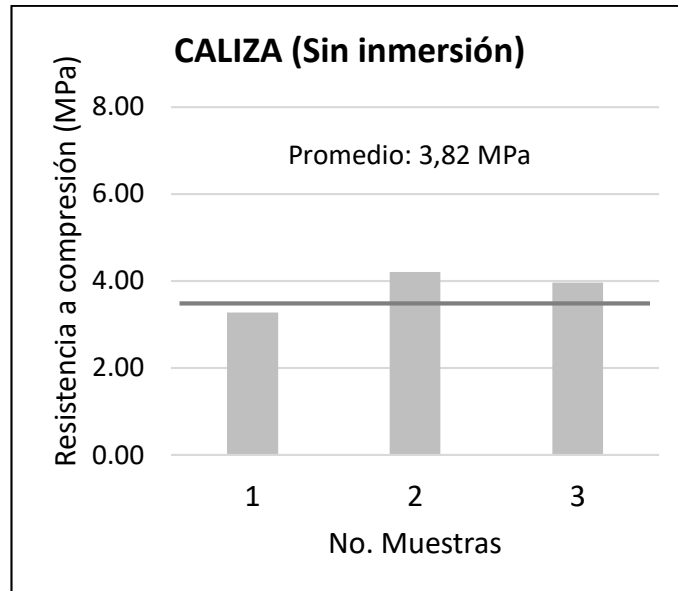


Figura 4. 9 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Caliza

Fuente: Autores

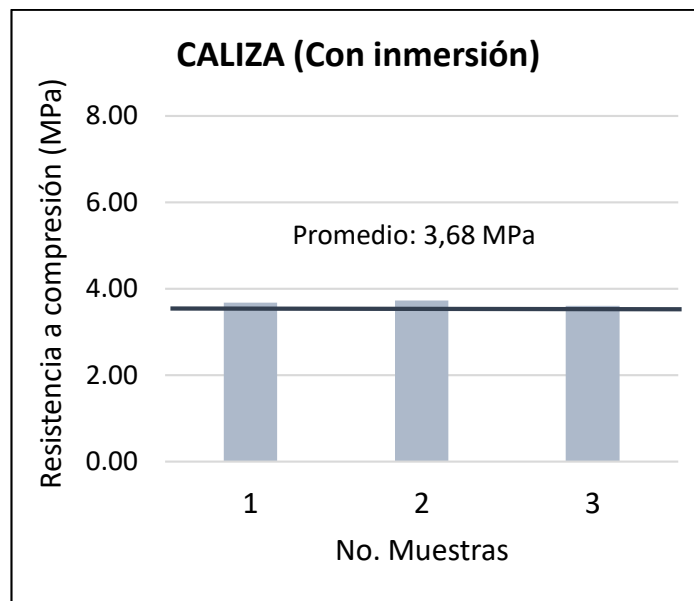


Figura 4. 10 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Caliza

Fuente: Autores

4.1.6 Depósitos Aluviales

Tabla 4. 6 Resistencia a compresión de cilindros con agregado Aluvial

Resistencia a compresión (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
DEP. ALUVIALES	1	5,10	217	2090	9,3	4,55		91,0
	2	5,09	201	1940	8,6	4,24		
	3	5,06	206	1985	8,8	4,39		
	PROMEDIO					4,39		
	Desv. Estandar					0,16		
	Coef. Variación					3,53		
	4	5,09	179	1730	7,7		3,78	
	5	5,13	204	1960	8,7		4,22	
	6	5,11	191	1840	8,2		3,99	
	PROMEDIO						4,00	
	Desv. Estandar						0,22	
	Coef. Variación						5,46	

Fuente: Autores

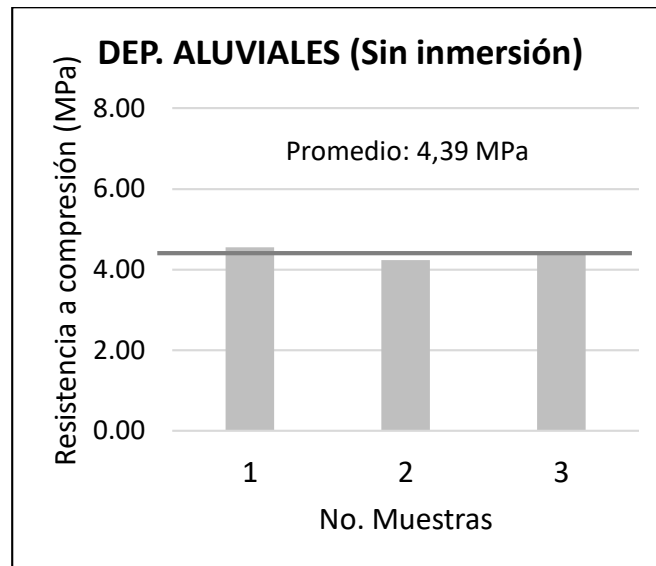


Figura 4. 11 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Depósito Aluvial

Fuente: Autores

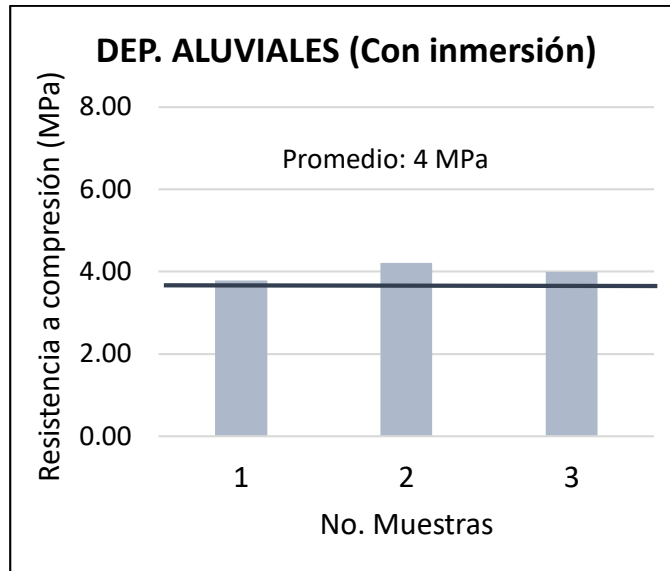


Figura 4. 12 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Depósito Aluvial

Fuente: Autores

4.1.7 Granito

Tabla 4. 7 Resistencia a compresión de cilindros con agregado Granito

Resistencia a compresión (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
GRANITO	1	5,02	191	1840	8,2	4,14		86,9
	2	5,04	184	1770	7,9	3,95		
	3	5,01	189	1818	8,1	4,10		
	PROMEDIO					4,06		
	Desv. Estandar					0,10		
	Coef. Variación					2,48		
	4	5,07	176	1700	7,6		3,75	
	5	5,06	172	1658	7,4		3,67	
	6	5,09	150	1450	6,4		3,17	
	PROMEDIO						3,53	
Desv. Estandar						0,31		
Coef. Variación						8,86		

Fuente: Autores

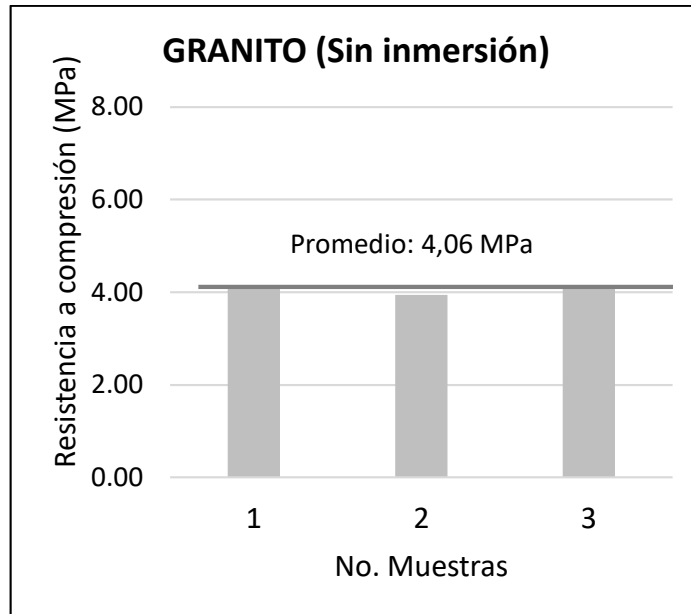


Figura 4. 13 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Granito

Fuente: Autores

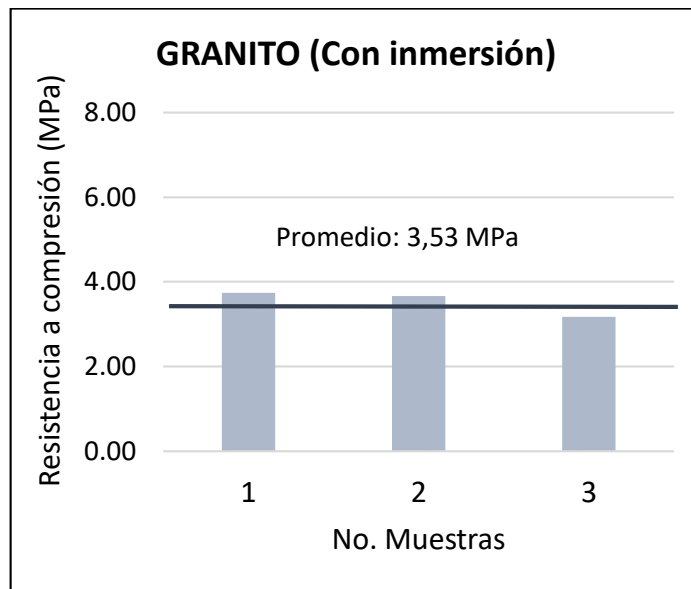


Figura 4. 14 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Granito

Fuente: Autores

4.1.8 Lutita

Tabla 4. 8 Resistencia a compresión de cilindros con agregado Lutita

Resistencia a compresión (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
LUTITA	1	5,13	109	1050	4,7	2,26		0,0
	2	5,08	131	1270	5,6	2,79		
	3	5,10	150	1445	6,4	3,15		
	PROMEDIO					2,73		
	Desv. Estandar					0,45		
	Coef. Variación					16,33		
	4	5,17	CILINDROS DAÑADOS					
	5	5,15						
	6	5,21						
	PROMEDIO							
Desv. Estandar								
Coef. Variación								

Fuente: Autores

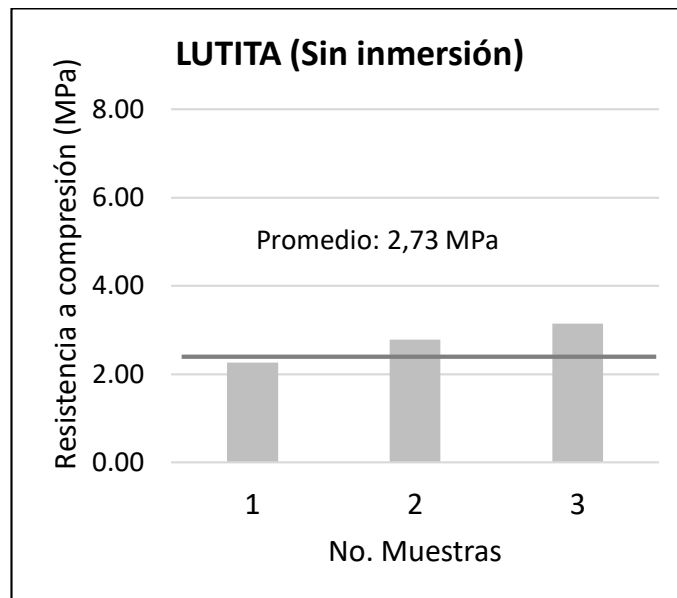


Figura 4. 15 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Lutita

Fuente: Autores

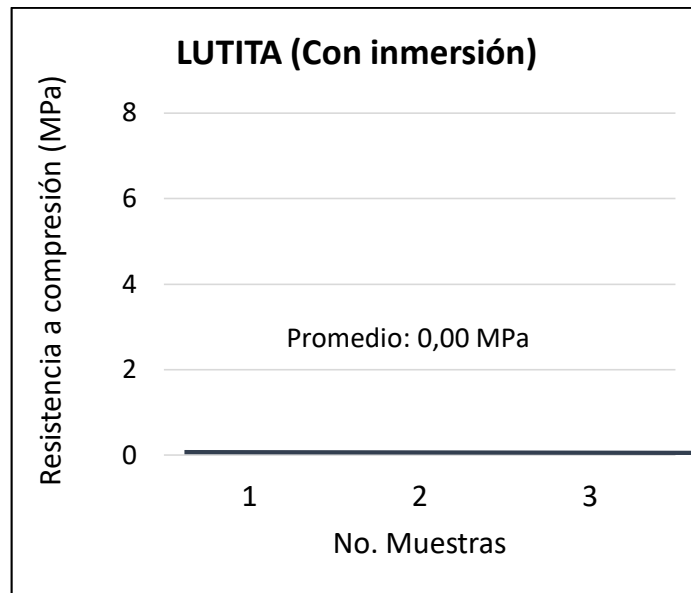


Figura 4. 16 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Lutita

Fuente: Autores

4.1.9 Pizarra

Tabla 4. 9 Resistencia a compresión de cilindros con agregado Pizarra

Resistencia a compresión (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	%retenida
PIZARRA	1	5,04	235	2260	10,1	5,04		72,0
	2	5,04	312	2995	13,3	6,68		
	3	5,07	276	2650	11,8	5,84		
	PROMEDIO					5,85		
	Desv. Estandar					0,82		
	Coef. Variación					14,00		
	4	5,08	187	1800	8,0		3,95	
	5	5,05	217	2090	9,3		4,64	
	6	5,07	191	1840	8,2		4,05	
	PROMEDIO						4,22	
Desv. Estandar						0,37		
Coef. Variación						8,84		

Fuente: Autores

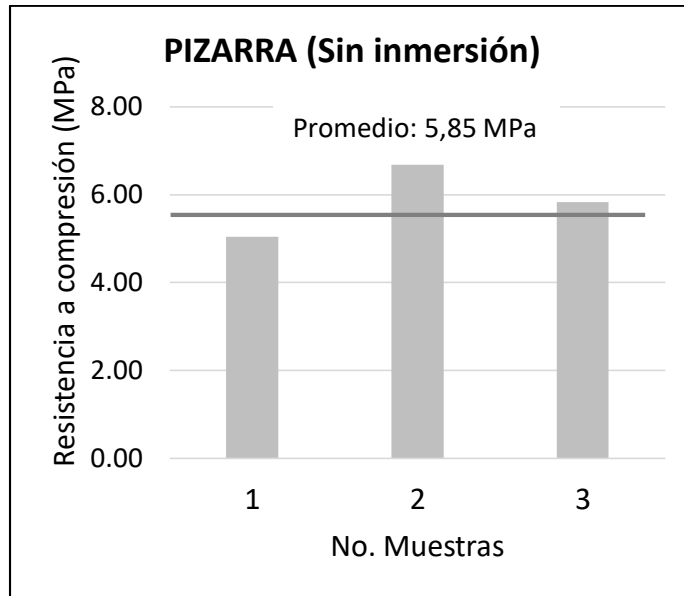


Figura 4. 17 Resultados de prueba a compresión sin inmersión con Pizarra

Fuente: Autores

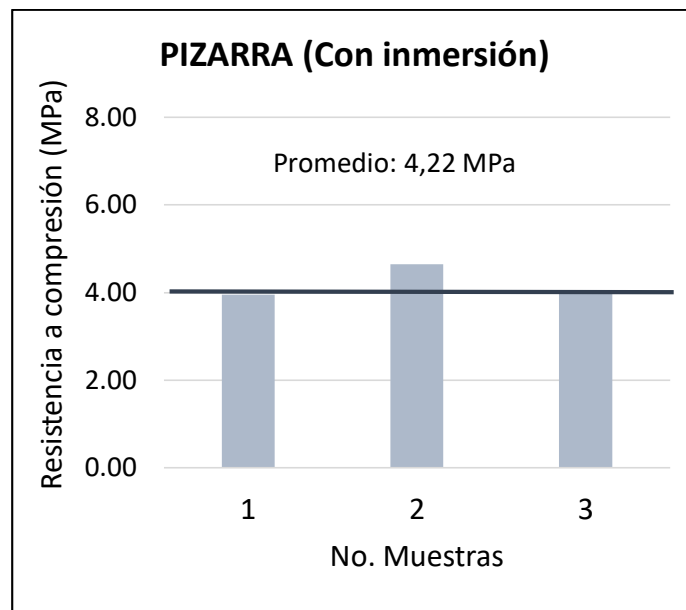


Figura 4. 18 Resultados de prueba a compresión con inmersión con Pizarra

Fuente: Autores

4.2. Resultados de ensayos de corte

4.2.1 Andesita

Tabla 4. 10 Resistencia a corte de cilindros con agregado Andesita

Resistencia a corte (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
ANDESITA	1	5,06	76	740	3,3	1,64		
	2	5,12	86	830	3,7	1,79		
	3	5,04	84	810	3,6	1,81		
	PROMEDIO					1,75		
	Desv. Estandar					0,09		
	Coef. Variación					5,39		
	4	5,10	54	530	2,4		1,15	88,1
	5	5,08	80	780	3,5		1,71	
	6	5,09	82	800	3,6		1,75	
	PROMEDIO						1,54	
	Desv. Estandar						0,33	
	Coef. Variación						21,66	

Fuente: Autores

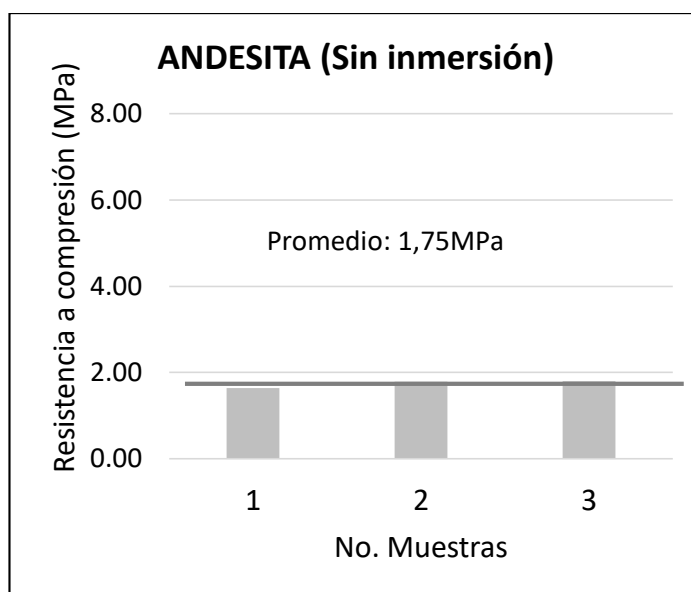


Figura 4. 19 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Andesita

Fuente: Autores

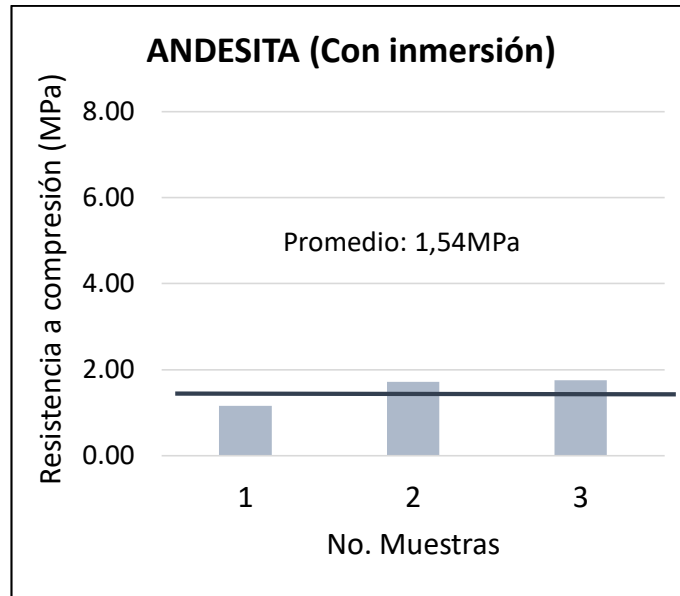


Figura 4. 20 Resultados de prueba a corte con inmersión con Andesita

Fuente: Autores

4.2.2 Argilita

Tabla 4. 11 Resistencia a corte de cilindros con agregado Argilita

Resistencia a corte (MPa)								
Roca	Muestra	Díámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
ARGILITA	1	5,12	80	780	3,5	1,69		58,3
	2	5,09	94	910	4,0	1,99		
	3	5,08	68	660	2,9	1,45		
	PROMEDIO					1,71		
	Desv. Estandar					0,27		
	Coef. Variación					15,88		
	4	5,11	39	380	1,7		0,82	
	5	5,13	68	660	2,9		1,42	
	6	5,10	35	340	1,5		0,74	
	PROMEDIO						1,00	
Desv. Estandar						0,37		
Coef. Variación						37,27		

Fuente: Autores

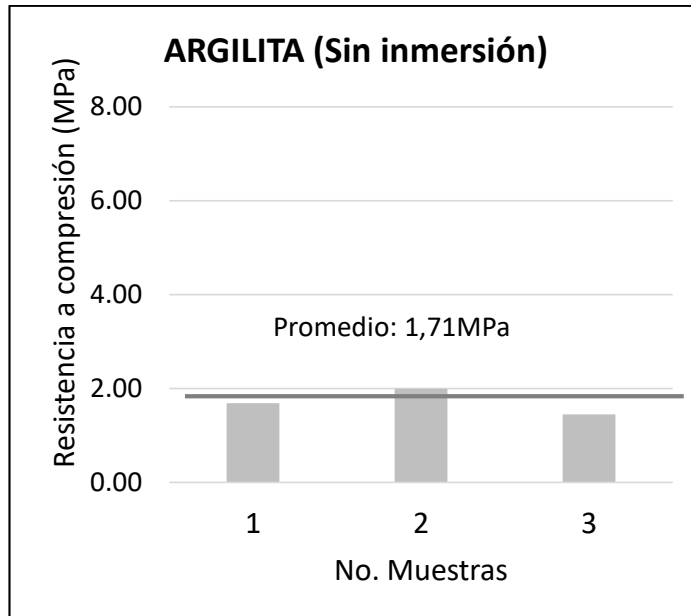


Figura 4. 21 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Argilita

Fuente: Autores

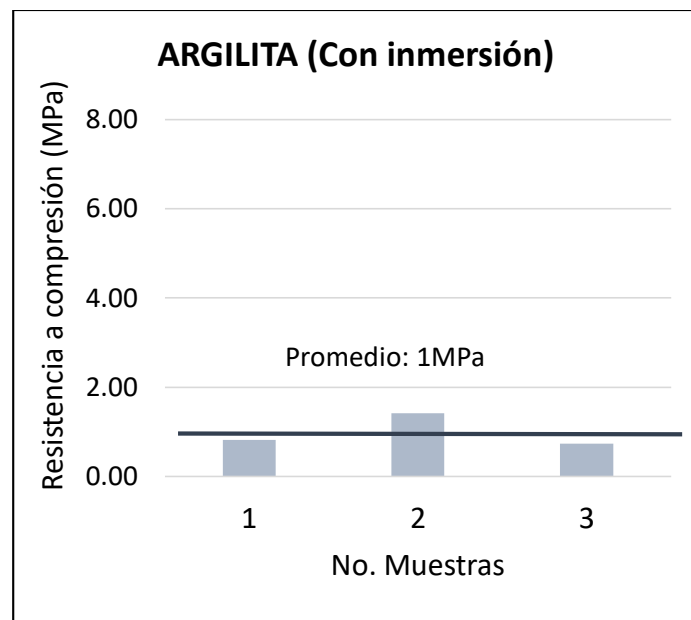


Figura 4. 22 Resultados de prueba a corte con inmersión con Argilita

Fuente: Autores

4.2.3 Basalto 1

Tabla 4. 12 Resistencia a corte de cilindros con agregado Basalto 1

Resistencia a corte (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
BASALTO 1	1	5,02	75	730	3,2	1,64		48,4
	2	5,06	68	660	2,9	1,46		
	3	5,03	69	670	3,0	1,50		
	PROMEDIO					1,53		
	Desv. Estandar					0,09		
	Coef. Variación					6,19		
	4	5,08	35	340	1,5		0,75	
	5	5,09	28	280	1,2		0,61	
	6	5,11	41	400	1,8		0,87	
	PROMEDIO						0,74	
	Desv. Estandar						0,13	
	Coef. Variación						17,22	

Fuente: Autores

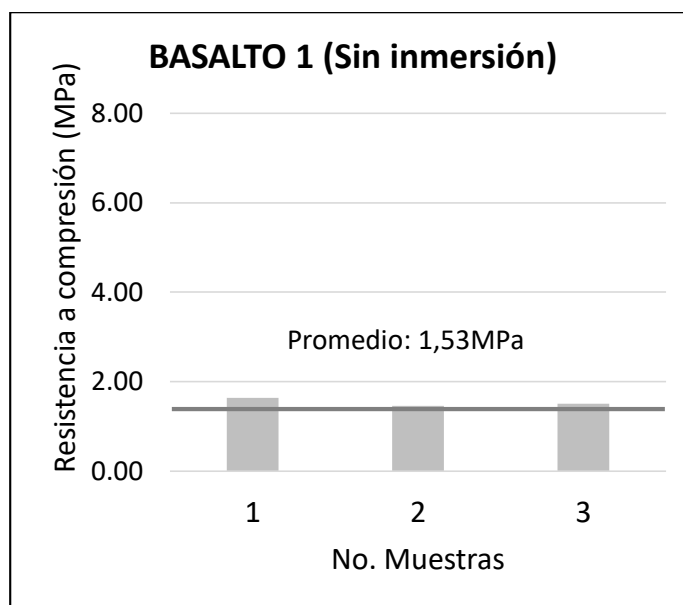


Figura 4. 23 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Basalto 1

Fuente: Autores

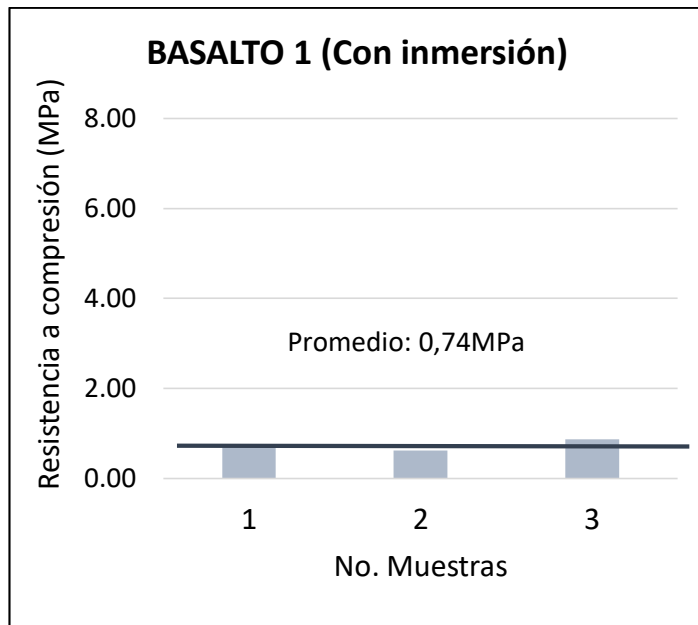


Figura 4. 24 Resultados de prueba a corte con inmersión con Basalto 1

Fuente: Autores

4.2.4 Basalto 2

Tabla 4. 13 Resistencia a corte de cilindros con agregado Basalto 2

Resistencia a corte (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
BASALTO 2	1	5,02	78	760	3,4	1,71		98,3
	2	5,06	86	830	3,7	1,84		
	3	5,01	58	563	2,5	1,27		
	PROMEDIO						1,60	
	Desv. Estandar						0,30	
	Coef. Variación						18,48	
	4	5,07	73	705	3,1		1,55	
	5	5,13	83	805	3,6		1,73	
	6	5,08	68	660	2,9		1,45	
	PROMEDIO						1,58	
	Desv. Estandar						0,14	
Coef. Variación						9,10		

Fuente: Autores

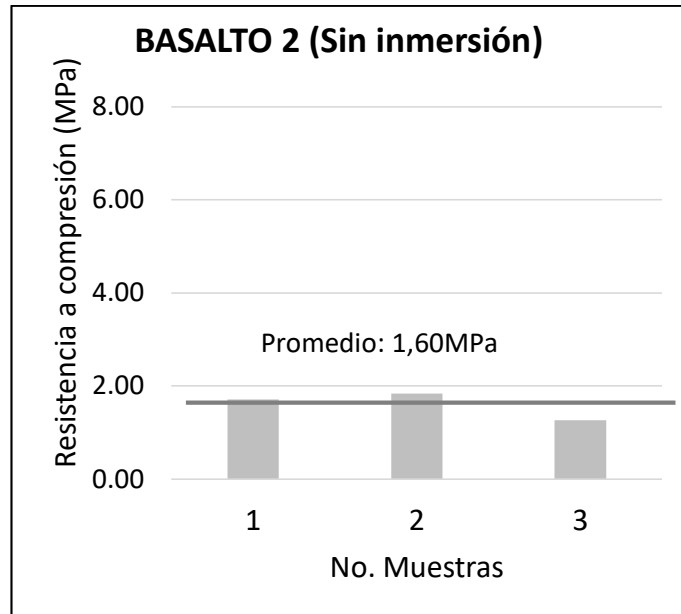


Figura 4. 25 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Basalto 2

Fuente: Autores

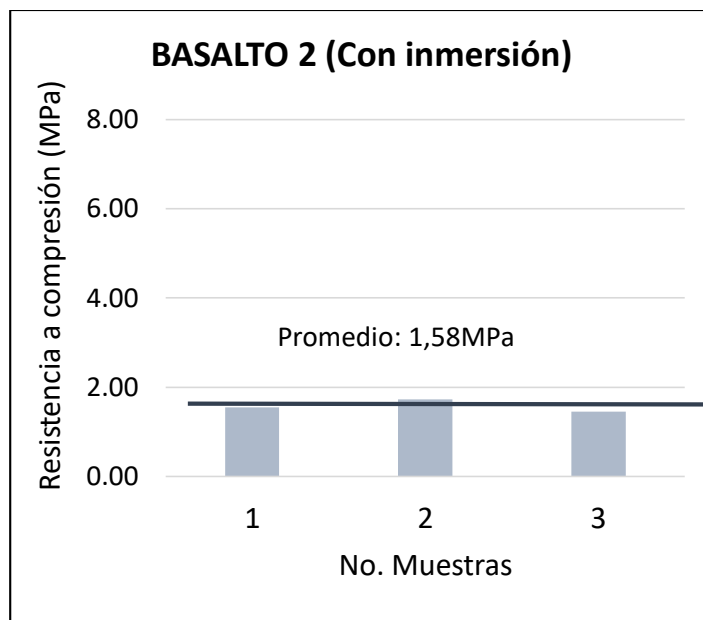


Figura 4. 26 Resultados de prueba a corte con inmersión con Basalto 2

Fuente: Autores

4.2.5 Caliza

Tabla 4. 14 Resistencia a corte de cilindros con agregado Caliza

Resistencia a corte (MPa)									
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida	
CALIZA	1	5,06	54	530	2,4	1,17			79,9
	2	5,05	72	700	3,1	1,55			
	3	5,07	71	690	3,1	1,52			
	PROMEDIO					1,42			
	Desv. Estandar					0,21			
	Coef. Variación					14,94			
	4	5,08	57	555	2,5		1,22		
	5	5,07	49	480	2,1		1,06		
	6	5,08	52	510	2,3		1,12		
	PROMEDIO						1,13		
	Desv. Estandar						0,08		
	Coef. Variación						7,15		

Fuente: Autores

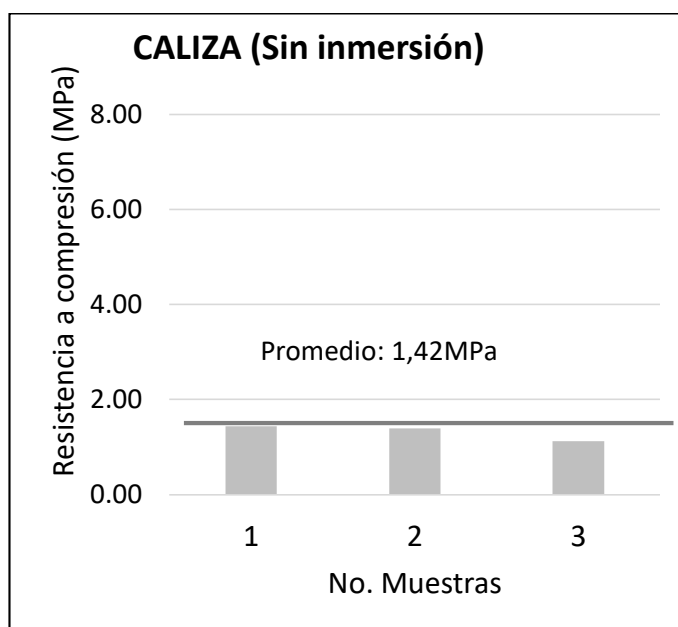


Figura 4. 27 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Caliza

Fuente: Autores

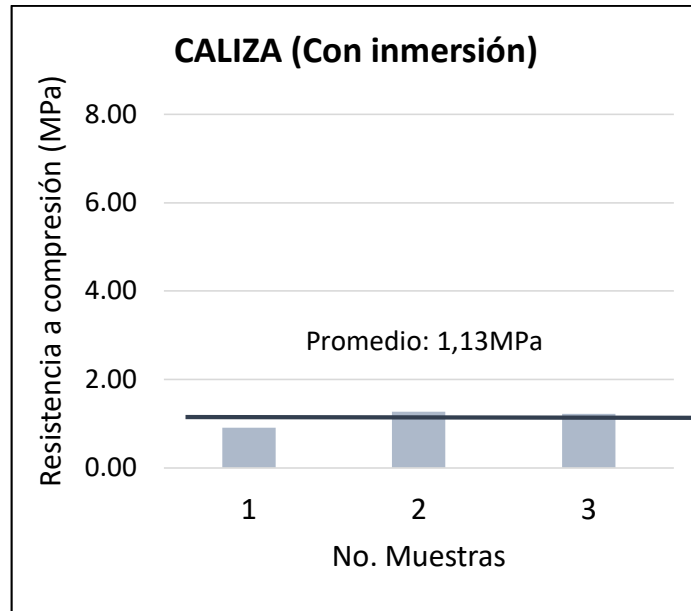


Figura 4. 28 Resultados de prueba a corte con inmersión con Caliza

Fuente: Autores

4.2.6 Depósitos Aluviales

Tabla 4. 15 Resistencia a corte de cilindros con agregado Aluvial

Resistencia a corte (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
DEP. ALUVIALES	1	5,10	68	660	2,9	1,44		86,0
	2	5,08	65	636	2,8	1,40		
	3	5,08	52	510	2,3	1,12		
	PROMEDIO					1,32		
	Desv. Estandar					0,17		
	Coef. Variación					13,12		
	4	5,11	43	420	1,9		0,91	
	5	5,14	61	590	2,6		1,26	
	6	5,09	57	560	2,5		1,22	
	PROMEDIO						1,13	
Desv. Estandar						0,19		
Coef. Variación						17,09		

Fuente: Autores

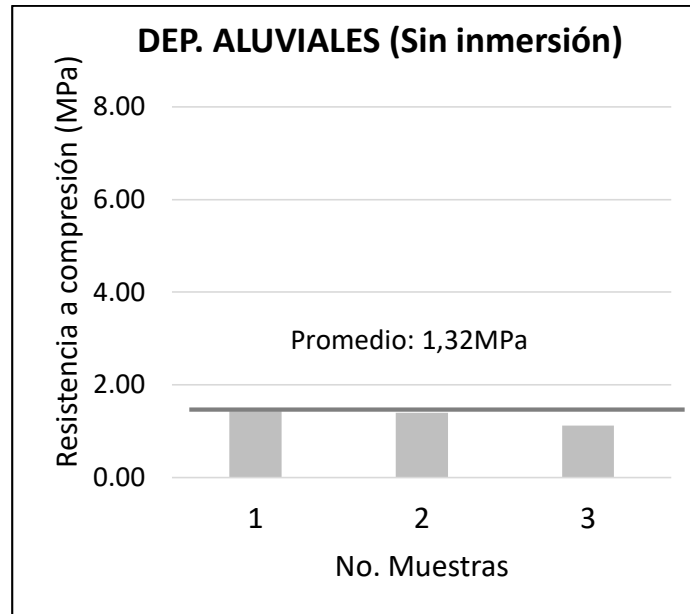


Figura 4. 29 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Depósito Aluvial

Fuente: Autores

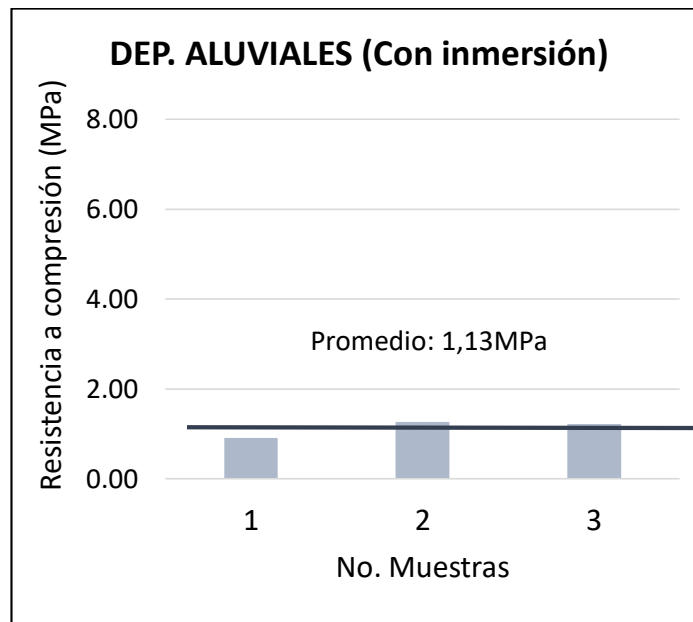


Figura 4. 30 Resultados de prueba a corte con inmersión con Depósito Aluvial

Fuente: Autores

4.2.7 Granito

Tabla 4. 16 Resistencia a corte de cilindros con agregado Granito

Resistencia a corte (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
GRANITO	1	5,04	63	612	2,7	1,36		76,4
	2	5,01	79	770	3,4	1,74		
	3	5,05	63	612	2,7	1,36		
	PROMEDIO					1,49		
	Desv. Estandar					0,22		
	Coef. Variación					14,58		
	4	5,06	52	510	2,3		1,13	
	5	5,05	50	490	2,2		1,09	
	6	5,09	56	545	2,4		1,19	
	PROMEDIO						1,14	
Desv. Estandar						0,05		
Coef. Variación						4,58		

Fuente: Autores

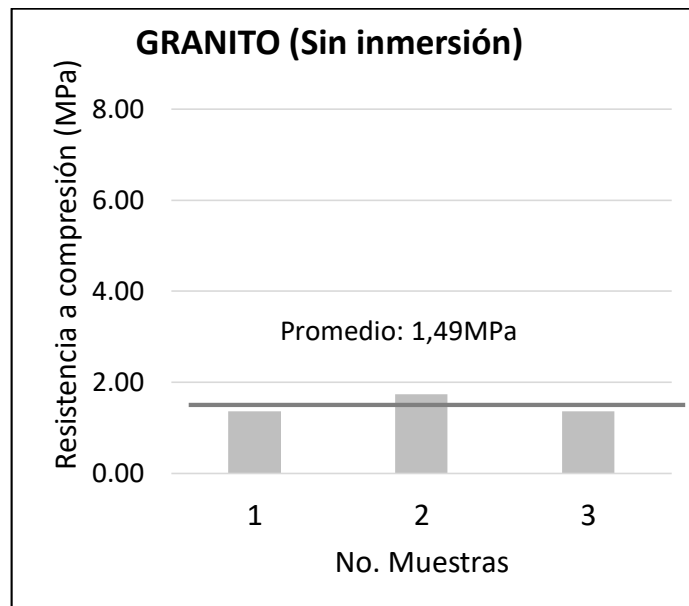


Figura 4. 31 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Granito

Fuente: Autores

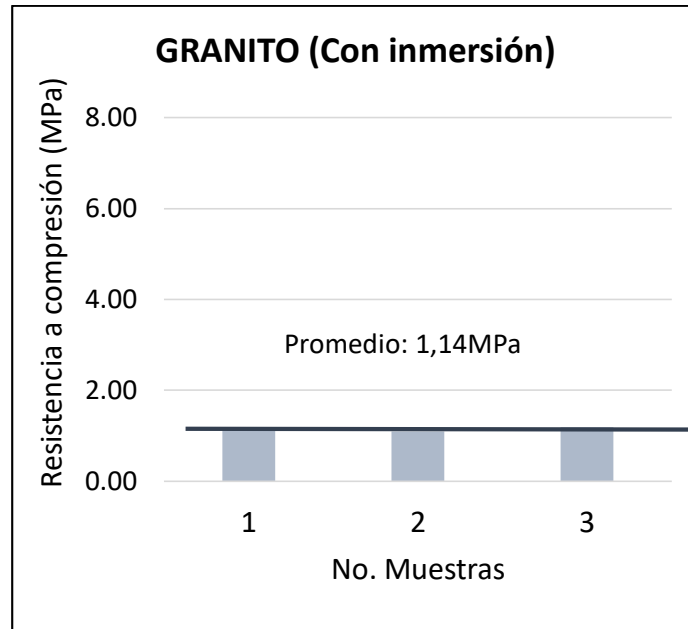


Figura 4. 32 Resultados de prueba a corte con inmersión con Granito

Fuente: Autores

4.2.8 Lutita

Tabla 4. 17 Resistencia a corte de cilindros con agregado Lutita

Resistencia a corte (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
LUTITA	1	5,12	17	170	0,8	0,37		0,0
	2	5,15	10	101	0,4	0,22		
	3	5,11	20	202	0,9	0,44		
	PROMEDIO					0,34		
	Desv. Estandar					0,11		
	Coef. Variación					33,39		
	4	5,18						
	5	5,21	CILINDROS					
	6	5,13	DAÑADOS					
	PROMEDIO							
Desv. Estandar								
Coef. Variación								

Fuente: Autores

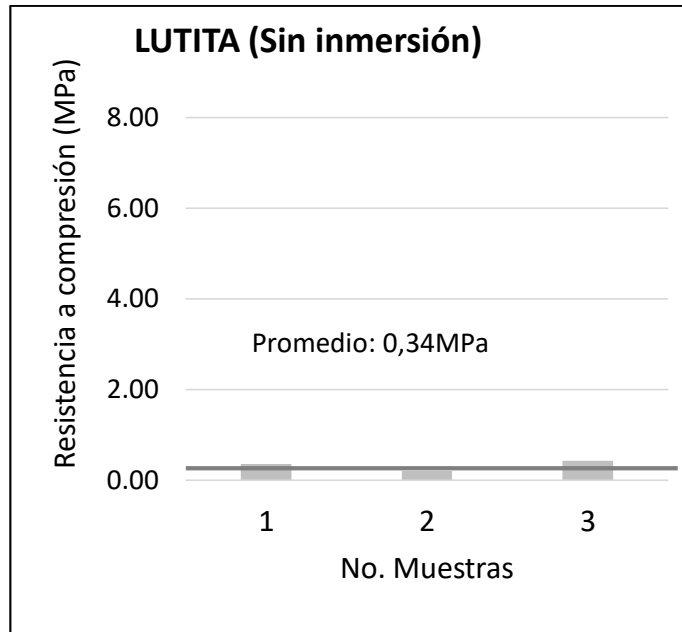


Figura 4. 33 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Lutita

Fuente: Autores

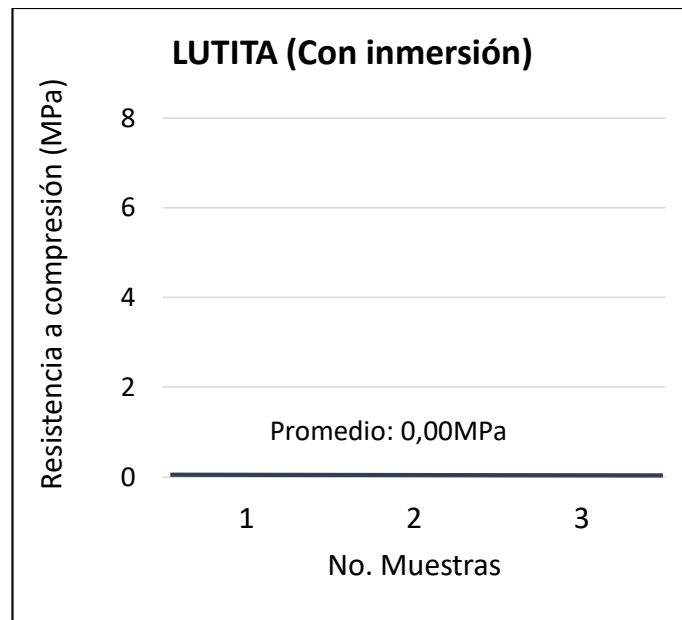


Figura 4. 34 Resultados de prueba a corte con inmersión con Lutita

Fuente: Autores

4.2.9 Pizarra

Tabla 4. 18 Resistencia a corte de cilindros con agregado Pizarra

Resistencia a corte (MPa)								
Roca	Muestra	Diámetro (cm)	DEF (0,0001")	CARGA (lbs)	CARGA (kN)	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
PIZARRA	1	5,04	67	650	2,9	1,45		60,3
	2	5,04	94	910	4,0	2,03		
	3	5,07	46	450	2,0	0,99		
	PROMEDIO					1,49		
	Desv. Estandar					0,52		
	Coef. Variación					34,90		
	4	5,08	38	370	1,6		0,81	
	5	5,05	52	510	2,3		1,13	
	6	5,07	35	340	1,5		0,75	
	PROMEDIO						0,90	
	Desv. Estandar						0,21	
Coef. Variación						22,90		

Fuente: Autores

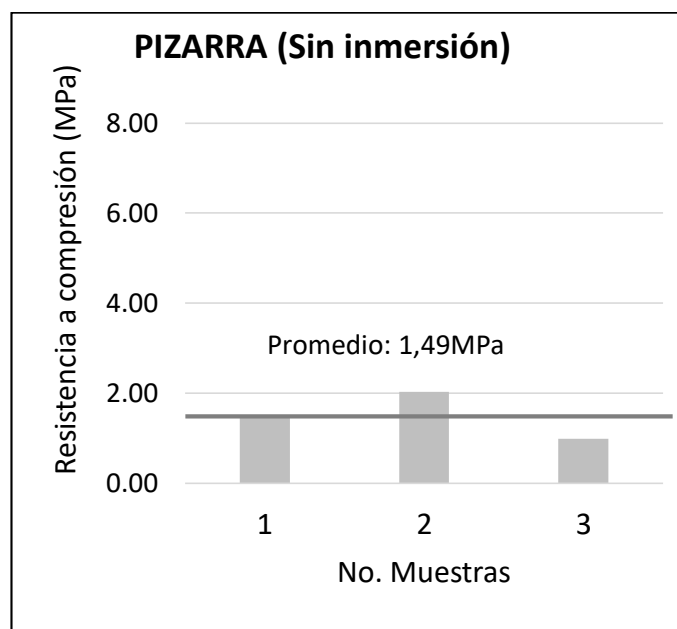


Figura 4. 35 Resultados de prueba a corte sin inmersión con Pizarra

Fuente: Autores

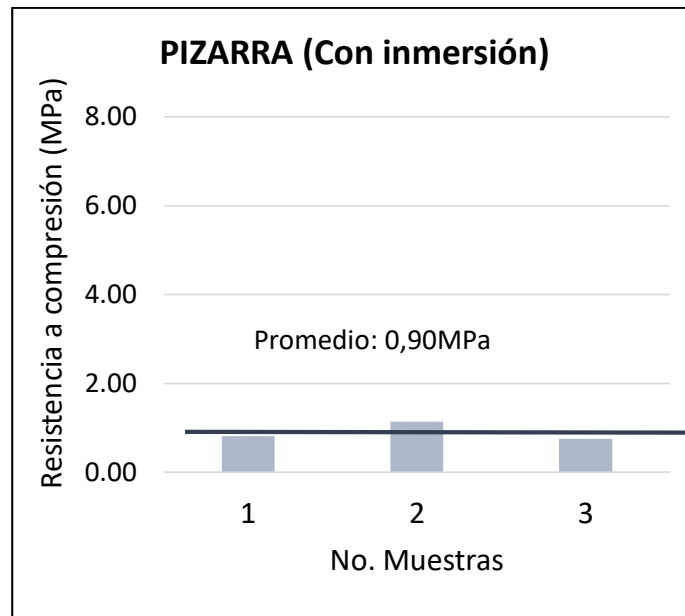


Figura 4. 36 Resultados de prueba a corte con inmersión con Pizarra

Fuente: Autores

4.3. Evaluación de resultados

En general, tanto para la resistencia a compresión como a cortante, se obtienen menores valores al ensayar los cilindros a los 4 días de inmersión en agua, es decir, que el daño en agua es identificado por ambos métodos según los procedimientos seleccionados.

No obstante, como se puede apreciar en la Tabla 4.19, que resume los resultados, así como en las figuras 4.37 y 4.38, los valores de resistencia son muy diferentes, siendo mucho más elevados a compresión (entre 2.64 y 6.45 MPa) que a cortante (entre 0.34 y 1.75 MPa). Se excluye en este planteamiento la resistencia tanto a compresión como a cortante en las mezclas con los agregados procedentes de la roca Lutita, que con inmersión fueron de cero.

Tabla 4. 19 Resumen de los resultados de resistencia obtenidos

No.	Tipo de roca	Resistencia a compresión (MPa)			Resistencia a cortante (MPa)		
		Sin inmersión	Con inmersión	% retenida	Sin inmersión	Con inmersión	% retenida
1	Andesita	5,64	5,52	97,8	1,75	1,54	88,1
2	Argilita	5,47	2,64	48,3	1,71	1,00	58,3
3	Basalto 1	3,90	2,86	73,3	1,53	0,74	48,4
4	Basalto 2	6,45	4,59	71,2	1,60	1,58	98,3
5	Caliza	3,82	3,68	96,3	1,42	1,13	79,9
6	Dep. Aluviales	4,39	4,00	91,0	1,32	1,13	86,0
7	Granito	4,06	3,59	86,9	1,49	1,14	76,4
8	Lutita	2,73	0,00	0,0	0,34	0,00	0,0
9	Pizarra	5,85	4,22	72,0	1,49	0,90	60,3

Fuente: Autores

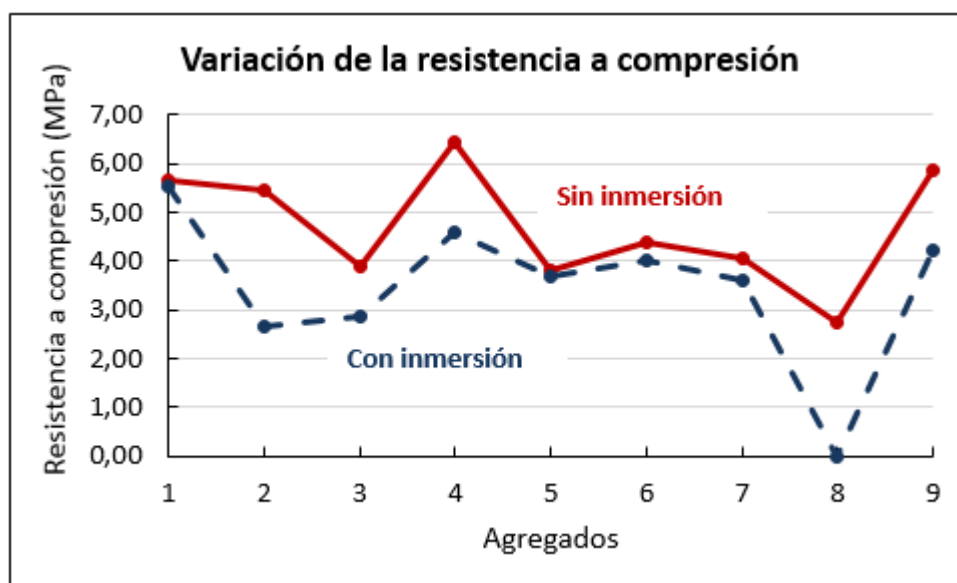


Figura 4. 37 Variación de la resistencia a compresión con los tipos de agregados

Fuente: Autores

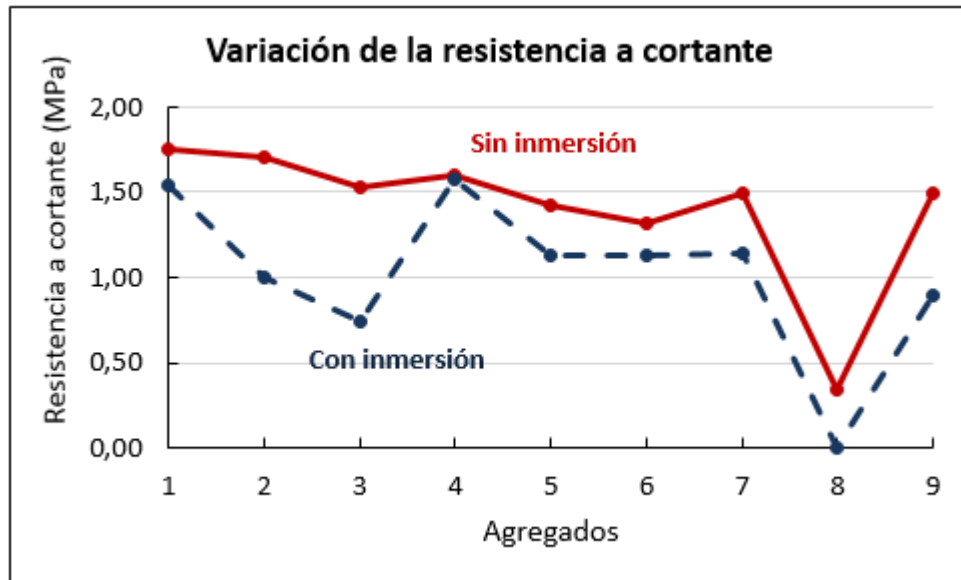


Figura 4. 38 Variación de la resistencia a cortante con los tipos de agregados

Es decir, que la resistencia a cortante según el procedimiento empleado muestra que es más baja en todas las mezclas asfálticas que a compresión, independientemente de que las solicitaciones a cortante provocadas por las cargas también lo son. Este tipo de resistencia por su incidencia en ciertos deterioros en el pavimento, como: roderas, ondulaciones y peladuras, deben estudiarse con mayor profundidad y también merecen ser controladas, algo que no se realiza hasta el momento.

Un análisis de la distribución del porcentaje de resistencia retenida se muestra en la Tabla 4.21.

Rango	Resistencia retenida (%)			
	A compresión		A cortante	
	Total	Agregados	Total	Agregados
85% - 100%	4	Andesita Caliza Dep. Aluviales Granito	3	Andesita Basalto 2 Dep. Aluviales
70% - 85%	3	Basalto 1 Basalto 2 Pizarra	2	Caliza Granito
< 70%	2	Argilita Lutita	4	Argilita Basalto 1 Lutita Pizarra

Tabla 4.21. Distribución por rangos de la resistencia retenida

El primer rango, al que pudiera considerársele una calidad de excelente, incluye resistencias retenidas superiores a 85%, que es un límite frecuente en estudios de daño por agua. El segundo rango, ya que a nuestro juicio el impacto de este daño puede ser mayor a otros convencionales debido al tamaño relativamente pequeño de los cilindros y su baja compactación (vacíos en la mezcla entre 6,5 y 8%), va de 70 a 85%, donde se estima un comportamiento de regular a bueno. Por último, rango con valores menores a 70%, que pueden considerarse de malos a regulares.

Puede observarse que estudiando ambas resistencias en el primer rango se presentan 4 agregados a compresión y 3 a cortante, de los cuales solo 2 agregados coinciden. Si se amplía el rango por encima de 70% entonces 7 valores a compresión y 5 a cortante califican en el mismo, entre los cuales los 5 agregados correspondientes a cortante también cumplen a compresión.

Por debajo de 70% evidentemente los agregados denominados como Argilita y Lutita no cumplirían pero también entran en duda los comportamientos ante el agua de la Pizarra y el Basalto 1.

En la Figura 4.39 que se muestra a continuación, se observa la variación de la diferencia de resistencia retenida a compresión y cortante.

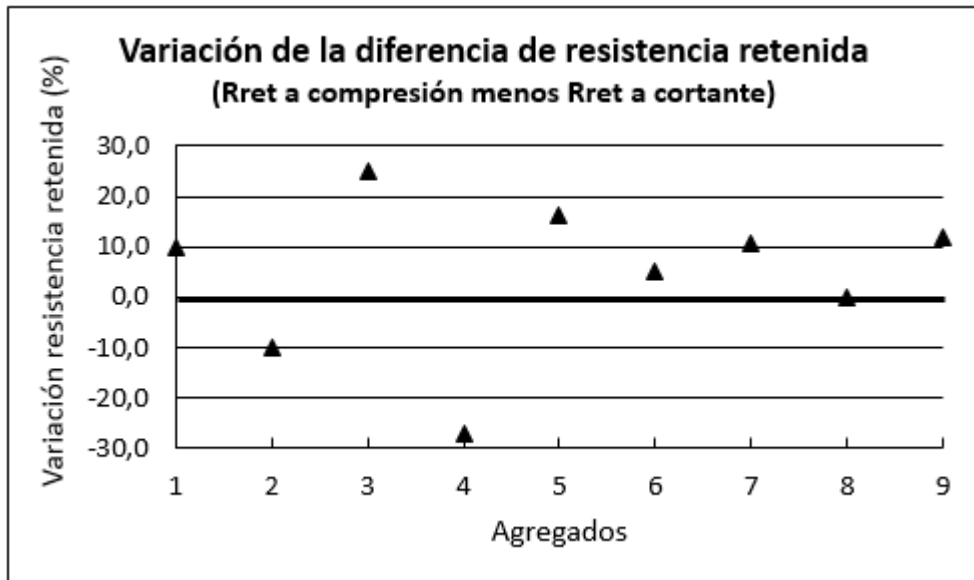


Figura 4. 39 Variación de la diferencia de resistencia retenida

En la misma se observa que de 9 mezcla empleando distintos agregados en 7 de ellas la resistencia retenida a compresión fue mayor o igual a la de cortante (valores ≥ 0). En solo dos casos ocurrió lo contrario, en la Argilita (Agregado No. 2) y Basalto 2 (No. 4).

Un detalle interesante es valorar la relación existente entre el porcentaje de vacíos y la resistencia retenida por ambos métodos. Se destaca en nuestro estudio que el porcentaje de vacíos, pese a los disímiles agregados se mantuvo normalmente entre 6.8% y 8.2%, con la excepción de la Lutita, que es una roca cuyos fragmentos formando parte del agregado mineral se fracturaban o partían con facilidad durante el proceso de compactación, por lo que el porcentaje de vacíos final fue muy alto (15% como promedio), pese a las distintas variantes que se probaron.

En general, para un mismo tipo de agregados la lógica indica que a mayores porcentajes de vacíos existirá más daño por el agua y por ende menor resistencia retenida (seca versus inmersión). En el caso de la resistencia retenida a compresión la relación obtenida puede verse en la Figura 4.40.

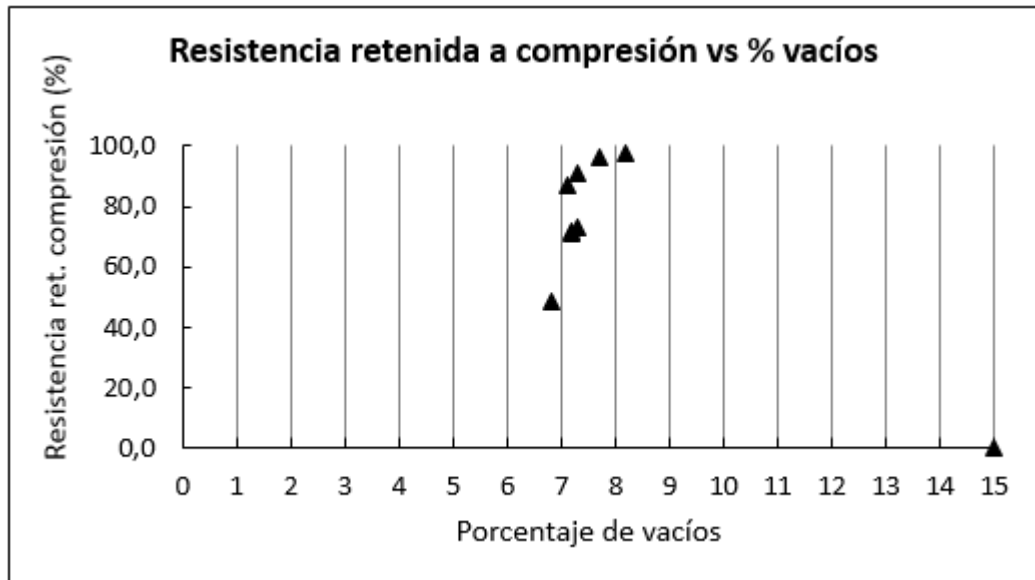


Figura 4. 40 Relación entre resistencia retenida a compresión y el porcentaje de vacíos

Como se aprecia, la mayor parte de los porcentajes de vacíos promedios para los diferentes agregados se ubican entre 7% y 8%, con una tendencia inversa a la mencionada anteriormente, por lo que puede estimarse que el comportamiento que se muestra se debe fundamentalmente a la calidad de la roca. Pueda observarse que para la roca Lutita el porcentaje de 15% de vacíos ya es tan alto que las resistencias con inmersión fueron cero en ambos casos, o sea, tanto en compresión como cortante.

La relación entre la resistencia retenida a cortante y el porcentaje de vacíos se muestra en la Figura 4.41. Los criterios técnicos expresados en el párrafo anterior respecto a la resistencia retenida a compresión son válidos también para los resultados de la resistencia a cortante.

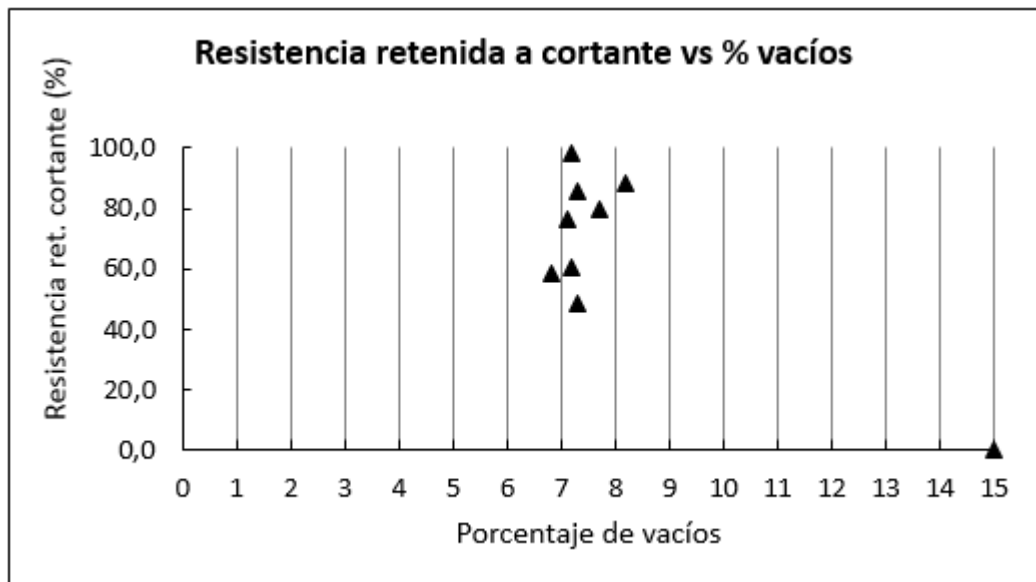


Figura 4. 41 Relación entre resistencia retenida a cortante y el porcentaje de vacíos

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

✓ Conclusiones

- Los resultados obtenidos en los ensayos de corte y compresión tienen una tendencia parecida respecto a la pérdida de resistencia.
- La mezcla asfáltica con agregado Lutita presenta los peores resultados tanto en el ensayo de compresión y corte directo tanto con inmersión y sin inmersión con la particularidad que al ser sumergidos en agua se observó gran desprendimiento de agregados.
- Las mezclas asfálticas con agregado Andesita y Basalto 2 presentan los mejores resultados de resistencia a corte con inmersión y sin inmersión los mejores resultados lo presentan las mezclas asfálticas con agregado Andesita y Argilita y mientras las mezclas asfálticas con agregado Basalto 2 y Pizarra presentaron los mejores resultados en los ensayos de compresión.
- Tanto para la resistencia a compresión como a cortante, se obtienen menores valores al ensayar los cilindros a los 4 días de inmersión en agua, es decir, que el daño en agua es notable para ambos tipos de ensayos.
- Los valores de resistencia en ambos tipos de ensayos son muy diferentes, siendo mucho más elevados a compresión (entre 2.64 y 6.45 MPa) que a cortante (entre 0.34 y 1.75 MPa).
- Se puede observar que los cilindros con mayor porcentaje de vacíos obtienen los menores valores de resistencia.

✓ **Recomendaciones**

- Ampliar el estudio con un mayor número de especímenes por cantera para los ensayos a compresión y corte que permita obtener mayor información estadística.
- Aplicar aditivos de adherencia a las diferentes mezclas asfálticas analizadas y chequear el aporte de estos mediante el ensayo de corte.
- Ensayar implementando diferentes velocidades de deformación y temperaturas para observar las mejores combinaciones de ensayos.

CAPÍTULO V

6. BIBLIOGRAFÍA

- Asphalt Institute. (1997). *Mix Design Methods for Asphalt Concrete* (Sextaed.). Lexington, Kentucky, Estados Unidos: Manual Series No. 2.
- Fromm, H. (1974). *The Mechanisms of Asphalt Stripping from Aggregate Surfaces*. Research and Development Division, Ontario Ministry of Transportation and Communications.
- Gamba, G., & Mercado, J. (2004). Concepción de un ensayo para establecer el efecto de la presión de poro en el deterioro por humedad de las mezclas asfálticas. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J., Alonso, S., & Alonso, H. (2004). *Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas*. Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte.
- González, S. (2015). Estado del Arte en el Estudio de la adherencia entre el asfalto y el agregado. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Gutierrez, A., & Ramirez, L. E. (2008). Como saber si nuestra mezcla asfáltica será resistente a la acción del agua. *XXXV Reunión del 113*
- Kennedy, T. W., Roberts, F. L., & Anagnos, J. N. (1984). *Texas Boiling Test for Evaluating Moisture Suceptibility of Asphalt Mixtures*. Austin: Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.
- Morocho, D. (2014). Trabajo de Titulación. *Aplicación de pruebas de desempeño a mezclas asfálticas producidas en diferentes Plantas de la Región Sierra*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- MTOP, M. (2002). *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Carreteras y Puentes*. Quito, Ecuador: MOP-001-F2002.
- Nuñez, K. (2014). Trabajo de Titulación. *Estudio de Mezclas Asfálticas colocadas en vías de la Región Sierra del Ecuador mediante Pruebas*

de Desempeño. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. 114

- Tarrer, A., & Wagh, V. (1991). *The Effect of the Physical and Chemical Characteristics of the Aggregate on Bonding*. Washington: Strategic Highway Research Program.
- Vila, R., & García, G. (2016). *Resistencia de las mezclas asfálticas calientes producidas en el Ecuador ante la acción del agua*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Ingeniero Álvaro Gutiérrez Muñiz. (2008). Comisión permanente del asfalto ciudad de Rosario (Santa Fe). Como saber si nuestra mezcla asfáltica será resistente a la acción del agua.
- Drs. Bjorn Biegisson, Reynaldo Roque, and Mang Tia, of the University of Florida, and Dr. Eyad Masad, of Texas A&M University. (2005). Development and Evaluation of test Methods to Evaluate water damage.
- Vila, R. (2009). *Prueba simple de corte directo para evaluar mezclas asfálticas*. Lisboa: CILA XV.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **García Delvicier, Christian Joao**, con C.C: # **0918068032** y **Garzosi Palma, Jorge Nahin**, con C.C: # **0925649501** autores del trabajo de titulación: **Evaluación de la Pérdida de Cohesión Debido a la Humedad en las Mezclas Asfálticas**, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 6 de marzo de 2018

f. _____

García Delvicier Christian Joao

C.C: 0918068032

f. _____

Garzosi Palma Jorge Nahin

C.C: 0925649501

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COHESIÓN DEBIDO A LA HUMEDAD EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS		
AUTOR(ES)	GARCÍA DELVICIER CHRISTIAN JOAO Y GARZOZI PALMA JORGE NAHIN		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	VILA ROMANÍ ROLANDO		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
FACULTAD:	FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA:	INGENIERÍA CIVIL		
TÍTULO OBTENIDO:	INGENIERO CIVIL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	6 DE MARZO DE 2018	No. DE PÁGINAS:	115
ÁREAS TEMÁTICAS:	PAVIMENTOS		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	COHESIÓN, ENSAYO DE CORTE, ENSAYO DE COMPRESIÓN, MEZCLAS ASFÁLTICAS		
<p>RESUMEN/ABSTRACT: Uno de los problemas que más impacta el comportamiento de las mezclas asfálticas en los pavimentos de carreteras es el daño por el agua, en el presente trabajo se realiza un análisis de la pérdida de cohesión debido al efecto de la humedad en mezclas para capas de rodadura producidas con agregados de composiciones diferentes, evaluada a partir de la resistencia retenida en pruebas de compresión y corte directo con y sin inmersión en agua.</p> <p>Se seleccionaron 9 tipos de agregados de calidad variable empleando la misma exigencia granulométrica y porcentajes de asfaltos variables, buscando alcanzar un porcentaje de vacíos próximo al 7%.</p> <p>Los resultados obtenidos en ambos ensayos tienen tendencia parecida respecto a la pérdida de cohesión, aunque en general los valores obtenidos en la resistencia retenida a cortante son menores.</p> <p>El peor comportamiento atendiendo a las rocas estudiadas lo generan la argilita y la lutita aunque según la prueba de corte también se pudieran incluir la pizarra y el basalto 1.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI		<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: (+593)-999052424 - (+593)-988960268	E-mail: christiangarciadelvicier@gmail.com, jorgenahin@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: ING. CLARA GLAS CEVALLOS		
	Teléfono: +593-4-206950		
	E-mail: claglas@hotmail.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			