



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

**TEMA:**

**“EFECTIVIDAD DE LA PRUEBA CON PISTÓN PARA LA  
EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA ASFALTO-AGREGADO”**

**AUTORES:**

**Gallo Muñoz, Nicole Alejandra  
Sánchez Quezada, Adriana Daniela**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.**

**Guayaquil, Ecuador**

**27 de febrero del 2020**



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 **Gallo Muñoz, Nicole Alejandra y Sánchez Quezada, Adriana Daniela**, 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. Msc.**

**Guayaquil, a los 27 del mes de febrero del año 2020**



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

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotras, **Gallo Muñoz, Nicole Alejandra y Sánchez Quezada,  
Adriana Daniela**

### **DECLARAMOS QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Efectividad de la prueba de pistón para la evaluación de la adherencia asfalto-agregado** previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 27 del mes de febrero del año 2020**

### **AUTORAS**

f. \_\_\_\_\_

**Gallo Muñoz Nicole Alejandra**

f. \_\_\_\_\_

**Sánchez Quezada Adriana Daniela**



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

## **AUTORIZACIÓN**

Nosotras, **Gallo Muñoz, Nicole Alejandra y Sánchez Quezada,  
Adriana Daniela**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Efectividad de la prueba con pistón para la evaluación de la adherencia asfalto-agregado**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 27 del mes de febrero del año 2020**

## **AUTORAS**

f. \_\_\_\_\_

**Gallo Muñoz Nicole Alejandra**

f. \_\_\_\_\_

**Sánchez Quezada Adriana Daniela**

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** Trabajo de titulacion Adriana Sánchez - Nicole Gallo.doc (D64029928)  
**Submitted:** 2/17/2020 9:36:00 PM  
**Submitted By:** rebeca.gonzalez@cu.ucsg.edu.ec  
**Significance:** 6 %

### Sources included in the report:

EMPLEO DE LA PRUEBA DE ADHERENCIA CON PISTÓN EN MUESTRAS DE ROCAS PROCEDENTES DE SEIS CANTERAS.docx (D30297072)  
Tesis 1.docx (D26003193)  
TESIS WAGNER Y HELEN (versión URKUND).docx (D18241401)  
20171020 TITULACION\_LOPEZ-PEREZ\_-PUMA-VASQUEZ.pdf (D31591405)  
completa - Copyact.docx (D14694166)  
BERMEO VARELA DAYANA.pdf (D62306525)  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15524/CelyLealNestorEdgardo2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>  
<https://docplayer.es/amp/147057181-Facultad-de-ingenieria-carrera-de-ingenieria-civil.html>  
<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/harenas/docs/MATERIALES%20DE%20CONSTRUCCION/MATERIALES%20BITUMINOSOS/tecnologia%20del%20cemento%20asfaltico-HUGO%20LEON%20ARENAS.pdf>  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/8321/4/DOCUMENTO-TRABAJO-DE-GRADO.pdf>  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-13.pdf?sequence=13&isAllowed=y>

### Instances where selected sources appear:

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mi madre Virgen María y a mi Virgen del Cisne por cuidar siempre de mí y no permitir que me rinda cuando sienta que ya no puedo más, por permitirme lograr cada objetivo que son el resultado de su ayuda infinita.

A mis padres Wilson Gallo y Inés Muñoz por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi carrera universitaria, gracias a ustedes por creer y confiar en mí, gracias mamá por estar siempre acompañándome en mis noches de estudio y sacrificarse tanto para que sus hijas puedan lograrlo todo.

A mis hermanas, especialmente a María José por apoyarme, cuidarme y amarme tanto, le agradezco por regalarme consejos, abrazos cuando ambas estamos a punto de desvanecernos, gracias por permitirme ser yo y sobre todo muchas gracias por estar siempre para mí ante cualquier logro, derrota, quiero que sepa que usted es una de las personas más maravillosas que Dios me permitió conocer y cuán agradecida estoy que sea mi hermana, es mi todo y mi mundo.

Asimismo, a mis compañeros y amigos universitarios en especial a Karem Ramos, Adriana Sánchez, Nati Andrade, Fernando Franco y Jonathan Franco por enseñarme lo valioso, desinteresado, y bonito que es tener una amistad, los admiro mucho y estoy agradecida con Dios por permitirme conocerlos y compartir con ustedes.

Para finalizar, un agradecimiento especial a la persona que confió en mí desde un principio, a mi tutor de tesis, Ing. Rolando Vila Romaní, PhD, gracias por haberme brindado la oportunidad de seguir aprendiendo de su experiencia, sabiduría, para culminar con éxitos este trabajo de titulación.

**Nicole Alejandra Gallo Muñoz**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero darle gracias a Dios por iluminar cada paso que doy en la vida, en especial por darme las fuerzas para nunca rendirme a pesar de las adversidades y poder cumplir el sueño de ser ingeniera civil. Gracias a mi mamá, la Abg. / Lcda. Narcisa de Jesús Quezada González por todo su esfuerzo, amor y apoyo incondicional para cumplir esta meta. Por ser el pilar de mi vida y enseñarme que con dedicación y confianza en Dios se puede ser mejor cada día en el ámbito espiritual y profesional.

Al Dr. Rolando Vila y a su equipo de trabajo en el Laboratorio de Carreteras por ser nuestra guía para el éxito de este trabajo de titulación. Y, a Nicole Alejandra Gallo Muñoz por ser la mejor compañera y amiga para llevar a cabo grandes proyectos como este.

**Adriana Daniela Sánchez Quezada**

## **DEDICATORIA**

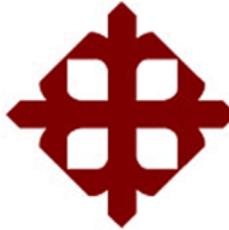
A mi madre Inés Muñoz y a mi hermana María José Gallo por ser los pilares fundamentales en mi vida, le agradezco a ambas por enseñarme el ejemplo de superación, humildad, sacrificio, perseverancia, amor y por todo el esfuerzo que han hecho para que yo pueda culminar mi carrera como profesional, estoy tan agradecida de tenerlas en mi vida y la mujer que soy ahora se lo debo a ustedes.

**Nicole Alejandra Gallo Muñoz**

## **DEDICATORIA**

A mi Dios Padre Todopoderoso, a mis padres Narcisa Quezada González y Daniel Sánchez Alarcón; y a mis abuelos Germania González Llor, Aida Alarcón Zambrano, Daniel Sánchez Álvarez y a mi ángel del cielo José Quezada Villamar. Por ser parte de toda mi formación como profesional.

**Adriana Daniela Sánchez Quezada**



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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, M.Sc.  
DIRECTORA DE CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Nancy Varela Terreros, M.Sc.  
COORDINADORA DEL ÁREA**

f. \_\_\_\_\_

**PhD. Federico Von Buchwald de Janon  
OPONENTE**

# ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Razones que motivaron el estudio.....	2
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
1.7. Aporte de la investigación.....	6
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBSERVACIONES SOBRE LA ADHERENCIA AGREGADO - ASFALTO.....</b>	<b>7</b>
2.1. Ligante asfáltico.....	7
2.1.1. Generalidades.....	7
2.1.2. Propiedades químicas y físicas del ligante asfáltico.....	8
2.1.3. Control de calidad del ligante asfáltico en Ecuador.....	13
2.1.4. Exigencias establecidas en la norma INEN 2515/ENMIENDA 1 17	
2.2. Agregado mineral.....	18
2.2.1. Generalidades.....	18

2.2.2.	Clasificación las rocas según su origen .....	18
2.2.3.	Propiedades de los agregados minerales para asegurar la calidad de las mezclas asfálticas.....	26
2.2.4.	Clasificación de los agregados según su composición química	28
2.3.	Adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral.....	28
2.3.1	Generalidades.....	28
2.3.2	Tipos de fallo entre los agregados minerales y el ligante asfáltico	28
2.3.3	Mecanismos de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral.....	29
2.3.4	Propiedades que influyen en la adherencia del ligante asfáltico y el agregado mineral .....	31
2.3.5.	Mecanismos que provocan el desprendimiento entre el agregado mineral y el ligante asfáltico.....	33
2.3.6.	Pruebas para evaluar la adherencia entre el agregado y el asfalto	34
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>36</b>
<b>3</b>	<b>Metodología de trabajo.....</b>	<b>36</b>
3.1.	Introducción .....	36
3.2.	Características de los materiales a utilizar en la prueba.....	37
3.2.1.	Características del ligante asfáltico .....	39
3.3.	Procedimiento para realizar la prueba de adherencia con pistón ...	39
3.3.1.	Preparación de las muestras.....	39
3.3.2.	Realización del ensayo .....	47
3.3.3.	Realización del ensayo en condición húmeda (daño en agua)	48

<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>51</b>
<b>4 RESULTADOS. Análisis de resultados .....</b>	<b>51</b>
4.1. Generalidades .....	51
4.2. Resultados de pruebas sin inmersión en agua .....	52
4.3. Resultados de pruebas con inmersión en agua.....	54
4.4. Evaluación de daños en las muestras ensayadas .....	56
4.5. Análisis de resultados de las pruebas .....	58
4.5.1. Condición sin inmersión en agua .....	58
4.5.2. Condición con inmersión en agua .....	59
4.5.3. Comparación de resultados .....	60
4.5.4. Determinación de la resistencia retenida .....	62
4.5.5. Relación entre la resistencia y la absorción .....	63
4.6. Observaciones sobre la efectividad del empleo de las mordazas mejoradas en el procedimiento PAP .....	64
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>68</b>
<b>5 Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>68</b>
5.1. Conclusiones .....	68
5.2. Recomendaciones .....	69
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>75</b>
7.1. ANEXO 1. Tipos de áreas con fallo .....	75
7.2. ANEXO 2. Gráficos obtenidos en el procedimiento PAP de cada una de las muestras .....	76
7.2.1. Resultados para la roca Caliza – sin inmersión .....	76

7.2.2.	Resultados para la roca Argilita – sin inmersión .....	80
7.2.3.	Resultados para la roca Granito – sin inmersión.....	83
7.2.4.	Resultados para la roca Andesita – sin inmersión.....	87
7.2.5.	Resultados para la roca Pizarra – sin inmersión .....	90
7.2.6.	Resultados para la roca caliza – con inmersión .....	94
7.2.7.	Resultados para la roca Argilita – con inmersión .....	95
7.2.8.	Resultados para la roca Granito – con inmersión .....	97
7.2.9.	Resultados para la roca Andesita – con inmersión .....	98
7.2.10.	Resultados para la roca Pizarra – con inmersión.....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Requisitos para la clasificación por viscosidad a 60°C de los cementos asfálticos en el Ecuador .....	17
Tabla 2.2. Clasificación de las rocas.....	21
Tabla 2.3. Clasificación de los agregados minerales .....	26
Tabla 3.1. Lugar de extracción de los diferentes tipos de roca.....	36
Tabla 3.2. Características de la roca - Caliza .....	37
Tabla 3.3. Características de la roca - Argilita .....	37
Tabla 3.4. Características de la roca - Granito .....	37
Tabla 3.5. Características de la roca - Andesita .....	38
Tabla 3.6. Características de la roca - Pizarra.....	38
Tabla 3.7. Resultados de las pruebas según clasificación por viscosidad...	39
Tabla 4.1. Resultados obtenidos en la roca Caliza sin inmersión en agua ..	52
Tabla 4.2. Resultados obtenidos en la roca Argilita sin inmersión en agua .	52
Tabla 4.3. Resultados obtenidos en la roca Granito sin inmersión en agua	53
Tabla 4.4. Resultados obtenidos en la roca Andesita sin inmersión en agua .....	53
Tabla 4.5. Resultados obtenidos en la roca Pizarra sin inmersión en agua.	54
Tabla 4.6. Resultados obtenidos en la roca Caliza con inmersión en agua.	54
Tabla 4.7. Resultados obtenidos en la roca Argilita con inmersión en agua	55
Tabla 4.8. Resultados obtenidos en la roca Granito con inmersión en agua	55
Tabla 4.9. Resultados obtenidos en la roca Andesita con inmersión en agua .....	55

Tabla 4.10. Resultados obtenidos en la roca Pizarra con inmersión en agua .....	55
Tabla 4.11. Evaluación del daño en agua de la roca Caliza .....	56
Tabla 4.12. Evaluación del daño en agua de la roca Argilita .....	57
Tabla 4.13. Evaluación del daño en agua de la roca Granito .....	57
Tabla 4.14. Evaluación del daño en agua de la roca Andesita .....	57
Tabla 4.15. Evaluación del daño en agua de la roca Pizarra .....	57
Tabla 4.16. Resumen de resultados de los promedios obtenidos .....	59
Tabla 4.17. Resistencia retenida luego de la inmersión en agua.....	62
Tabla 4.18. Resultado de la resistencia al despegue retenida y porcentaje de absorción de las rocas .....	63
Tabla 4.19. Resultados en la resistencia al despegue .....	65
Tabla 4.20. Resultados en la energía .....	65
Tabla 4.21. Chequeo de niveles de significación para la resistencia .....	66
Tabla 4.22. Chequeo de niveles de significación para la energía .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estructura del asfalto .....	8
Figura 2.2. Acción de desenvuelta del agua .....	11
Figura 2.3. Caliza.....	19
Figura 2.4. Argilita .....	19
Figura 2.5. Granito .....	20
Figura 2.6. Andesita.....	20
Figura 2.7. Pizarra .....	21
Figura 2.8. Tipos de falla entre el agregado mineral y el ligante asfáltico....	29
Figura 2.9 Tipos de mojados superficiales.....	30
Figura 3.1. Barrenado de piedra .....	40
Figura 3.2. Proceso para cortar los núcleos de las rocas en forma de pastillas.....	40
Figura 3.3. Lijado de rocas .....	41
Figura 3.4. Lavado y cepillado de rocas con agua destilada .....	41
Figura 3.5. Lavado ultrasónico de las pastillas de roca .....	42
Figura 3.6. Secado de las pastillas de roca en ambiente climatizado .....	42
Figura 3.7. Colocación de las pastillas de roca en el horno.....	43
Figura 3.8. Temperatura del horno fijada a 110 °C .....	43
Figura 3.9. Ajuste de las pastillas de roca con el pistón en prensas manuales .....	44
Figura 3.10 Colocación de pastillas de rocas en el horno.....	44
Figura 3.11 Temperatura del horno fijada a 150 °C .....	45

Figura 3.12. Colocación del ligante asfáltico en las aberturas del pistón.....	45
Figura 3.13. Temperatura del horno fijada a 135 °C .....	46
Figura 3.14. Pastillas reposando en un ambiente climatizado .....	46
Figura 3.15. Nuevo sistema de agarre para ensayo de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral.....	47
Figura 3.16. Colocación de las pastillas de roca en el sistema de agarre ...	47
Figura 3.17. Ajuste del sistema de agarre con la prensa hidráulica.....	48
Figura 3.18. Procesamiento de datos .....	48
Figura 3.19. Agarre del sistema pistón - pastillas de roca .....	49
Figura 3.20. Temperatura del baño María con el sistema.....	49
Figura 3.21. Sistema pistón – pastillas de roca.....	49
Figura 3.22 Climatización del sistema pistón - pastillas de roca.....	50
Figura 4.1. Gráfico carga - desplazamiento de una muestra #5 de roca Argilita sin inmersión en agua .....	51
Figura 4.2. Resultados de la resistencia al despegue en el procedimiento PAP.....	60
Figura 4.3. Coeficientes de variación obtenidos en la resistencia al despegue .....	61
Figura 4.4. Resultados de la energía en el procedimiento PAP.....	61
Figura 4.5. Coeficientes de variación obtenidos de la energía del PAP.....	62
Figura 4.6. Influencia de la absorción en agua en la resistencia al despegue retenido.....	63
Figura 4.7. Representación de distribución “t de Student” con dos colas ....	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 7.1. Área con fallo por cohesión (vista desde el sistema de agarre).	75
Anexo 7.2. Área con fallo por cohesión (vista desde el pistón).....	75
Anexo 7.3. Área con fallo por adherencia .....	76
Anexo 7.4. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1 .....	76
Anexo 7.5. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2.....	77
Anexo 7.6. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3.....	77
Anexo 7.7. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4.....	78
Anexo 7.8. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5.....	78
Anexo 7.9. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6.....	79
Anexo 7.10. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7 .....	79
Anexo 7.11. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1 .....	80
Anexo 7.12. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2 .....	80
Anexo 7.13. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3.....	81
Anexo 7.14. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4.....	81
Anexo 7.15. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5.....	82
Anexo 7.16. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6.....	82
Anexo 7.17. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7.....	83
Anexo 7.18. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1.....	83
Anexo 7.19. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2.....	84
Anexo 7.20. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3.....	84
Anexo 7.21. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4.....	85
Anexo 7.22. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5.....	85
Anexo 7.23. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6.....	86
Anexo 7.24. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7.....	86
Anexo 7.25. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1.....	87
Anexo 7.26. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2.....	87
Anexo 7.27. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3.....	88

Anexo 7.28. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4 .....	88
Anexo 7.29. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5 .....	89
Anexo 7.30. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6 .....	89
Anexo 7.31. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7 .....	90
Anexo 7.32. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1 .....	90
Anexo 7.33. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2 .....	91
Anexo 7.34. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3 .....	91
Anexo 7.35. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4 .....	92
Anexo 7.36. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5 .....	92
Anexo 7.37. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6 .....	93
Anexo 7.38. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7 .....	93
Anexo 7.39. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1 .....	94
Anexo 7.40. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2 .....	94
Anexo 7.41. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3 .....	95
Anexo 7.42. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1 .....	95
Anexo 7.43. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2 .....	96
Anexo 7.44. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3 .....	96
Anexo 7.45. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1 .....	97
Anexo 7.46. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2 .....	97
Anexo 7.47. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3 .....	98
Anexo 7.48. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1 .....	98
Anexo 7.49. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2 .....	99
Anexo 7.50. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3 .....	99
Anexo 7.51. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1 .....	100
Anexo 7.52. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2 .....	100
Anexo 7.53. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3 .....	101

## RESUMEN

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. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo es valorar experimentalmente la efectividad de la prueba de adherencia con pistón (PAP) con sistema de agarre mejorado, para la evaluación directa de la resistencia al despegue del ligante asfáltico con muestras de cinco tipos de rocas (Caliza, Argilita, Granito, Andesita y Pizarra). El asfalto empleado para este trabajo de investigación fue el AC-20 obtenido de la refinería de Esmeraldas sin aditivar.

Las pruebas se realizaron bajo ciertos parámetros como fueron: temperatura de 25 °C, velocidad de deformación de 25 mm/min en la prensa a tracción y un espesor de la película asfáltica de 0.5 mm entre el pistón y la roca, realizándose 7 pruebas en condiciones sin inmersión y 3 pruebas con inmersión en agua para cada tipo de roca.

Se concluye que el fallo por cohesión en el método aplicado es representativo en las muestras sin inmersión en agua, mientras que con inmersión el fallo por adherencia se potencia. Las resistencias retenidas mayores corresponden al Granito (97.6%) y la Caliza (83.2%), mientras que las menores a la Pizarra (65.4%) y la Argilita (58.3%). Se comprobó aplicando la distribución “t de Student” que existen diferencias significativas entre emplear las mordazas antiguas y las mejoradas, siendo en general los coeficientes de variación menores con las nuevas mordazas.

**Palabras claves:** resistencia al despegue, energía, adherencia, cohesión, inmersión en agua, t de Student.

## ABSTRACT

The starting point to analyze the operation of the mixture is found in the aggregate mineral – asphalt binder system, especially in the quality and subsequent preservation of adhesion that occurs between them. For this reason, the objective of this work is to experimentally assess the effectiveness of the piston adhesion test (PAP) with improved grip system, for the direct evaluation of the asphalt binder's take-off resistance with samples of five types of rocks ( Limestone, Argilite, Granite, Andesite and Slate). The asphalt employed was the AC-20 obtained from the Esmeraldas' refinery without additive.

The tests were carried out under certain parameters such as: temperature of 25 °C, deformation speed of 25 mm/min in the tensile machine and a thickness of the asphalt film of 0.5 mm between the piston and the rock, performing 7 tests in conditions without immersion and 3 tests with immersion in water for each type of rock.

It is concluded that the cohesion failure in the applied method is representative in the samples without immersion in water, while the immersion failure is enhanced by immersion. The highest retained resistances correspond to Granite (97.6%) and Limestone (83.2%), while minor ones to Slate (65.4%) and Argilite (58.3%). It was proved by applying the "Student's t-test" distribution that there are significant differences between using the old and improved jaws, the coefficients of variation being lower with the new jaws.

**Keywords:** *takeoff resistance, energy, adhesion, cohesion, immersion in water, Student's t-test.*

# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

En la actualidad, la mayoría de las obras viales no han cumplido con su tiempo de vida útil y han tenido que ser intervenidas debido a diferentes factores que inciden en el deterioro del pavimento, siendo uno muy importante la adherencia entre el ligante asfáltico y las muestras de roca. Hoy en día no se aplica en el país un método para evaluar de manera directa la adherencia entre estos dos componentes, sino en la mezcla ya producida por lo que el presente trabajo de investigación se basa en implementar un método que permita analizar de manera eficaz, eficiente y simple esta propiedad.

Estudios realizados anteriormente en el Laboratorio de Carreteras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) relacionados con la evaluación de la adherencia en el sistema asfalto – agregado mediante el empleo de la prueba de adhesión con pistón (PAP) han tenido la problemática que el sistema de agarre con el cilindro de roca no era muy eficaz, por tal razón se ha dado continuidad a las investigaciones para elaborar una alternativa con un sistema mejorado de agarre de las pastillas de roca, para que sea más efectivo y permita disminuir los errores en las mediciones. Con ello, se tendrá conocimiento de cómo se ve afectado la interacción entre las muestras de roca y el ligante asfáltico con y sin inmersión en agua que sin dudas inciden en el comportamiento de la mezcla asfáltica en las vías del país.

### **1.2. Razones que motivaron el estudio**

Las obras viales son fundamentales para el patrimonio del país debido a su constante desarrollo y crecimiento. Por lo tanto, se debe realizar un diseño de este considerando los parámetros establecidos por las normas de Asphalt Institute y la MTOP; y a su vez garantizar un proceso constructivo de calidad. Sin embargo, a pesar de cumplir con todos estos lineamientos, al poco

tiempo de ser construidas las vías se evidencia una inadecuada resistencia a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua.

Dado la importancia de la adherencia aún en condiciones húmedas, el Laboratorio de Carreteras de la UCSG decidió perfeccionar estudios ya realizados con la finalidad de mejorar la efectividad de una prueba de adherencia con pistón para evaluar la resistencia al despegue entre el asfalto y la roca que se va a triturar.

### **1.3. Justificación del tema**

Varios trabajos de investigación efectuados para evaluar la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral han utilizado métodos como: ensayo de inmersión-comprensión, ensayo de peladura en agua hirviendo y la evaluación con prueba de tracción indirecta. Entre ellos se encuentran los trabajos de titulación desarrollados en años anteriores en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG, los cuales son: " Evaluación de la adherencia en el sistema asfalto – agregado mineral mediante una prueba de corte directo", "Evaluación de la adherencia en el sistema asfalto – agregado mineral mediante pruebas de tracción" y " Empleo de la prueba de adherencia con pistón en muestras de rocas procedentes de seis canteras". Sin embargo, cada día se busca perfeccionar los diferentes métodos para observar el comportamiento entre el agregado mineral y el ligante asfáltico al entrar en contacto con el agua.

Esto es de suma importancia ya que en nuestro país es evidente observar en épocas de invierno el deterioro de las carpetas asfálticas por el desprendimiento del ligante al poco tiempo de su construcción o rehabilitación.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Valorar experimentalmente la efectividad de la prueba de adherencia con pistón (PAP) con sistema de agarre mejorado, para la evaluación directa de la resistencia al despegue del ligante asfáltico con muestras de cinco tipos de rocas.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Estudiar las características y propiedades de los cinco tipos de roca y del cemento asfáltico a utilizar.
- Preparar las muestras mediante el barrenado y corte de las rocas previamente traídas de las canteras.
- Aplicar el procedimiento de ensayo PAP a muestras sin y con inmersión en agua para determinar la resistencia al despegue, el área bajo la curva carga-desplazamiento y el tipo de daño por inspección visual.
- Procesar estadísticamente los resultados obtenidos para la valoración de la efectividad de este ensayo.

## **1.5. Alcance**

El presente trabajo de investigación consiste en comprobar la efectividad de la prueba con pistón empleando un nuevo equipo de laboratorio que posee un sistema de agarre mejorado. De esta manera se podrá evaluar la resistencia al despegue del ligante asfalto con 5 muestras de materiales pétreos procedentes de 3 tipos de rocas (Ígnea, Sedimentaria y metamórfica) procurando minimizar errores en las mediciones y determinar las que pudieran ofrecer un mejor comportamiento.

## 1.6. Metodología

El presente trabajo de investigación “ Efectividad de la prueba con pistón para la evaluación de la adherencia asfalto – agregado” corresponde a un proyecto de desarrollo con un enfoque cuantitativo, cualitativo y de tipo experimental que está encaminado en identificar con seguridad comportamientos diferentes en la adhesión entre la muestra de roca y el ligante asfáltico, a través del procedimiento PAP con sistema de agarre mejorado.

Este trabajo de investigación consta de 3 etapas, las cual se muestran a continuación:

- Marco teórico
- Desarrollo experimental
- Análisis de resultados

Cada etapa se divide y subdivide en temas; y procedimientos, los cuales son:

- Marco teórico:
  - Estudios bibliográficos
- Desarrollo experimental:
  - Caracterización de los materiales a utilizar en la prueba.
    - Características de los agregados.
    - Características del ligante asfáltico.
  - Barrenado de núcleos de diferentes tipos de rocas.
  - Realizar cortes a los núcleos.
  - Elaboración de pastillas de roca de 2.5 cm a 3.0 cm de espesor.
  - Preparación del sistema correspondiente entre las pastillas de roca, pistón y ligante asfáltico.
  - Aplicación del procedimiento PAP a los diferentes agregados, en condiciones sin y con inmersión en agua.
- Análisis de resultados:
  - Comparación de los resultados obtenidos.

- Conclusiones y recomendaciones.

### **1.7. Aporte de la investigación**

El trabajo de investigación tendrá como aporte verificar la factibilidad del procedimiento PAP con el sistema de agarre mejorado de las pastillas de roca. Este nuevo sistema de agarre se lo utilizará para evaluar la resistencia al despegue del ligante asfáltico con la muestra de roca y de esta manera obtener resultados que finalmente determinen la confiabilidad de este procedimiento de prueba.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. OBSERVACIONES SOBRE LA ADHERENCIA AGREGADO - ASFALTO**

#### **2.1. Ligante asfáltico**

##### **2.1.1. Generalidades**

El asfalto posee un sin número de propiedades en la elaboración de construcción de vías terrestres, siendo uno de las principales características la impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad aún en presencia de los diferentes agentes externos que puedan deteriorarlo. Uno de los usos más frecuentes e importantes es en la construcción de pavimentos flexibles para carreteras.

El asfalto es un material aglomerante de color que varía de pardo oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, todo el asfalto empleado en el Ecuador proviene de la de refinería de Esmeraldas.

El asfalto derivado del petróleo es llamado a veces *asfalto residual* (residuo de la destilación del petróleo) para distinguirlo de los asfaltos naturales. Las implicaciones poco deseables que normalmente se atribuye a la palabra *residual* han conducido a la industria del asfalto a preferir el empleo de la expresión “de destilación directa” que, sin embargo, es actualmente inexacta, ya que raramente se producen asfaltos del petróleo por destilación simple sin algún tratamiento posterior. (Arenas Lozano, 2006, p. 87)

El asfalto es un material visco-elástico ya que tiene componentes viscosas (es decir, si se aplica una carga el material llega a un nivel de deformación dado, pero cuando la carga cesa esta no experimentará recuperación) y elásticas (se deforma, pero tiene la capacidad de recuperarse) que está en función de las condiciones de carga, la temperatura y del envejecimiento del asfalto. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente ligante para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. (Asphalt Institute, 1992, p. 11)

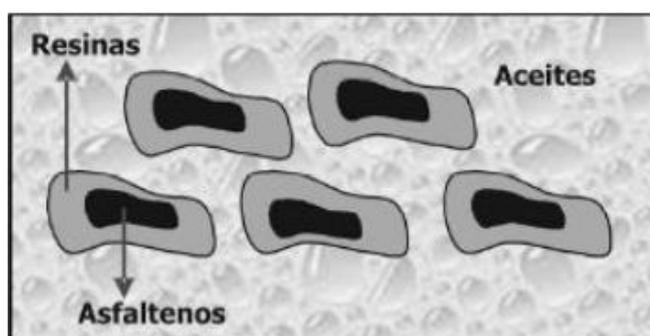
## **2.1.2. Propiedades químicas y físicas del ligante asfáltico**

### **2.1.2.1. Propiedades químicas**

El asfalto tiene propiedades químicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras, básicamente está constituido por cadenas de moléculas compuestas principalmente por carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos. Siendo estos últimos subdivididos en aceites y resinas. (Asphalt Institute, 1992, pp. 16-17)

- Los asfaltenos, son compuestos de alto peso molecular, principalmente de naturaleza aromática con pocas ramificaciones. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.
- Maltenos, están constituidos por resinas y aceites. Los maltenos están ligados a las propiedades elásticas del asfalto. En general, la presencia de parafina influye negativamente en las propiedades reológicas del asfalto. (Albornoz, 2014, sec. Parte II)

Un esquema representativo de esta composición puede apreciarse en la Figura 2.1.



**Figura 2.1. Estructura del asfalto**

Adaptado de " Firms y pavimentos de carreteras y otras infraestructuras", por (Recuenco Aguado, 2014).

Obtenido de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092007000300001](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300001)

Las características principales de estos tres elementos son las siguientes:

- Los aceites son poco viscosos, no adherentes, estables y lubricantes. Determinan la deformación del asfalto.
- Las resinas son semisólidas y muy adherentes.
- Los asfaltenos son los más adherentes, pero no intervienen en la adherencia con otros cuerpos al estar envueltos por las resinas. De ellos depende la rigidez del asfalto y sus propiedades mecánicas.

Las propiedades del asfalto dependen de la proporción relativa en que estos tres elementos intervienen en su composición. Así, conforme aumenta la proporción de aceites lo hace también la susceptibilidad a las variaciones de temperatura, la facilidad de deformación, la resistencia al envejecimiento y la dificultad para soportar deformaciones plásticas. Proporciones de asfaltenos por encima del 30% pueden dar lugar a un exceso de rigidez y a la aparición de fragilidad a bajas temperaturas. (Recuenco Aguado, 2014, p. 55)

#### **2.1.2.2. *Propiedades físicas***

Asphalt Institute en el año 1992 mencionó que: “las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de obras viales son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento” (Linares Flores et al., 2010).

#### **Durabilidad**

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la

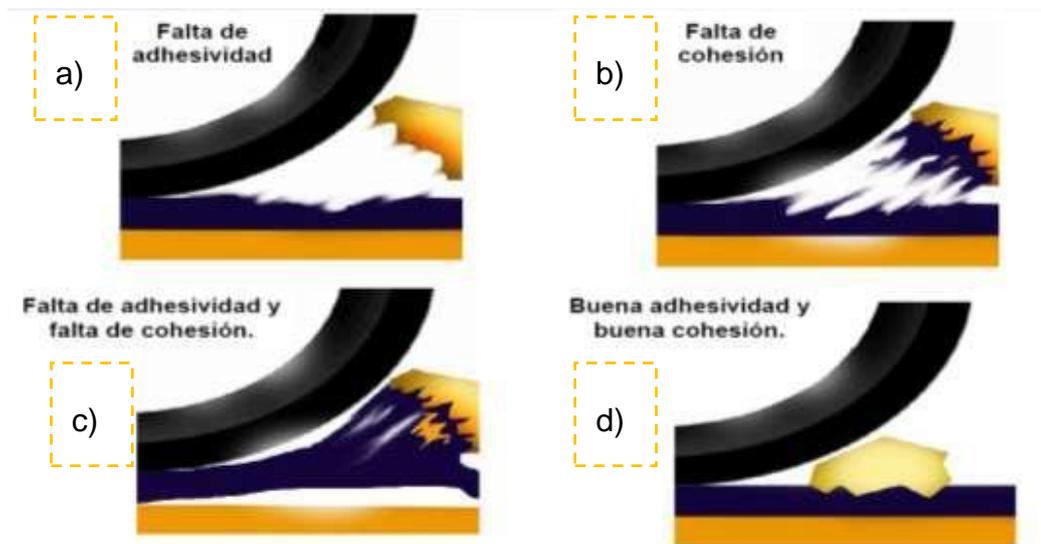
mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto. Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar el comportamiento del asfalto frente al envejecimiento en horno. Estas son la Prueba de Película delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO).

### **Adhesión y Cohesión**

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ligante bituminoso debe ser capaz de envolver a los áridos, dar cohesión a la mezcla y resistir la acción de desenvuelta del agua, tal efecto produce una separación del ligante con el árido y disminuye así la cohesión de la mezcla.

En la Figura 2.2 se puede observar los mecanismos de degradación por daño en agua, la Figura 2.2a, representa la falta de adhesividad debido al rompimiento de la unión entre el agregado y el ligante asfáltico ocasionando el desprendimiento de los agregados pétreos, la Figura 2.2b, muestra la falta de cohesión indicando que la unión entre el agregado y el asfalto es mucho más resistente a los agentes externos que las fuerzas cohesivas internas del asfalto, lugar donde se origina el rompimiento. La Figura 2.2c, es una combinación entre los dos mecanismos anteriormente explicados, es decir, el rompimiento de cohesión interna del asfalto y el desprendimiento de los agregados pétreos del ligante asfáltico y, por último, la Figura 2.2d, muestra la buena adhesividad y cohesión, donde el agregado no se despega ni el asfalto se rompe. (Cely Leal, 2014)



**Figura 2.2. Acción de desvuelta del agua**

Adaptado de “ Diseño de mezcla asfáltica semicaliente drenante en el salvador”, por (Linares Flores et al., 2010).

Obtenido de: <https://docplayer.es/52380023-Universidad-de-el-salvador-facultad-multidisciplinaria-de-occidente-departamento-de-ingenieria-y-arquitectura.html>

### **Susceptibilidad a la temperatura**

Los asfaltos se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura o tasa de variación de viscosidad con la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera.

Debe entenderse que es de vital importancia conocer las características de viscosidad de un asfalto en todo el rango de temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las

partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado. (Linares Flores et al., 2010, pp. 18-20)

### **Endurecimiento y envejecimiento**

Los asfaltos tienden a endurecerse aumentando sus características de consistencia en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

En el proceso de elaboración de la mezcla, el asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras se encuentra en el tambor mezclador. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. El margen de viscosidad del material original (antes de la Prueba de Película Delgada en Horno rotatorio – RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica. (Asphalt Institute, 1992, p. 20)

El paso del tiempo produce el envejecimiento del asfalto. Comienza por un aumento de la viscosidad y la dureza. Posteriormente, disminuye la cohesión y se vuelve frágil y muy sensible a los esfuerzos

bruscamente aplicados, produciéndose la rotura a partir de las fisuras superficiales. Entre sus causas se destacan las siguientes:

- La evaporación de componentes volátiles.
- La fotooxidación, que elimina parte del hidrógeno y del carbono en forma de agua y dióxido de carbono.
- La polimerización y condensación del sistema coloidal.
- Las altas temperaturas, tales como las que pueden alcanzarse con la carretera en servicio y las muy elevadas que se dan en la fabricación y extendido de las mezclas bituminosas en caliente, a las que es muy sensible.
- El espesor de la película de ligante, con el que está en razón inversa.(Recuenco Aguado, 2014, p. 65)

### ***2.1.3. Control de calidad del ligante asfáltico en Ecuador***

Para saber si el asfalto cumple con los requisitos de calidad para su empleo en la fabricación de mezclas en el Ecuador deberá cumplir las exigencias INEN 2515/ ENMIENDA 1 DE 2014 que resume las siguientes pruebas:

#### **Sobre el asfalto original:**

- Viscosidad absoluta 60°C
- Viscosidad cinemática 135°C
- Punto de inflamación
- Solubilidad en tricloroetileno
- Gravedad específica
- Índice de penetración

### **Sobre el residuo del ensayo de película delgada en horno rotatorio:**

- Viscosidad 60°C
- Cambio de masa
- Ductilidad

A continuación, se presenta un resumen del significado de cada uno de los parámetros que se obtienen con los ensayos:

#### **Viscosidad**

“La viscosidad es una característica fundamental del asfalto, ya que determina el comportamiento del material a una temperatura dada y en un rango de temperatura”(R. N. Hunter et al., 2015). La viscosidad se la realiza a 2 temperaturas: 60°C y 135°C, la diferencia entre ellas es que la temperatura de 60°C es usada para clasificar el cemento asfáltico representando la viscosidad del AC a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio, mientras que la temperatura de 135°C corresponde a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. (Asphalt Institute, 1992)

#### **Punto de inflamación**

Es la temperatura a la cual inflama el CA y se mide en un equipo denominado copa abierta de Cleveland. Entre mayor sea el punto de inflamación, menor es la probabilidad de experimentar problemas de combustión e inflamación durante los procesos de almacenamiento del CA y de fabricación de las mezclas en las plantas asfálticas.

#### **Solubilidad en tricloroetileno**

Es utilizada como ensayo para evaluar el grado de pureza del CA. Lo que se busca con el ensayo es medir la cantidad de material que no es soluble con tricloroetileno o tricloroetano como por ejemplo el mineral, materia orgánica, desechos plásticos, polvo entre otros.(Lizcano & Quintana, 2015, pp. 14-15)

### Gravedad específica/Peso específico

Es un ensayo utilizado principalmente para ayudar a determinar la composición volumétrica de mezclas en caliente.

El peso específico se define como la relación entre la masa del material a una temperatura dada y la masa de igual volumen de agua a la misma temperatura. El peso específico cambia cuando el asfalto se expande por calentamiento. (Arenas Lozano, 2006, p. 122)

### Índice de Penetración

Para la determinación de este índice se necesita la realización de las pruebas de penetración y punto de ablandamiento que se resumen a continuación:

- **Penetración:** Es un ensayo empírico usado para medir la consistencia del cemento asfáltico a temperaturas medias de servicio. Usualmente se mide a 25°C, considerada como la temperatura media en servicio de la mezcla asfáltica, la penetración se mide como la distancia en décimas de milímetro que la aguja penetra el cemento asfáltico durante un tiempo de 5 segundos.
- **Punto de ablandamiento:** Se define como la temperatura a la que el asfalto alcanza una fluidez determinada. Se mide mediante el ensayo denominado de anillo y bola, esta temperatura es muchas veces utilizada como indicador empírico de máxima temperatura de operación de las mezclas en servicio. Esta temperatura corresponde a un punto de equiviscosidad ( $p \approx 800$ ) y tiene, por si sola, un valor relativo o comparativo entre los distintos asfaltos. Los utilizados en carreteras suelen tener una temperatura de anillo y bola comprendida entre 40°C y 75°C.

Este índice se calcula a partir de los valores de la penetración a 25°C y del punto de ablandamiento (anillo y bola) en el cual se puede evaluar el grado de susceptibilidad térmica del asfalto, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de penetración} = \frac{1952 - 500 \log pen - 20 SP}{50 \log pen - SP - 120}$$

pen= penetración a 25°C, 100 g, 5s

SP= punto de ablandamiento (°C) ASTM D36

Para valores de índice de penetración inferiores a -1, el asfalto posee alta susceptibilidad térmica y muy bajo o ningún grado de deformación elástica, en cambio para valores de índice de penetración superiores a +1, la susceptibilidad térmica es baja pero su grado de deformación elástica es alta, es decir el grado de desempeño moderado para un IP debe estar en -1.0 a 1.0. (Recuenco Aguado, 2014, pp. 58-59; Lizcano & Quintana, 2015, p. 6)

### **Cambio de masa**

Sirve para evaluar el comportamiento que tiene el asfalto frente al endurecimiento o envejecimiento durante el proceso del mezclado.

### **Ductilidad**

Se entiende por tal la factibilidad de alargamiento sin rotura. Es importante porque las variaciones de temperatura y el tráfico producen deformaciones y cambios dimensionales que el material debe soportar sin romperse. Sin embargo, tampoco debe ser excesiva por riesgo de formación de ondulaciones. Se mide por el alargamiento en rotura de una probeta de asfalto sometida a una temperatura y velocidad de deformación normalizadas. (Recuenco Aguado, 2014, p. 62)

### 2.1.4. Exigencias establecidas en la norma INEN 2515/ENMIENDA 1

En nuestro país, cuando se refiere a carreteras las especificaciones y normativas que se usan son establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Publicas según las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F 2002, mismo que se basa en las normativas ecuatorianas INEN, o de no existir para algunas pruebas americanas la AASTHO y ASTM.

Como ya se ha mencionado en nuestro país las exigencias para los asfaltos de carreteras responden a la norma INEN 2515/ ENMIENDA 1 que se basa en las pruebas de clasificación por viscosidad. En la Tabla 2.1 se muestran las exigencias que debe de cumplir el control de calidad del ligante asfáltico.

**Tabla 2.1. Requisitos para la clasificación por viscosidad a 60°C de los cementos asfálticos en el Ecuador**

Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad										Norma de ensayo
		AC-6		AC-10		AC-20		AC-30		AC-42		
		Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa s	60 ± 20		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		420 ± 60		ASTMD 2171
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTMD 2170
Punto de Inflamación	°C	177	--	219	--	232	--	232	--	232	--	NTE INEN 808
w, Solubilidad en tricloroetileno, <sup>c</sup>	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN 915
Gravedad específica 25 °C/25 °C		Informe		Informe		Informe		Informe		Informe		ASTMD70
Índice de Penetración <sup>a</sup>		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		ASTM D5/D5M
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio:												
Viscosidad, 60 °C	Pa s	--	300	--	500	--	800	--	1 200	--	2 000	ASTMD 2171
Cambio de masa,	% w/w	--	1,5	--	1,0	--	1,0	--	1,0	--	1,0	ASTMD 2872
Ductilidad <sup>a</sup> , 25 °C [77 °F], 5 cm/min	cm	100	--	75	--	50	--	40	--	25	--	NTE INEN 916
<sup>a</sup> Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5 cm/min. <sup>b</sup> Índice de penetración = $\frac{1952-500 \log pen-20 SP}{50 \log pen-SP-120}$ donde: pen = penetración a 25 °C, 100 g, 5 s SP = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36												
<sup>c</sup> Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.												

(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014)

## **2.2. Agregado mineral**

### **2.2.1. Generalidades**

Los agregados minerales son fragmentos de rocas granulares que se emplean en la elaboración de mezclas asfálticas. Estos son obtenidos de la explotación de canteras, bancos o minas. Sin embargo, para usarse en la construcción de pavimentos es indispensable que cumplan con la capacidad de adherirse al ligante asfáltico. Y, sus características propias como el contenido de humedad, forma y textura son aquellas que le proporcionan dicha capacidad.

En las mezclas asfálticas los agregados minerales representan más del 90% en peso y el restante corresponde al ligante asfáltico. "Estos son los encargados de soportar las cargas impuestas por el automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes"(Rondón & Reyes, 2015). En sí, es importante la elección los agregados para garantizar el diseño y construcción de un pavimento de calidad evitando daños por humedad en las mezclas asfálticas, ahuellamiento o deterioro por fatiga.

### **2.2.2. Clasificación las rocas según su origen**

Las rocas naturales se clasifican en tres tipos: sedimentarias, ígneas y metamórficas como se muestran desde la figura 2.3 hasta la 2.7 y en la Tabla 2.2.

- Sedimentarias



**Figura 2.3. Caliza**



**Figura 2.4. Argilita**

- Ígneas



**Figura 2.5. Granito**



**Figura 2.6. Andesita**

Adaptado de "Obras de arte", por (Banco de Imágenes Geológicas, 2010)

Obtenido de: [https://www.flickr.com/photos/banco\\_imagenes\\_geologicas/5000723638/](https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/5000723638/)

- Metamórficas



**Figura 2.7. Pizarra**

**Tabla 2.2. Clasificación de las rocas**

<b>Clasificación de las rocas</b>		
<b>Clase</b>	<b>Tipo</b>	<b>Rocas</b>
<b>Sedimentarias</b>	Calcáreas	Caliza, dolomita
	Silíceas	Arcilla esquistosa, arenisca, horsteno, conglomerado, breccia
<b>Ígneas</b>	Intrusivas (de grano grueso)	Granito, sienita, diorita, gabbro, periodotita, piroxenita, hornablendita
	Extrusivas (de grano fino)	Obsidiana, pómez, tufa, riolita, traquita, andesita, basalto, diabasa
<b>Metamórficas</b>	Foliadas	Gneis, esquistos, anfíbolita, pizarra
	No foliadas	Cuarcita, mármol, serpentina

*Nota:* Las rocas se clasifican en tres tipos sedimentarias, metamórficas e ígneas. Y, Cada una de ellas se subdivide de acuerdo a su origen, figura 2.21. De "Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente", por (Asphalt Institute MS-22, 1982)

- **Rocas sedimentarias**

Las rocas sedimentarias son aquellas que se forman por la acumulación de materia inorgánica gracias a un proceso denominado diagénesis. Este proceso comprende todos los cambios físicos, químicos y biológicos por los que atraviesan diferentes partículas que son transportadas por aire, agua o hielo para luego sedimentarse y consolidarse formando estratos. Se clasifican en calcáreas y silíceas.

### **Calcáreas**

Son rocas carbonatadas que se originan por la descomposición de la estructura ósea de los animales marinos tales como conchas, almejas y corales. Este proceso ocurre en aguas cálidas y poco profundas en ausencia de sílice (Jones & James, 2016).

### **Silíceas**

Son rocas que presentan un alto contenido de sílice y se originan gracias a procesos químicos y biológicos que ocurren en los depósitos de agua dulce y en cuencas oceánicas profundas. Cuando los organismos mueren, sus restos se degradan en el mar liberando sílice y posteriormente se conglomeran formando rocas (Whittaker, 1985).

La textura de las rocas sedimentarias depende del tamaño y morfología del grano. El tamaño del grano se subdivide en arcillas, limos, arena, gránulos, guijarros, adoquines y rocas. Estas pueden ser esféricas o redondas, en forma de v o presentar fracturas de forma concoidal (Tucker, 2001).

- **Rocas ígneas**

Las rocas ígneas son aquellas que se originan producto del enfriamiento y solidificación del magma dentro de la corteza terrestre. Son rocas ácidas ya que "en su mayoría están compuestas por minerales con alto contenido de silicatos"(Tarbuck & Lutgens, 2005, p. 92). Estas se dividen en intrusivas (plutónicas) y extrusivas (volcánicas).

### **Intrusivas**

Son rocas que se originan debajo de la superficie terrestre a altas temperaturas. Su formación inicia cuando el magma se introduce en la parte inferior de la corteza y se solidifica de forma gradual formando rocas de grano grueso. Estas a su vez se enfrían paulatinamente a miles de metros de profundidad y se cristalizan alcanzando grandes tamaños. Por otra parte, la presión que ejercen las masas de rocas superpuestas impide que se formen orificios y por ende la introducción de gases. Gracias ello estas rocas son densas, compactas y poco porosas.(Schumann, 1993)

### **Extrusivas**

Son rocas que se originan en el exterior de la superficie terrestre a bajas temperaturas. Se forman cuando el magma fundido se libera hacia la corteza terrestre debido a las fuerzas volcánicas. Se enfrían y solidifican rápidamente formando rocas de granos finos. Sus cristales son muy pequeños y en ocasiones se identifican microscópicamente. No obstante, poseen pequeñas cavidades que le permiten la introducción de gases y por lo tanto presentan porosidad.(Schumann, 1993)

La textura de las rocas ígneas depende del tamaño de los cristales, la cantidad de sílice, la velocidad de enfriamiento del magma y la cantidad de gases disueltos en el mismo. Estas pueden ser afanítica (de grano fino), fanerítica (de grano grueso), porfídica (producto de la solidificación del magma en cientos de años), piroclástica (formadas durante las erupciones volcánicas violentas), pegmatítica (formadas por cuarzo, feldespato y moscovita) y vítrea (originada por el enfriamiento rápido de las rocas fundidas).(Tarbuck & Lutgens, 2005)

- **Rocas metamórficas**

Son rocas que se derivan a partir de rocas preexistentes (ígneas, sedimentarias o metamórficas) debido a fenómenos geológicos. El movimiento de las placas tectónicas produce metamorfismo puesto que influye en la deformación y cambios en la presión- temperatura-espacio de

las rocas. Estos factores influyen en la estructura de la roca madre y cambia su composición física y química. Así mismo, “La estructura de las rocas metamórficas tienden a heredarse del material precursor y resulta de la combinación de deformación y recristalización. Estas recristalizaciones pueden ser constantes y los nuevos minerales sustituyen a los de la roca preexistente”(Bucher & Grapes, 2011). Se clasifican en foliadas y no foliadas.

### **Foliadas**

Son rocas que presentan una alineación plana de sus minerales, es decir, “tiene una orientación casi paralela de micas perpendicular a las fuerzas compresivas debido a la presión y recristalización”(Carenas et al., 2014).

### **No foliadas**

Son rocas que no presentan una alineación en la composición de sus minerales. “En su lugar, estas rocas consisten en un mosaico de granos minerales con textura granoblástica”(Carenas et al., 2014).

En cuanto a la textura de las rocas metamórficas, “se presentan alineamientos de sus minerales a lo largo superficies planas”(Cornelis & Cornelius S., 2003). Sin embargo, “se pueden clasificar en granoblástica (minerales en forma de mosaico), lepidoblástica (minerales laminares), nematoblástica (minerales homogéneos) y porfidoblástica (cristales de mayor tamaño)”(Carenas et al., 2014).

## **Tipos de rocas empleadas en el estudio**

### **Caliza**

La caliza es una roca sedimentaria blanquinosa formada en su mayoría por carbonato de calcio y se origina por procesos inorgánicos y bioquímicos a pocas profundidades. Esta roca se forma por la descomposición de esqueletos de organismos marítimos como corales y conchas, por fragmentos de caparzones (coquina), por las altas temperaturas que

incrementan el índice de carbonato de calcio y por la precipitación de carbonato de calcio.(Tarbuck & Lutgens, 2005)

### **Argilita**

La Argilita es una roca sedimentaria densa y dura proveniente de rocas arcillosas. Su textura es de grano fino por la presencia de limos y su tonalidad puede ser verde o grisácea. "Esta roca puede contener feldespato potásico, sílice, mica e incluso cuarzo"(Collo, 2003).

### **Granito**

"Es una roca ígnea grisácea formada por cuarzo y feldespato alcalino. En ciertas ocasiones puede presentar moscovita y minerales ferromagnesianos"(Carenas et al., 2014). Por ende, su tonalidad tiende a variar de marrón oscuro, negro o rosa de acuerdo al contenido de sus minerales. Son rocas de grano grueso, compactas y resistentes a esfuerzos de compresión por consiguiente al triturarse pueden emplearse como material de construcción de pavimentos (Mineral Education Coalition, 2008).

### **Andesita**

"Es una roca ígnea compuesta por plagioclasa calco-sódica siendo anfíbol o biotita el componente ferromagnésiano más común"(Carenas et al., 2014). Así mismo, contiene piroxeno y rara vez cuarzo. Su textura es porfídica y sus minerales son poco visibles debido a su tamaño. Por lo general las rocas no contienen feldespato (Cull, 2009).

### **Pizarra**

La pizarra es una roca metamórfica de granos muy finos que se deriva de materiales arcillosos. Son aplanadas, lisas, brillosas, con textura lepidoblástica, y con tonalidades oscuras debido a la presencia de grafito. No obstante, existe una variabilidad de colores mates debido a la presencia de hierro o clorita en la composición de sus minerales, es decir puede variar a marrón, rojo o verde.(Carenas et al., 2014)

### 2.2.3. Propiedades de los agregados minerales para asegurar la calidad de las mezclas asfálticas

En general, para asegurar la calidad de los agregados en la elaboración de mezclas asfálticas se resumen las pruebas en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3. Clasificación de los agregados minerales**

Tipo de prueba	Agregados minerales	
	Gruesos	Finos
<b>Forma</b>	Porcentaje de caras fracturadas: >80%-2	
	Cantidad de piedras alargadas y planas: <10%	Angularidad: >45%
<b>Dureza</b>	Porcentaje de desgaste del ensayo de Abrasión Los Ángeles: <40%	Sulfatos: <12%
	Sulfatos: <12%	
<b>Limpieza</b>	Cantidad de deletéreos: <1%	Cantidad de deletéreos: <1%
		Equivalente de arena: >50%
		Índice de plasticidad: <4%
<b>Adherencia</b>	La peladura de la mezcla en agua hirviendo debe ser mayor a 95%	
<b>Resistencia la tracción retenida</b>	>80%	

*Nota:* Resumen del rango que deben cumplir si los agregados minerales con las pruebas que definen su calidad. De " Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente", por (Asphalt Institute MS-22, 1982)(

<https://es.scribd.com/document/66112307/MS-22-Principios-de-Construccion-de-Pavimentos-de-Mezcla-Asfalticas>)

Los agregados minerales gruesos (retenidos en el tamiz No.4) y finos (pasantes del tamiz No.4) deben ser fragmentos limpios, resistentes, libres de materia orgánica y de partículas planas, alargadas o arcillosas e incluso deben permanecer secos.

- **Propiedad de forma:** Los agregados minerales gruesos deben presentar un porcentaje mayor al 80% de caras fracturadas y redondeadas, mientras que el porcentaje restante (<10%) pueden ser partículas planas y alargadas. Por otra parte, los agregados finos deben tener una angularidad mayor a 45 grados. "Esto permitiría tener un esqueleto

granular más compacto, menos deformable bajo cargas y con mayor rigidez entre contactos”(Rondón & Reyes, 2015).

- **Propiedad de dureza:** “Los agregados deben ser capaces de resistir a la abrasión y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla asfáltica y durante su vida útil”(Asphalt Institute MS-22, 1982). Para ello, los agregados gruesos no deben tener un desgaste mayor al 40% como resultado del ensayo de abrasión de los ángeles de acuerdo a la norma INEN 860. Y, tanto los agregados gruesos como finos no deben experimentar desintegración ni pérdida total mayor del 12%, cuando se lo someta a 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio.(Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002, p. 684)
- **Propiedad de limpieza:** Tanto los agregados gruesos como finos deben tener deletéreos menores al 1%. Adicionalmente, para los agregados finos se debe tener un equivalente de arena más del 50% y un índice plasticidad menor al 4%. “Entre los deletéreos se encuentran arcillas, esquistos, limos, óxido de hierro, micas, yeso, sales solubles en agua y demás partículas que afectan en la adherencia con el ligante asfáltico”(Brown et al., 2009).
- **Propiedad de adherencia:** La peladura de mezcla en agua hirviendo debe ser mayor al 95% según la Norma AASHTO T 182. Indica que tan susceptible es el agregado mineral bajo la acción del agua cuando se adhiere al ligante asfáltico.
- **Propiedad de resistencia a la tracción retenida (TSR):** El porcentaje óptimo de la resistencia a tracción retenida de los agregados gruesos y finos debe ser mayor al 80%.

#### **2.2.4. Clasificación de los agregados según su composición química**

##### **Agregados básicos**

Son aquellos que tienen buena adherencia con el ligante asfáltico debido a su bajo contenido de sílice. Son hidrofóbicos y por ende al usarlos se disminuye el riesgo al desprendimiento de la mezcla asfáltica en la superficie del pavimento. Entre ellos se encuentra la caliza.

##### **Agregados ácidos**

Son aquellos que no presentan una buena adherencia con la película del ligante asfalto debido a las altas concentraciones de sílice. Son hidrofílicos puesto que tienen gran afinidad para atraer el agua y por consiguiente conduce al desprendimiento de la mezcla asfáltica en la superficie del pavimento. Entre ellos se encuentra la arenisca. (Brown et al., 2009)

### **2.3. Adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral**

#### **2.3.1 Generalidades**

La adherencia es uno de los parámetros principales que garantiza la calidad de la mezcla asfáltica, siendo su punto de partida el comportamiento del sistema agregado mineral – ligante asfáltico. Tanto los agregados como el ligante asfáltico deben cumplir de manera independiente con los requisitos que exigen las normas de construcción de pavimentos. Sin embargo, la evaluación usual de la adherencia en Ecuador se circunscribe a la mezcla ya diseñada, después que las rocas provenientes de alguna cantera ya han sido trituradas y convertidas en agregados minerales

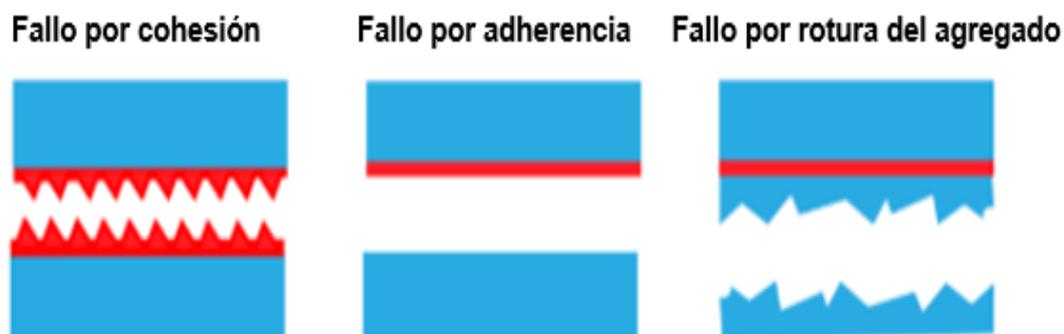
#### **2.3.2 Tipos de fallo entre los agregados minerales y el ligante asfáltico**

Existen tres tipos de deterioros como se muestran en la Figura 2.8 por los cuales la humedad afecta a la mezcla asfáltica. Estos pueden resumirse en:

- **Fallo por cohesión:** Se da cuando el ligante asfáltico se desprende parcialmente del agregado mineral, debido a su baja viscosidad.
- **Fallo por adherencia:** “Se da cuando la película del ligante asfáltico se desprende del agregado dejando un pavimento desgastado o

desintegrado. Por lo general se da cuando se emplean agregados susceptibles al agua”(Asphalt Institute MS-22, 1982, p. 62).

- **Fallo por rotura del agregado:** Se produce por la degradación propia del agregado mineral por efecto del agua.



**Figura 2.8.** Tipos de falla entre el agregado mineral y el ligante asfáltico

Adaptado de “ Modos de fallo en adhesivos”, por (Converzar, 2019)

Obtenido de: <https://converzar.com/modos-de-fallo-en-adhesivos/>

### ***2.3.3 Mecanismos de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral***

Para que exista adherencia se requiere la unión de un material sólido y uno viscoso. No obstante, factores como la rugosidad, angularidad, porosidad, pH e incluso el contenido de humedad de los agregados y la calidad del ligante asfáltico a utilizar no son los únicos que influyen en este parámetro. Existen varios fenómenos físicos y químicos que sustentan la razón por la cual los agregados tienden a adherirse al ligante asfáltico.

#### **Fenómenos físicos**

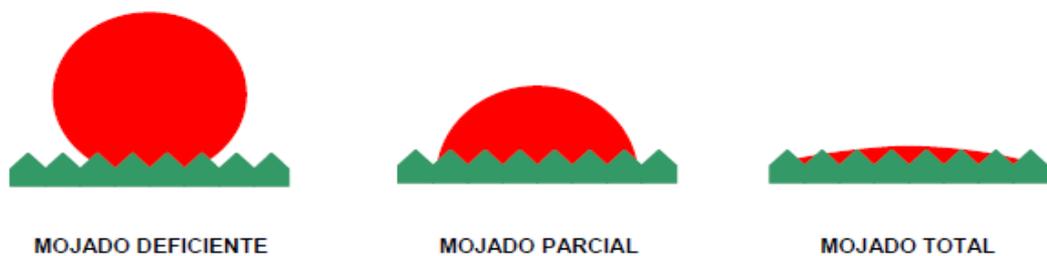
- **Adhesión mecánica:** Este fenómeno deduce que la adhesión entre los agregados minerales y el asfalto se debe al anclaje del ligante asfáltico con la textura y la forma áspera del sustrato (Madrid, 2010).
- **Difusión:** “Este fenómeno indica la manera en que los polímeros se adhieren entre sí. Según esta teoría, la adherencia se debe a la

interdifusión de las moléculas de polímeros solubles que suelen ser compatibles”(Madrid, 2010, p. 9).

- **Teoría eléctrica:** Esta teoría contrasta la adherencia entre el ligante asfáltico y los agregados minerales con materiales de origen natural por medio de un condensador plano cuyas placas están compuestas por una doble capa eléctrica (Madrid, 2010).

### Fenómenos químicos

- **Teoría de la adsorción termodinámica o mojado superficial:** Esta teoría recalca la dominancia de las fuerzas de humectación debido a que cuando existe adherencia surge el contacto entre el ligante asfáltico en estado líquido y el agregado mineral en estado sólido, es decir ambos intervienen en una fase de mojado. Según “este fenómeno, un líquido moja a un sólido cuando el ángulo de contacto es menor a  $90^\circ$ ”(Madrid, 2010). (ver Figura 2.9)



**Figura 2.9** Tipos de mojados superficiales

Adaptado de “ Tecnología de la adhesión”, por (Madrid, 2010)

Obtenido de:

[http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/curso\\_de\\_adhesivos.pdf](http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/curso_de_adhesivos.pdf)

### **2.3.4 Propiedades que influyen en la adherencia del ligante asfáltico y el agregado mineral**

#### **2.3.4.1 Propiedades del agregado mineral**

- **Mineralogía:** Los agregados son comúnmente clasificados en hidrofílicos (mayor afinidad al agua que al asfalto) o hidrofóbicos (mayor afinidad al asfalto que al agua). Se sabe comúnmente que los agregados hidrofóbicos son ácidos y los agregados básicos son hidrofílicos. Pero hay excepciones en las que algunos agregados son completamente resistentes al desvestimiento por la acción del agua. Por ejemplo, la caliza es hidrofóbica y el granito hidrofílico. Sin embargo, sus niveles de acidez o de alcalinidad pueden variar de acuerdo a su composición mineralógica. (Moraes et al., 2010, p. 4)
- **Rugosidad:** Superficies rugosas con mayor área de contacto son preferidas para mejor ligadura. Esta propiedad influye tanto en la envoltura como en la resistencia adhesiva. La presencia de humedad y polvo reduce significativamente la fuerza de adhesión, las capas de polvo inhiben el mojado del agregado por el asfalto haciendo que este se adhiera al polvo en vez del agregado, además que la envoltura puede ser obstaculizada por el aire y la humedad acumulada en las grietas de la superficie del agregado. (Yoon & Tarrer, 1988)
- **Porosidad:** Es otra característica importante del agregado que puede afectar la adsorción de asfalto. La porosidad total, la distribución del tamaño de poros, y la continuidad de los poros determinan el grado y la naturaleza de la absorción. Al calentarse la mezcla asfáltica, el aire que existe en los poros del agregado es expulsado por el calor, y al enfriarse los vacíos absorben el asfalto. Por ejemplo, cuando la superficie del agregado es rugosa pero tiene poros pequeños, el aire queda atrapado y se dificulta la penetración del asfalto en los poros (Gamba & Mercado, 2004).

#### 2.3.4.2 *Propiedades del asfalto*

- **Composición química:** Es conocido que los ácidos carboxílicos en los ligantes asfálticos son bastante polares y se adhieren fuertemente al agregado seco. Sin embargo, este grupo químico tiende a ser removido fácilmente del agregado en presencia de agua. Una razón para este comportamiento es que las sales de sodio y potasio de los ácidos carboxílicos en el asfalto son esencialmente tensoactivos o jabones, que se despegan bajo la acción de tráfico en presencia de agua. Algunos estudios también 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. (Robertson, 1991)

Se ha observado que los ligantes asfálticos que contienen cetonas y nitrógeno son los menos susceptibles al daño por la humedad.

- **Viscosidad:** Esta juega un papel en la propensión de la mezcla de asfalto al desvestimiento (stripping). Se ha reportado que los asfaltos con alta viscosidad resisten el desplazamiento por la humedad mejor que aquellos que tienen baja viscosidad. Asfaltos con alta viscosidad generalmente llevan una alta concentración de componentes polares que proporcionan más resistencia a la peladura (Bahia & Hanz, 2007).
- **Espesor de la película de recubrimiento:** Los agregados con las películas de asfalto más gruesas tienden a tener fallas por cohesión después del acondicionamiento con humedad. Las muestras con películas más delgadas tienen fallas por adherencia. De acuerdo con la teoría termodinámica de la adherencia de asfalto - agregado, valores bajos en la tensión superficial del asfalto son preferibles para proporcionar un mejor cubrimiento. (Kanitpong & Bahia, 2003)
- **Tensión superficial:** “De acuerdo con la teoría termodinámica de la adherencia de asfalto - agregado, valores bajos en la tensión superficial del asfalto son preferibles para proporcionar un mejor cubrimiento”(Kanitpong & Bahia, 2003).

### **2.3.5. Mecanismos que provocan el desprendimiento entre el agregado mineral y el ligante asfáltico**

Cuando se prepara la mezcla asfáltica se debe considerar la impermeabilidad del ligante asfáltico y la permeabilidad del agregado mineral. Por ende, si la mezcla entra en contacto con el agua pueden activarse mecanismos que conllevan a la afectación de la adherencia en el sistema asfalto – agregado.

Existen varios términos para describir los mecanismos que contribuyen al daño por humedad según “Case Study and Test Method Review on Moisture Damage”. Estos son:

- Despegue. Separación microscópica de la película de ligante de la superficie del agregado por una delgada capa de agua sin una ruptura obvia de la película.
- Desplazamiento. Movimiento de la película de ligante de la superficie del agregado por el agua introducida a través de una rotura de la película.
- Presión de poros. Presión de poros del agua atrapada en los vacíos de la mezcla, que se incrementa o reduce debido a las cargas del tráfico, resultando en una ruptura de la película.
- Efecto hidráulico. El agua presurizada (debido a las cargas de tráfico) golpea y erosiona la película de ligante que cubre el agregado.
- Emulsificación espontánea. El agua suspendida sobre la película de betún (emulsión de fase invertida) provoca una débil resistencia cohesiva del ligante.
- Destrucción ambiental. El pH del agua de contacto afecta la propiedad de adhesión, al igual que el envejecimiento del ligante. Las fluctuaciones de temperatura producen cambios volumétricos en el agua atrapada. (Choi, 2007)

### **2.3.6. Pruebas para evaluar la adherencia entre el agregado y el asfalto**

Las pruebas más usuales para evaluar el daño en agua se basan en procedimientos aplicados a mezclas compactadas a nivel de laboratorio. De acuerdo al Proyecto de Investigación son:

- Ensayos con cabezal Lottman en diferentes versiones, siendo el procedimiento Tunnicliff – Root uno de los más generalizados (ASTM D 4867). Son pruebas asociadas con el comportamiento de las mezclas ante los agrietamientos.
- Ensayo de inmersión – compresión, sobre cilindros compactados en prensa (AASHTO T165), prueba asociada al comportamiento ante las deformaciones plásticas.
- Ensayo Cántabro, el cual valora directamente la cohesión y la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos en máquina Los Angeles.
- Ensayo de estabilidad Marshall retenida bajo diferentes condiciones de inmersión y temperatura, prueba asociada al comportamiento ante las deformaciones plásticas. (R. Hunter et al., 2014)
- Rueda cargada de Hamburgo, tal vez el más reconocido a nivel internacional. (AASHTO T 324), prueba asociada al comportamiento ante las deformaciones plásticas y la disgregación, pero empleando un equipo muy costoso.

Con frecuencia se emplea también una prueba sobre mezclas sueltas (sin compactar), denominada: “despegue o desvestimiento del asfalto de la piedra por agua hirviendo” (ASTM D 3625).

En Ecuador las normativas del MTOP recomiendan emplear los procedimientos correspondientes a ASTM D 4867 y ASTM D 3625.

Las pruebas desarrolladas para evaluar directamente la adherencia entre el asfalto y el agregado mineral de acuerdo al Proyecto de Investigación son:

- Prueba de resistencia a la ligadura del asfalto (Bitumen Bond Strength Test, "BBS"), donde se evalúa el esfuerzo de tracción para despegar un pistón estandarizado en una muestra de agregado con un equipo especial (Moraes et al., 2010).
- Prueba de pelado (Peeling Test). Donde se retira a tracción una lámina de aluminio de características estandarizadas pegada con asfalto a una muestra rectangular de agregado mineral.
- Prueba con equipo goniómetro para evaluar el ángulo de contacto (Aguar, 2013).
- Prueba con equipo de absorción-adsorción universal para medir la energía superficial libre del agregado y un plato de Wilhelmy para medir la del asfalto (Aguar, 2013).

Ninguno de estos procedimientos se aplica en el país, siendo algunos muy costosos, algo que también inspiró el desarrollo del procedimiento PAP.

## CAPÍTULO 3

### 3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

#### 3.1. Introducción

En el presente trabajo de investigación se emplea una metodología desarrollada y perfeccionada en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG para evaluar la adherencia asfalto – agregado mediante una pastilla de roca de forma cilíndrica pegada a un pistón de acero bajo ciertas condiciones que se especificarán más adelante.

Se utilizarán 5 muestras de diferentes tipos de roca cuyas procedencias se muestra en la Tabla 3.1. En el procedimiento de ensayo por tracción directa se utiliza una prensa universal SHIMADZU modelo AGS–X con una capacidad de 10 KN la cual para el procesamiento de datos emplea el programa TRAPEZIUM X.

**Tabla 3.1. Lugar de extracción de los diferentes tipos de roca**

<b>N°</b>	<b>Roca</b>	<b>Lugar de extracción</b>
1	Caliza	Cantera: Huayco, Guayas
2	Argilita	Cantera: Durán, Guayas
3	Granito	Taludes en Balsapamba, Bolívar
4	Andesita	Cantera: Pifo, Pichincha
5	Pizarra	Cantera: Durán, Guayas

### 3.2. Características de los materiales a utilizar en la prueba

Las pruebas correspondientes a todas las rocas utilizadas se resumen en las tablas 3.2 a 3.6.

**Tabla 3.2. Características de la roca - Caliza**

<b>Gravedad específica de masa</b>	<b>2.550</b>
<b>Gravedad específica de s.s.s</b>	2.595
<b>Gravedad específica aparente</b>	2.671
<b>Absorción (%)</b>	1.780
<b>Durabilidad ante sulfato de sodio (%)</b>	7.050
<b>Abrasión de los Ángeles (%)</b>	27.00

**Tabla 3.3. Características de la roca - Argilita**

<b>Gravedad específica de masa</b>	<b>2.253</b>
<b>Gravedad específica de s.s.s</b>	2.358
<b>Gravedad específica aparente</b>	2.517
<b>Absorción (%)</b>	4.660
<b>Durabilidad ante sulfato de sodio (%)</b>	26.50
<b>Abrasión de los Ángeles (%)</b>	41.00

**Tabla 3.4. Características de la roca - Granito**

<b>Gravedad específica de masa</b>	<b>2.847</b>
<b>Gravedad específica de s.s.s</b>	2.852
<b>Gravedad específica aparente</b>	2.863
<b>Absorción (%)</b>	0.200
<b>Durabilidad ante sulfato de sodio (%)</b>	0.610
<b>Abrasión de los Ángeles (%)</b>	19.30

**Tabla 3.5. Características de la roca - Andesita**

<b>Gravedad específica de masa</b>	<b>2.497</b>
<b>Gravedad específica de s.s.s</b>	2.561
<b>Gravedad específica aparente</b>	2.666
<b>Absorción (%)</b>	2.540
<b>Durabilidad ante sulfato de sodio (%)</b>	3.000
<b>Abrasión de los Ángeles (%)</b>	26.60

**Tabla 3.6. Características de la roca - Pizarra**

<b>Gravedad específica de masa</b>	<b>2.232</b>
<b>Gravedad específica de s.s.s</b>	2.359
<b>Gravedad específica aparente</b>	2.556
<b>Absorción (%)</b>	5.670
<b>Durabilidad ante sulfato de sodio (%)</b>	23.60
<b>Abrasión de los Ángeles (%)</b>	20.60

### 3.2.1. Características del ligante asfáltico

El mismo procede de la Refinería de Esmeraldas y no fue mezclado con ningún aditivo. Los resultados de las pruebas realizadas al mismo se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Resultados de las pruebas según clasificación por viscosidad

PROPIEDADES	UNIDAD	MÉTODO	AC-20		RESULTADOS
			MÍN	MÁX	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>					
Viscosidad absoluta, 60°C	Pa.s	ASTM D 2171	160	240	235
Viscosidad cinemática, 135°C	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	ASTM D 2170	300	-	343
Punto de inflamación	°C	ASTM D 92	232	-	290
Gravedad específica, 25 °C / 25 °C	-	ASTM D 70	-	-	1,013
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D-5	-	-	49.5
Penetración, 25°C, 100g, 5s	0,1 mm	ASTM D-36	-	-	68
Índice de penetración	-	ASTM D5/D5M	-1.5	+1.0	-0.6
<b>RESIDUO RTFO</b>					
Viscosidad absoluta, 60°C	Pa.s	ASTM D 2171	-	800	1315
Cambio de masa	%w/w	ASTM D 2872	-	1.0	+0.049
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/ min	cm	ASTM D 113	50	-	25

Clasifica como AC-20 según el rango de viscosidad original a 60°C, aunque la calidad del residuo RTFO es insuficiente.

### 3.3. Procedimiento para realizar la prueba de adherencia con pistón

#### 3.3.1. Preparación de las muestras

1. Para realizar el barrenado de las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas se utiliza una máquina perforadora cuya broca tenía un diámetro de 2 ¼ de pulgadas. Ver Figura 3.1.



**Figura 3.1. Barrenado de piedra**

2. Para establecer el espesor de las pastillas en el rango de 2.5 a 3 cm se emplea una máquina cortadora marca Bosh. No obstante, es necesario la utilización de guantes, mascarillas y mandil. Ver Figura 3.2.



**Figura 3.2. Proceso para cortar los núcleos de las rocas en forma de pastillas**

3. Se procede al lijar las pastillas de rocas para obtener uniformidad y una similar textura utilizando una lija de agua de grano 120. Ver Figura 3.3.



**Figura 3.3. Lijado de rocas**

4. A continuación, se lavan las pastillas de roca con agua destilada y un cepillo de cerdas suaves para evitar impurezas. Ver Figura 3.4.



**Figura 3.4. Lavado y cepillado de rocas con agua destilada**

5. Luego, se colocan las pastillas de roca en una máquina cuya función es realizar un baño ultrasónico con agua destilada a 60 °C durante 60 minutos a 50 Vatios para una limpieza profunda. Ver Figura 3.5.



**Figura 3.5. Lavado ultrasónico de las pastillas de roca**

6. Posterior a al paso anterior, se dejan reposar las pastillas en un ambiente climatizado para el secado del área superficial y la humedad. Ver Figura 3.6.



**Figura 3.6. Secado de las pastillas de roca en ambiente climatizado**

7. Se secan las pastillas en el horno a 110 °C durante 24 para que de esta forma las muestras estén totalmente libre de humedad. Ver Figura 3.7 y 3.8.



**Figura 3.7. Colocación de las pastillas de roca en el horno**



**Figura 3.8. Temperatura del horno fijada a 110 °C**

8. Para unir las pastillas de roca con el pistón se emplean prensas manuales (“sargentos”) soldados a una base metálica. Con estos se ejerce presión para prevenir el escurrimiento del asfalto fuera del área del pistón. Luego, se colocan las pastillas de roca en el horno a 150 °C por dos horas. Ver Figura 3.9, 3.10 y 3.11.



**Figura 3.9. Ajuste de las pastillas de roca con el pistón en prensas manuales**



**Figura 3.10 Colocación de pastillas de rocas en el horno**



**Figura 3.11** Temperatura del horno fijada a 150 °C

9. Antes de retirar las pastillas del horno se calienta el ligante asfáltico a 150 °C. Seguido de ello, se retiran las pastillas del horno y se ajustan las prensas manuales. Luego, se coloca el ligante asfáltico a través de los orificios del pistón con un recipiente tipo aceitera antes de ingresar nuevamente las pastillas en el horno a 135 °C por dos horas. Ver Figura 3.12 y 3.13.



**Figura 3.12.** Colocación del ligante asfáltico en las aberturas del pistón



**Figura 3.13.** Temperatura del horno fijada a 135 °C

10. Al retirar las pastillas de roca del horno, se las deja reposar en un ambiente climatizado (25 °C) durante 24 horas. Ver Figura 3.14.



**Figura 3.14.** Pastillas reposando en un ambiente climatizado

### 3.3.2. Realización del ensayo

11. Se colocan las pastillas de roca en el nuevo sistema de agarre. Ver Figura 3.15 y 3.16.



**Figura 3.15.** Nuevo sistema de agarre para ensayo de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral



**Figura 3.16.** Colocación de las pastillas de roca en el sistema de agarre

12. Se ajusta el sistema de agarre con la prensa hidráulica SHIMADZU para realizar el ensayo de tracción a una velocidad de 25 mm/min. Ver Figura 3.17.



**Figura 3.17. Ajuste del sistema de agarre con la prensa hidráulica**

13. Se procesan los datos usando el software TRAPEZIUM de la prensa hidráulica SHIMADZU para obtener el esfuerzo de rotura, el desplazamiento y la energía durante el ensayo de tracción. Ver Figura 3.18.



**Figura 3.18. Procesamiento de datos**

### **3.3.3. Realización del ensayo en condición húmeda (daño en agua)**

1. Posterior al paso 10, se utiliza alambre fino galvanizado para preparar un sistema simple de fijación que impida el posible movimiento del pistón unido a las pastillas de roca al ser sumergidas en agua caliente. Ver Figura 3.19.



**Figura 3.19. Agarre del sistema pistón - pastillas de roca**

2. Se sumergen las pastillas en baño María con agua destilada durante 24 horas a 60 °C. Ver Figura 3.20.



**Figura 3.20. Temperatura del baño María con el sistema**

3. Luego, se baja la temperatura a 25 °C de manera rápida y se dejan sumergidas las pastillas de roca durante 2 horas a dicha temperatura. Ver Figura 3.21.



**Figura 3.21. Sistema pistón – pastillas de roca**

4. Se dejan reposar las pastillas en un ambiente climatizado (25°C) durante 24 horas. Ver Figura 3.22.



**Figura 3.22** Climatización del sistema pistón - pastillas de roca

5. Se realiza el ensayo según los pasos indicados en el numeral 3.3.2.

## CAPÍTULO 4

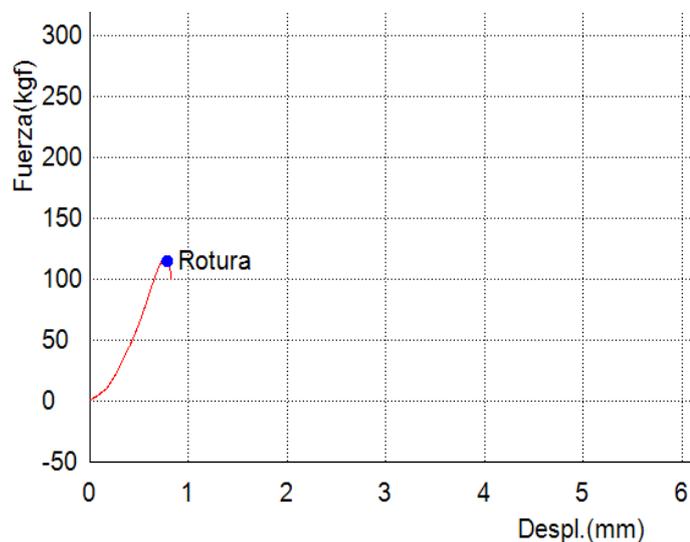
### 4 RESULTADOS. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Generalidades

Se realizaron ensayos según el procedimiento de la prueba de adherencia con pistón a los 5 tipos de roca a estudiar, para cada roca se ensayaron 7 muestras sin inmersión en agua y 3 muestras con inmersión en agua, tomando en consideración las siguientes condiciones:

- Espesor de película asfáltica: 0.5 mm de espesor
- Temperatura de ensayo: 25 °C
- Velocidad de deformación en la prensa de tracción: 25 mm/min
- Área de prueba del pistón recubierto de asfalto: 804.25 mm<sup>2</sup>

El software de la máquina a tracción arroja los resultados de la carga máxima en kilogramos fuerza y el desplazamiento en milímetro tal como se muestra en la Figura 4.1.



**Figura 4.1. Gráfico carga - desplazamiento de una muestra #5 de roca Argilita sin inmersión en agua**

## 4.2. Resultados de pruebas sin inmersión en agua

En las tablas 4.1 a 4.5 se presentan los resultados obtenidos al aplicar la prueba a las diferentes piedras de roca, es decir, los valores de carga, desplazamiento, el área bajo la curva asociada a la energía y la resistencia al despegue. Además, se incluyó la temperatura de cada muestra de roca previa al ensayo.

**Tabla 4.1. Resultados obtenidos en la roca Caliza sin inmersión en agua**

Roca: Caliza							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	25.3	80.4	789	1.0	29.8	292	980
2	25.2	68.6	673	0.6	16.1	158	836
3	24.8	84.6	830	1.7	25.6	251	1030
4	25.4	79.4	779	1.8	21.4	210	967
5	25.2	63.5	623	1.6	17.0	167	774
6	25.5	86.3	847	1.6	28.0	275	1052
7	25.8	85.1	835	2.2	21.0	206	1037
<b>Promedio</b>		78.3	768	1.5	22.7	223	954
<b>Desv. Estándar</b>		8.8	87	0.5	5.3	52	108
<b>Coef. Variación</b>		11.3	11.3	35.9	23.3	23.3	11.3

**Tabla 4.2. Resultados obtenidos en la roca Argilita sin inmersión en agua**

Roca: Argilita							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	25.3	71.1	698	2.1	72.5	711	867
2	25.2	107.8	1057	1.6	50.4	494	1313
3	25.3	141.1	1384	0.7	47.5	466	1719
4	25.2	104.3	1023	1.5	35.0	343	1271
5	25.4	114.2	1121	0.8	39.7	389	1392
6	25.3	88.3	866	1.7	65.0	638	1076
7	25.5	131.7	1292	1.5	40.0	392	1605
<b>Promedio</b>		108.4	1063	1.4	50.0	491	1320
<b>Desv. Estándar</b>		24.0	235	0.5	14.0	137	292
<b>Coef. Variación</b>		22.1	22.1	35.5	27.9	27.9	22.1

**Tabla 4.3. Resultados obtenidos en la roca Granito sin inmersión en agua**

Roca: Granito							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	25.3	116.7	1145	0.6	47.5	466	1422
2	25.4	110.6	1085	0.9	50.0	491	1348
3	24.8	133.3	1308	1.5	76.8	753	1624
4	25.1	69.4	681	1.9	65.0	638	846
5	25.4	93.4	916	1.3	46.8	459	1138
6	25.6	124.2	1219	1.6	39.0	383	1514
7	24.9	134.9	1324	2.0	52.5	515	1644
<b>Promedio</b>		111.8	1097	1.4	53.9	529	1362
<b>Desv. Estándar</b>		23.5	230	0.5	12.8	125	286
<b>Coef. Variación</b>		21.0	21.0	36.2	23.7	23.7	21.0

**Tabla 4.4. Resultados obtenidos en la roca Andesita sin inmersión en agua**

Roca: Andesita							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	25.8	83.4	818	1.5	34.1	334	1017
2	25.8	99.5	976	2.6	30.6	300	1213
3	24.6	107.6	1055	1.9	39.2	385	1311
4	24.9	118.9	1166	1.7	32.2	316	1449
5	24.7	106.4	1043	1.5	49.0	481	1296
6	25.1	154.5	1516	1.1	35.3	346	1883
7	25.2	132.5	1300	1.5	56.5	554	1615
<b>Promedio</b>		114.7	1125	1.7	39.6	388	1398
<b>Desv. Estándar</b>		23.3	228	0.5	9.7	95	284
<b>Coef. Variación</b>		20.3	20.3	27.5	24.4	24.4	20.3

**Tabla 4.5. Resultados obtenidos en la roca Pizarra sin inmersión en agua**

Roca: Pizarra							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	25.6	106.9	1048	1.4	41.0	403	1302
2	25	76.8	754	1.0	45.5	446	936
3	25	122.0	1197	2.1	40.0	392	1487
4	25	78.5	770	2.2	47.0	461	956
5	24.7	138.9	1363	1.5	61.8	606	1693
6	24.8	93.2	914	1.8	21.0	206	1136
7	24.8	111.7	1096	1.6	50.6	496	1361
<b>Promedio</b>		104.0	1020	1.7	43.8	430	1267
<b>Desv. Estándar</b>		22.8	224	0.4	12.4	122	278
<b>Coef. Variación</b>		21.9	21.9	25.3	28.3	28.3	21.9

### 4.3. Resultados de pruebas con inmersión en agua

En las tablas 4.6 a 4.10 se presentan dichos resultados de forma similar al numeral 4.2.

**Tabla 4.6. Resultados obtenidos en la roca Caliza con inmersión en agua**

Roca: Caliza							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	24.4	83.0	814	1.7	26.7	262	1011
2	25.6	43.5	427	1.9	34.0	333	531
3	25.0	69.0	677	0.8	24.3	238	841
<b>Promedio</b>		65.2	639	1.5	28.3	278	794
<b>Desv. Estándar</b>		20.0	196	0.6	5.1	50	244
<b>Coef. Variación</b>		30.7	30.7	40.1	17.8	17.8	30.7

**Tabla 4.7. Resultados obtenidos en la roca Argilita con inmersión en agua**

Roca: Argilita							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	25.5	65.7	645	1.9	22.7	223	801
2	25.1	73.9	725	0.9	21.0	206	900
3	25.0	50.0	491	1.1	18.6	183	610
<b>Promedio</b>		63.2	620	1.3	20.8	204	770
<b>Desv. Estándar</b>		12.1	119	0.5	2.1	20	148
<b>Coef. Variación</b>		19.2	19.2	39.8	9.9	9.9	19.2

**Tabla 4.8. Resultados obtenidos en la roca Granito con inmersión en agua**

Roca: Granito							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	24.4	111.5	1094	2.2	30.4	298	1359
2	24.9	132.2	1297	1.3	31.8	281	1611
3	25.0	83.6	820	1.5	18.9	185	1018
<b>Promedio</b>		109.1	1070	1.6	27.0	255	1329
<b>Desv. Estándar</b>		24.4	240	0.5	7.1	61	298
<b>Coef. Variación</b>		22.4	22.4	27.6	26.3	23.9	22.4

**Tabla 4.9. Resultados obtenidos en la roca Andesita con inmersión en agua**

Roca: Andesita							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	25.5	67.9	666	1.2	20.6	202	827
2	25.3	84.3	827	2.0	30.1	295	1027
3	25.5	95.7	939	1.6	26.0	255	1166
<b>Promedio</b>		82.6	810	1.6	25.6	251	1007
<b>Desv. Estándar</b>		14.0	137	0.4	4.7	47	170
<b>Coef. Variación</b>		16.9	16.9	23.7	18.6	18.6	16.9

**Tabla 4.10. Resultados obtenidos en la roca Pizarra con inmersión en agua**

Roca: Pizarra							
No.	Temperatura (°C)	Carga		Desplazamiento (mm)	Energía		Resistencia al despegue (kPa)
		(kg)	(N)		(kg.mm)	(N.mm)	
1	24.9	69.4	681	1.4	18.7	184	846
2	24.9	60.0	589	1.8	24.5	240	731
3	25.6	74.7	732	1.4	33.5	329	910
<b>Promedio</b>		68.0	667	1.5	25.6	251	829
<b>Desv. Estándar</b>		7.4	73	0.2	7.5	73	90
<b>Coef. Variación</b>		10.9	10.9	15.2	29.2	29.2	10.9

#### 4.4. Evaluación de daños en las muestras ensayadas

Como ya se ha explicado los tipos de fallas que pudieran presentarse en las rocas ensayadas son las correspondientes a fallas por: cohesión, adherencia y rotura del agregado. Llama la atención que en ninguna de las pruebas realizadas se presentó rotura del agregado.

Los tipos de falla observados en los ensayos son:

- Cohesión
- Adherencia

En las tablas 4.11 a 4.15 se muestran los resultados de la evaluación realizada que incluyeron mediciones cuidadosas.

Tabla 4.11. *Evaluación del daño en agua de la roca Caliza*

Roca: Caliza					
Condición	No.	Áreas de fallo (mm <sup>2</sup> )		Áreas de fallo (%)	
		Adherencia	Cohesión	Adherencia	Cohesión
Sin inmersión en agua	1	0	804	0%	100%
	2	150	654	19%	81%
	3	0	804	0%	100%
	4	0	804	0%	100%
	5	92	712	11%	89%
	6	0	804	0%	100%
	7	0	804	0%	100%
		<b>Promedio</b>		4%	96%
Con inmersión en agua	1	0	804	0%	100%
	2	0	804	0%	100%
	3	13	792	2%	98%
		<b>Promedio</b>		1%	99%

Como se observa en la Tabla 4.11 en la roca Caliza se presentó un comportamiento muy particular, obteniéndose áreas falladas sin inmersión (4%) superiores a con inmersión (1%). Esto a nuestro juicio pudo ocurrir por las particularidades de la roca.

En el resto de las rocas solo se muestra la condición con inmersión ya que en la condición sin inmersión no hubo áreas con fallo de adherencia.

**Tabla 4.12. Evaluación del daño en agua de la roca Argilita**

Roca: Argilita					
Condición	No.	Áreas de fallo (mm <sup>2</sup> )		Áreas de fallo (%)	
		Adherencia	Cohesión	Adherencia	Cohesión
Con inmersión en agua	1	246	558	31%	69%
	2	133	672	17%	83%
	3	531	273	66%	34%
	Promedio				38%

**Tabla 4.13. Evaluación del daño en agua de la roca Granito**

Roca: Granito					
Condición	No.	Áreas de fallo (mm <sup>2</sup> )		Áreas de fallo (%)	
		Adherencia	Cohesión	Adherencia	Cohesión
Con inmersión en agua	1	20	785	2%	98%
	2	0	804	0%	100%
	3	34	770	4%	96%
	Promedio				2%

**Tabla 4.14. Evaluación del daño en agua de la roca Andesita**

Roca: Andesita					
Condición	No.	Áreas de fallo (mm <sup>2</sup> )		Áreas de fallo (%)	
		Adherencia	Cohesión	Adherencia	Cohesión
Con inmersión en agua	1	346	458	43%	57%
	2	105	699	13%	87%
	3	79	726	10%	90%
	Promedio				22%

**Tabla 4.15. Evaluación del daño en agua de la roca Pizarra**

Roca: Pizarra					
Condición	No.	Áreas de fallo (mm <sup>2</sup> )		Áreas de fallo (%)	
		Adherencia	Cohesión	Adherencia	Cohesión
Con inmersión en agua	1	616	188	77%	23%
	2	707	97	88%	12%
	3	519	285	65%	35%
	Promedio				76%

## **4.5. Análisis de resultados de las pruebas**

### **4.5.1. Condición sin inmersión en agua**

En general, al analizar los resultados de las pruebas sin inmersión (ver tabla 4.16) puede observarse que los valores promedios de la carga máxima varían entre 768 N (roca Caliza) y 1125 N (roca Andesita), por lo que la resistencia al despegue calculada como la relación entre dicha carga y el área con asfalto del pistón ( $8.04 \text{ cm}^2$ ), varió entre 954 kPa (roca Caliza) y 1398 kPa (roca Andesita). Los coeficientes de variación que se obtuvieron en las diferentes rocas para dicha carga y resistencia oscilan entre 11.3% (roca Caliza) y 22.1% (roca Argilita). En el valor promedio mencionado para la roca caliza, sin dudas influyó que dos de las siete muestras ensayadas mostraron cierto nivel de falla por adhesión por lo que las cargas para el despegue fueron menores.

Precisamente, si dichas muestras no se consideraran, o sea, que todo el fallo en la condición sin inmersión en agua para la Caliza responda a falla por cohesión como ocurre en las muestras restantes, entonces el valor de carga sería de 816 N y la resistencia de 1013 kPa. En este caso el fallo por cohesión en el procedimiento PAP se relacionaría con una resistencia entre 1013 kPa y 1398 kPa para todas las rocas empleadas con un promedio de 1287 kPa y un coeficiente de variación de 21.6%.

La energía calculada en condiciones normales (7 muestras) asociada con el área bajo la curva varió entre 223 N.mm (roca Caliza) y 529 N.mm (roca Granito), según se muestra en la tabla 4.16 encontrándose los coeficientes de variación entre 23.3% (roca Caliza) y 28.3% (roca Pizarra).

No se detallan los resultados de los coeficientes de variación obtenidos en los desplazamientos ya que estos mostraron variaciones muy elevadas entre 25.3% (roca Pizarra) y 36.2% (roca Granito).

**Tabla 4.16. Resumen de resultados de los promedios obtenidos**

Rocas	Ensayo sin inmersión			Ensayo con inmersión		
	Carga (N)	Resistencia al despegue (kPa)	Energía (N.mm)	Carga (N)	Resistencia al despegue (kPa)	Energía (N.mm)
<b>Caliza</b>	768	954	223	639	794	278
<b>Argilita</b>	1063	1320	491	620	770	204
<b>Granito</b>	1097	1362	529	1070	1329	255
<b>Andesita</b>	1125	1398	388	810	1007	251
<b>Pizarra</b>	1020	1267	430	667	829	251

#### **4.5.2. Condición con inmersión en agua**

En las muestras con inmersión puede observarse que en la mayor parte de las rocas (con excepción de la roca Caliza), el impacto es de fallo por adherencia debido al agua (ver tablas 4.11 a 4.15).

Como promedio, el porcentaje de área afectada por dicho fallo fue del 2% para el Granito, 22% para la Andesita, 38% para la Argilita y el 76% para la Pizarra. Por esta razón, los valores de carga y resistencia al despegue fueron menores a la condición sin inmersión, variando la carga de 620 N (roca Argilita) y 1070 N (roca Granito) y la resistencia entre 770 kPa y 1329 kPa según la Tabla 4.16. Los coeficientes de variación oscilaron entre 10.9% (roca Pizarra) y 30.7% (roca Caliza).

Con relación a la energía, la misma varió entre 204 N.mm (roca Argilita) y 278 N.mm (roca Caliza) (ver Tabla 4.16). Es decir, que la energía necesaria para el despegue del asfalto a la roca será mayor en el caso de la Caliza, la cual siempre posee un buen comportamiento ante el agua. Los coeficientes de variación obtenidos en esta condición varían entre 9.9% (roca Argilita) y 29.2% (roca Pizarra).

### 4.5.3. Comparación de resultados

Los valores promedios de la carga máxima, la energía y la resistencia al despegue disminuyen cuando se realiza el ensayo de inmersión en agua en todas las rocas. La roca que obtuvo mayor resistencia al despegue sin inmersión en agua fue la Andesita con 1398 kPa y la roca que tuvo mayor resistencia al despegue con inmersión en agua fue el Granito con 1329 kPa.

Ambas son rocas ígneas y tuvieron un buen comportamiento con y sin inmersión en agua a pesar de que el granito es considerado como un material regular para la construcción de mezclas asfálticas según el libro Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design And Construction. (Brown et al., 2009)

No obstante, en un estudio de las propiedades mineralógicas de agregados graníticos en la adhesividad árido-ligante del Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto en México 2019 perteneciente a Bianchetto, Berman y demás reveló que “ los granitos presentaron los menores grados de desprendimiento de ligante en presencia de agua (Bianchetto et al., 2019, pp. 1103-1104)” en comparación con las demás rocas que estudiaron.

A continuación, se muestra en las figuras 4.2 a 4.5 el comportamiento de la resistencia al despegue y la energía en condiciones sin y con inmersión en agua, así como sus respectivos coeficientes de variación.

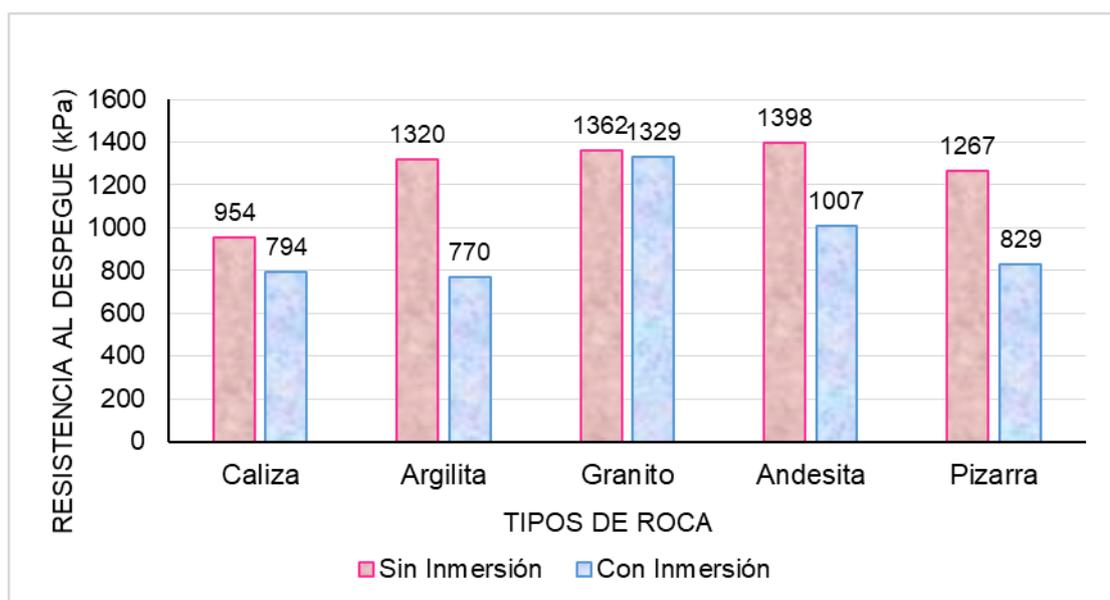
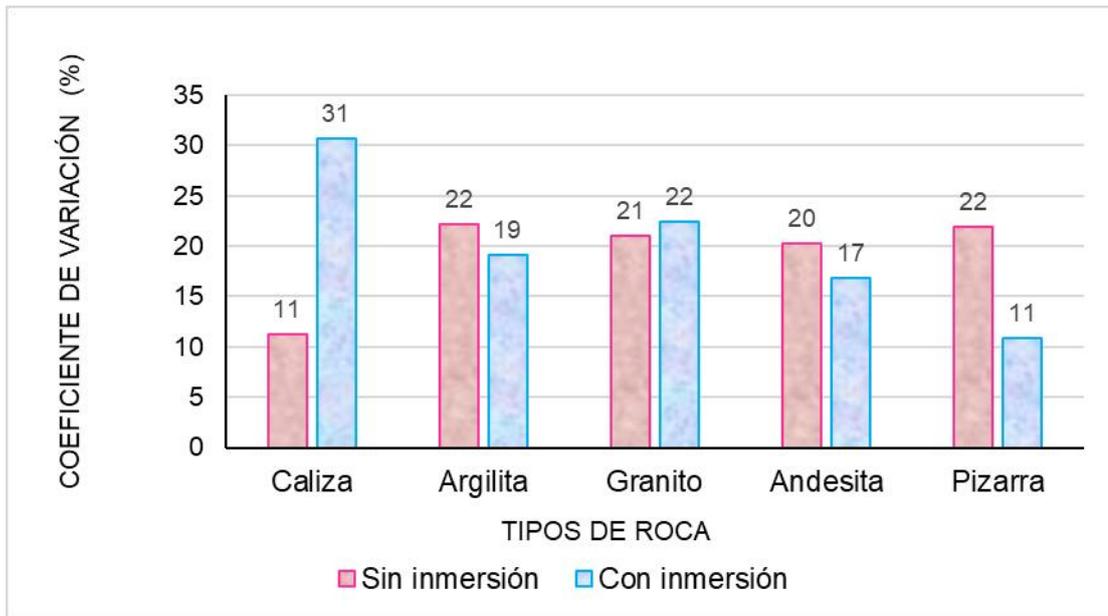
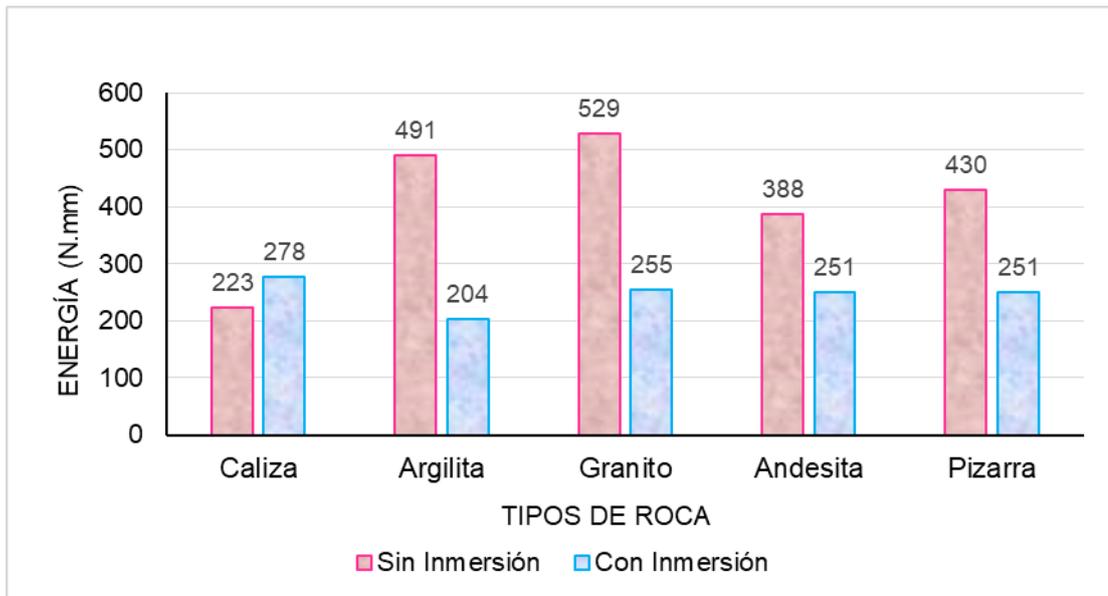


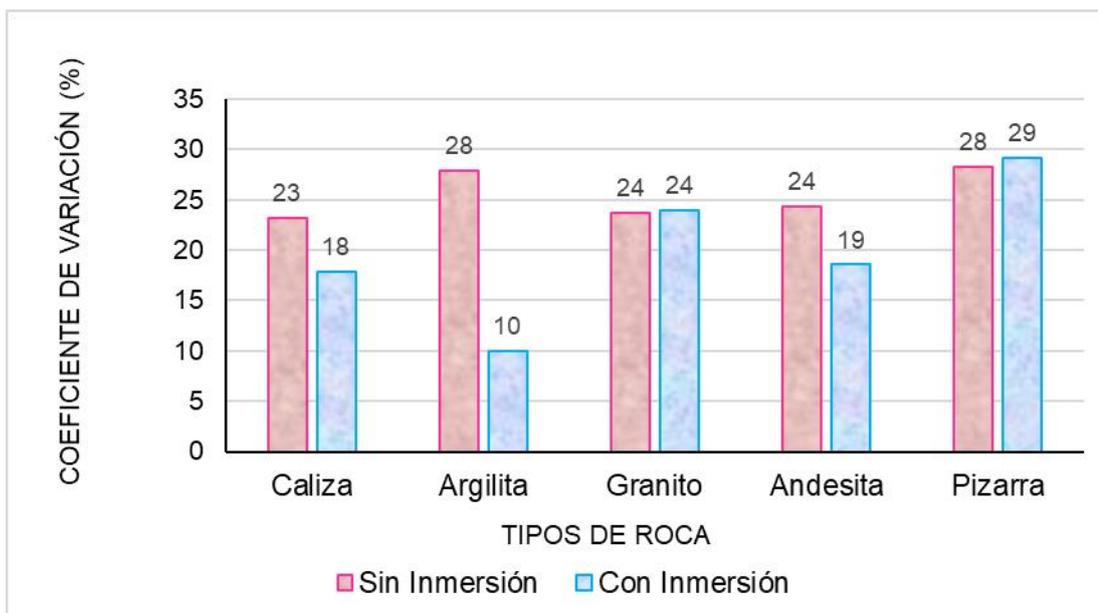
Figura 4.2. Resultados de la resistencia al despegue en el procedimiento PAP



**Figura 4.3. Coeficientes de variación obtenidos en la resistencia al despegue**



**Figura 4.4. Resultados de la energía en el procedimiento PAP**



**Figura 4.5. Coeficientes de variación obtenidos de la energía del PAP**

#### **4.5.4. Determinación de la resistencia retenida**

A partir de los valores de resistencia sin y con inmersión en agua se calculó la resistencia retenida. Los resultados se muestran en la Tabla 4.17.

**Tabla 4.17. Resistencia retenida luego de la inmersión en agua**

Rocas	Resistencia al despegue retenida (%)
Caliza	83.2
Argilita	58.3
Granito	97.6
Andesita	72.0
Pizarra	65.4

Los resultados más elevados, que indican un mejor comportamiento ante el agua corresponden al Granito y a la Caliza y los más bajos corresponden a las rocas Argilita y Pizarra. De hecho, la roca Argilita no es adecuada para la elaboración de mezclas asfálticas de acuerdo a sus propiedades intrínsecas especialmente la dureza, incluyéndose en este trabajo solo para hacer una comparación.

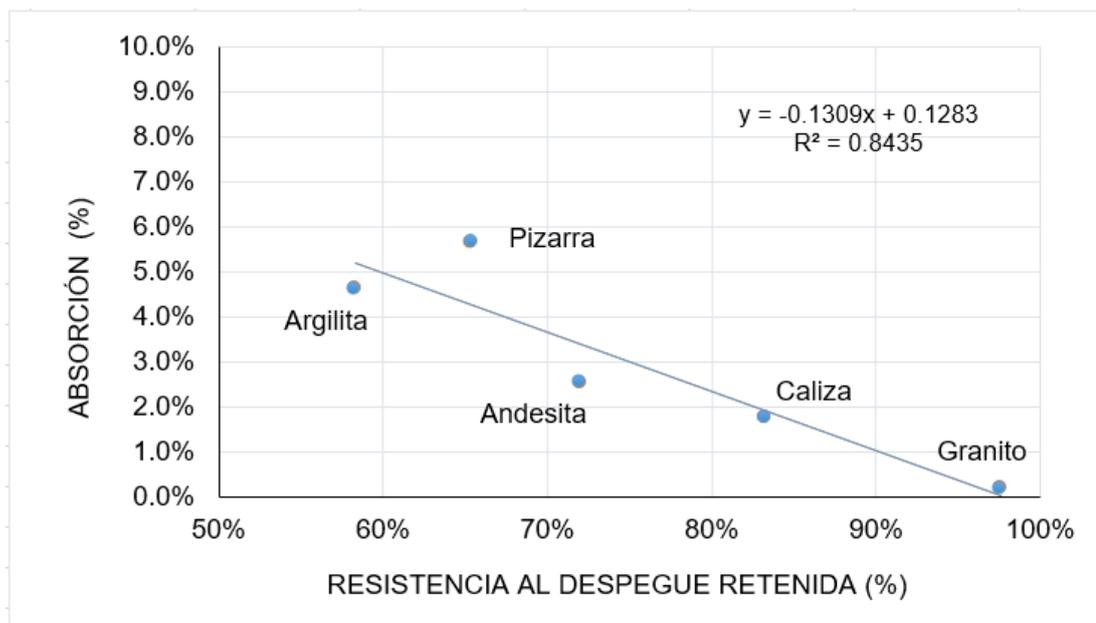
Es bastante usual en algunas pruebas de resistencia retenida ante el agua exigir valores por encima del 80%, aunque habría que hacer más pruebas para ajustar este valor a nuestro procedimiento.

#### 4.5.5. Relación entre la resistencia y la absorción

Uno de los factores que inciden en el fenómeno de la adherencia es la absorción en agua. Mientras mayores sean los porcentajes de absorción de la roca, menores serán sus porcentajes de resistencia al despegue retenido como se muestra en la Tabla 4.18 como por ejemplo la Pizarra y Argilita (ver Figura 4.6).

**Tabla 4.18. Resultado de la resistencia al despegue retenida y porcentaje de absorción de las rocas**

Rocas	% de resistencia retenida	% de absorción
Caliza	83%	1.78%
Argilita	58%	4.66%
Granito	98%	0.20%
Andesita	72%	2.54%
Pizarra	65%	5.67%



**Figura 4.6. Influencia de la absorción en agua en la resistencia al despegue retenido**

Es necesario considerar el porcentaje de absorción de las rocas ensayadas ya que esta característica permite definir qué tan susceptible puede ser el pavimento al agrietamiento prematuro (Cooley & Williams, 2013).

#### **4.6. Observaciones sobre la efectividad del empleo de las mordazas mejoradas en el procedimiento PAP**

Un aspecto importante en este estudio es verificar la efectividad de las mordazas mejoradas respecto a las mordazas antiguas, a través de la precisión en los resultados obtenidos con ambas en la resistencia al despegue (kPa) y en la energía (N.mm), relacionada esta última con el área bajo la curva carga-desplazamiento.

Para ello empleando la distribución “t de Student” para muestras pequeñas, se chequeará si hay diferencias significativas entre ambas condiciones. Los resultados con las mordazas antiguas fueron obtenidos de la información existente en archivo del proyecto de investigación “Evaluación del nivel de daño generado por el agua en las mezclas asfálticas calientes” desarrollado en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG entre 2017 y 2018.

En general, los resultados que se analizan corresponden a las muestras sin inmersión en agua, donde las pastillas de rocas ensayadas fueron más numerosas y no hay incidencia del agua, que puede generar sin dudas dispersiones adicionales. En las tablas 4.19 y 4.20 se observan los resultados a comparar.

**Tabla 4.19. Resultados en la resistencia al despegue**

Resistencia al despegue (kPa)				
Roca	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Total de muestras
<b>PAP CON MORDAZA MEJORADA</b>				
Caliza	954	108	11,3	7
Argilita	1320	292	22,1	7
Granito	1362	286	21,0	7
Andesita	1398	284	20,3	7
Pizarra	1267	278	21,9	7
<b>PAP CON MORDAZA ANTIGUA</b>				
Caliza	924	269	29,1	12
Argilita	1046	313	29,9	12
Granito	1177	576	48,9	15
Andesita	1126	396	35,2	12
Pizarra	1368	353	25,8	9

**Tabla 4.20. Resultados en la energía**

Energía (N.mm)				
Roca	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Total de muestras
<b>PAP CON MORDAZA MEJORADA</b>				
Caliza	223	52	23,4	7
Argilita	491	137	27,9	7
Granito	529	125	23,6	7
Andesita	388	95	24,5	7
Pizarra	430	122	28,4	7
<b>PAP CON MORDAZA ANTIGUA</b>				
Caliza	244	60	24,6	10
Argilita	342	107	31,3	12
Granito	329	166	50,5	10
Andesita	333	90	27,0	12
Pizarra	330	91	27,6	9

Para aplicar los criterios de la distribución “t de Student” se considerarán dos hipótesis, si  $\mu_1$  y  $\mu_2$  denotan la media de población de las resistencias al despegue en un primer caso y de las energías en un segundo, de los dos mordazas, se tendrá:

Ho:  $\mu_1 = \mu_2$  y no hay esencialmente diferencias entre los resultados de ambas mordazas.

H1:  $\mu_1 \neq \mu_2$  y hay una diferencia significativa entre los resultados de las dos mordazas.

Siendo:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

$$\text{Donde } \sigma = \sqrt{\frac{N_1 s_1^2 + N_2 s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}}$$

Y conociendo que:  $\bar{x}$ ,  $s$  y  $N$  son la media muestral, la desviación estándar muestral y el tamaño de la muestra, se presentan en las tablas 4.21 y 4.22 los valores calculados de  $\sigma$ ,  $t$  y los grados de libertad ( $N_1+N_2-2$ ).

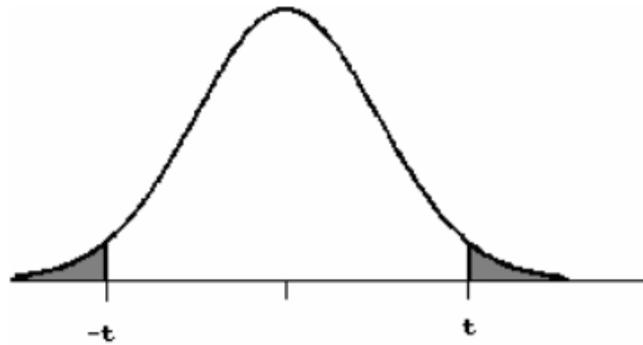
**Tabla 4.21. Chequeo de niveles de significación para la resistencia**

Resistencia al despegue (kPa)					
Roca	$\sigma$	$t$	$N_1+N_2-2$	$\pm t_{.925}$	Recorrido
Caliza	236,39	0,27	17,0	1,51	-1,51 a +1,51
Argilita	322,90	1,79	17,0	1,51	-1,51 a +1,51
Granito	526,75	0,77	20,0	1,50	-1,50 a +1,50
Andesita	379,35	1,52	17,0	1,51	-1,51 a +1,51
Pizarra	344,60	-0,58	14,0	1,52	-1,52 a +1,52

**Tabla 4.22. Chequeo de niveles de significación para la energía**

Energía (N.mm)					
Roca	$\sigma$	$t$	$N_1+N_2-2$	$\pm t_{.925}$	Recorrido
Caliza	60,51	-0,72	15,0	1,52	-1,52 a +1,52
Argilita	125,74	2,49	17,0	1,51	-1,51 a +1,51
Granito	160,19	2,53	15,0	1,52	-1,52 a +1,52
Andesita	97,13	1,19	17,0	1,51	-1,51 a +1,51
Pizarra	112,98	1,76	14,0	1,52	-1,52 a +1,52

Para un coeficiente de confianza del 85% considerando dos colas, ver Figura 4.7, el área sombreada total debe ser .15. Por lo tanto el área sombreada en la cola derecha es .075 y el valor crítico correspondiente de "t" es  $t_{.925}$ .



**Figura 4.7. Representación de distribución “t de Student” con dos colas**

Entonces los coeficientes de confianza buscados son  $\pm t.925$ , que se muestran también en las tablas 4.21 y 4.22, junto al recorrido que generan. Los valores de “t de Student” fueron obtenidos en la tabla correspondiente a esta distribución para una cola considerando además los grados de libertad. Se ha sombreado en color gris los valores de “t” en algunas rocas que se salen del recorrido, por lo que en estas se puede rechazar la primera hipótesis ( $H_0$ ) y aceptar la segunda, es decir, que hay una diferencia significativa entre los resultados de las dos mordazas. Por lo antes expuesto puede decirse que en general existen diferencias significativas en los resultados evaluados al emplear la mordaza mejorada.

Por otra parte, y como se puede apreciar en las tablas 4.19 y 4.20, en la gran mayoría de los resultados de resistencia y energía obtenidos los coeficientes de variación son menores al emplear la mordaza mejorada, por lo que es evidente que el uso de la nueva mordaza es más adecuado.

## **CAPÍTULO 5**

### **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

El fallo por cohesión en el procedimiento PAP, representativo de las muestras sin inmersión en agua, se produce con una resistencia al despegue entre 1000 y 1400 KPa aproximadamente para todas las rocas empleadas, mientras que la energía determinada, asociada con el área bajo la curva carga-desplazamiento, varió entre 200 y 500 N.mm. En general a mayor resistencia corresponde mayor energía y viceversa.

En condiciones con inmersión el fallo por adherencia se potencia y las áreas falladas son muy variables en función del tipo de roca, fluctuando entre 1% para la Caliza hasta 76% para la Pizarra. Sin dudas esta situación incide en la resistencia retenida, donde los valores mayores corresponden a las muestras con menores áreas falladas por adherencia. En general existe una tendencia a que la resistencia retenida disminuya con el aumento de dichas áreas, de esta forma las resistencias retenidas mayores corresponden al Granito (97.6%) y la Caliza (83.2%), mientras que las menores a la Pizarra (65.4%) y la Argilita (58.3%).

Se corrobora en este estudio que uno de los factores que inciden en el fenómeno de la adherencia es la absorción en agua. Las rocas estudiadas presentan gran variación en sus porcentajes de absorción en agua y mientras mayores sean estos, menores serán sus porcentajes de resistencia al despegue retenida.

Si bien es frecuente en las pruebas de resistencia retenida a las mezclas ante el agua, como tracción indirecta o estabilidad Marshall, exigir valores por encima del 80%, una exigencia en particular para el procedimiento PAP requiere de un mayor volumen de información acumulada y procesada.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio empleando para el procedimiento PAP un sistema de agarre o mordazas mejoradas, respecto a pruebas realizadas con las antiguas mordazas, se comprobó aplicando la distribución "t de Student" para muestras pequeñas que existen diferencias

significativas entre ambas condiciones y que en general los coeficientes de variación obtenidos con las mordazas mejoradas, tanto para la resistencia al despegue como para la energía, son menores.

## **5.2. Recomendaciones**

- Realizar ensayos con aditivos de adherencia y polímeros en el ligante asfáltico para realizar una comparación con los resultados de este estudio.
- Implementar un sistema de control de agregados que permita un mayor número de muestras para mejorar la precisión en el análisis de datos y para poder establecer una exigencia a este procedimiento.
- Valorar una exigencia para la absorción en agua en los agregados minerales para mezclas asfálticas como existen en varios países, incluso de nuestra región.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, J. (2013). *EVALUACIÓN DE ADHESIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN COSTA RICA MEDIANTE ENSAYOS BBS Y DE ÁNGULO DE CONTACTO*.  
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/538/EVALUACION%20DE%20ADHESION%20DE%20MEZCLAS%20ASFALTICAS%20EN%20COSTA%20RICA%20MEDIANTE%20ENSAYOS%20BBS%20Y%20DE%20ANGULO%20DE%20CONTACTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Albornoz, Y. (2014). *Cemento Asfáltico*. 9.
- Arenas Lozano, H. L. (2006). *Tecnología del Cemento Asfáltico* (Quinta Edición). Fundación Para Actividades de Investigación y Desarrollo.
- Asphalt Institute. (1992). *MS-22 Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfálticas*. <https://es.scribd.com/document/66112307/MS-22-Principios-de-Construccion-de-Pavimentos-de-Mezcla-Asfalticas>
- Asphalt Institute MS-22. (1982). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*.
- Bahia, H., & Hanz, A. (2007). *Test Method to Determine Aggregate/Asphalt Adhesion Properties and Potential Moisture Damage*. <https://wisconsindot.gov/documents2/research/05-12moisturedamage-f1.pdf>
- Banco de Imágenes Geológicas. (2010). *Andesita—03* [Photo]. [https://www.flickr.com/photos/banco\\_imagenes\\_geologicas/5000723638/](https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/5000723638/)
- Bianchetto, H., Berman, M., Correa, M., Bianchetto, E., & Carlini, F. (2019). *MEMORIAS.XX\_CILA. -INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES MINERALÓGICAS DE AGREGADOS GRANÍTICOS EN LA ADHESIVIDAD ÁRIDO-LIGANTE*. [https://xxcila.mx/wp-content/uploads/2019/12/MEMORIAS.XX\\_CILA\\_.pdf?v=0b98720dcb2c](https://xxcila.mx/wp-content/uploads/2019/12/MEMORIAS.XX_CILA_.pdf?v=0b98720dcb2c)

- Brown, R., Prithvi Kandall, Roberts, F., Kim, R., Lee, D.-Y., & Kennedy, T. (2009). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*.
- Bucher, K., & Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*.  
<https://books.google.com.ec/books?id=FFcHarai9GEC&printsec=frontcover&dq=Metamorphic+rocks&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwif5uCrusrnAhWMZd8KHQsdDVk4ChDoATACegQICBAB#v=onepage&q=Metamorphic%20rocks&f=false>
- Carenas, M., Giner, J., González, J., & Pozo, M. (2014). *Geología*.  
[https://books.google.com.ec/books?id=g3a6AwAAQBAJ&pg=PA207&dq=rocas+foliadas+y+no+foliadas+metamorficas&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiL4\\_OU0crnAhXTj3IEHWH5ANcQ6AEwAnoECAkQAQ#v=onepage&q=rocas%20foliadas%20y%20no%20foliadas%20metamorficas&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=g3a6AwAAQBAJ&pg=PA207&dq=rocas+foliadas+y+no+foliadas+metamorficas&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiL4_OU0crnAhXTj3IEHWH5ANcQ6AEwAnoECAkQAQ#v=onepage&q=rocas%20foliadas%20y%20no%20foliadas%20metamorficas&f=false)
- Cely Leal, N. E. (2014). *Estudio de la adhesión y cohesión de tres tipos de agregados pétreos utilizados en Bogotá-Colombia con asfalto 60-70: Tesis de maestría (Ingeniería Civil)*. [Pontificia Universidad Javeriana].  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15524/CelyLealNestorEdgardo2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Choi. (2007). "Case Study and Test Method Review on Moisture Damage".
- Collo, G. (2003). *LA INDUCCIÓN COMO MÉTODO CIENTÍFICO PARA ESTABLECER LA GÉNESIS DE LA ILLITA EN ROCAS DE BAJO GRADO DE METAMORFISMO*. 12.
- Converzar. (2019, abril 1). Modos de fallo en adhesivos. *Converzar*.  
<https://converzar.com/modos-de-fallo-en-adhesivos/>
- Cooley, A., & Williams, K. (2013). *Aggregate Absorption in HMA Mixtures*.  
<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/27480>
- Cornelis, K., & Cornelius S., H. (2003). *Manual de mineralogía*.  
[https://books.google.com.ec/books?id=ol2xn\\_6jgn0C&pg=PA654&dq=rocas+foliadas+y+no+foliadas+metamorficas&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiL4\\_OU0crnAhXTj3IEHWH5ANcQ6AEwBH](https://books.google.com.ec/books?id=ol2xn_6jgn0C&pg=PA654&dq=rocas+foliadas+y+no+foliadas+metamorficas&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiL4_OU0crnAhXTj3IEHWH5ANcQ6AEwBH)

oECAMQAQ#v=onepage&q=rocas%20foliadas%20y%20no%20foliad  
as%20metamorficas&f=false

Cull, S. (2009). *Rocks and Minerals*.  
<https://books.google.com.ec/books?id=K4OeCZNJHggC&pg=PA74&dq=andesite+rocks&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwibxLnZh8vnAhVKwVkkKHdO3DTMQ6AEIMjAB#v=onepage&q=andesite%20rocks&f=false>

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*.  
<http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/13502/1/112665.pdf>

Hunter, R. N., Self, A., & Read, J. (2015). *The Shell Bitumen handbook* (Sixth edition). Published for Shell Bitumen by ICE Publishing.

Hunter, R., Self, A., & Read, J. (2014). *The Shell Bitumen Handbook*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). *PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD) REQUISITOS*.  
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13455/ANEXO%202-%20INEN%20TABLA%207.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Jones, B., & James, N. (2016). *Origin of Carbonate Sedimentary Rocks*.  
<https://books.google.com.ec/books?id=cxBhBgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=carbonate+rocks&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjmmDP3MnnAhUR2FkKHXAkDhcQ6AEwAXoECAkQAQ#v=onepage&q=carbonate%20rocks&f=false>

Kanitpong, & Bahia, H. (2003). *Role of Adhesion and Thin Film Tackiness of Asphalt Binders in Moisture Damage of HMA*.

Linares Flores, L. R., Moran Puente, R. I., & Peñate Magaña, R. A. (2010). *Diseño de mezcla asfáltica semicaliente drenante en el salvador: Trabajo de grado (Ingeniero Civil)* [Universidad de El Salvador].  
<https://docplayer.es/52380023-Universidad-de-el-salvador-facultad->

multidisciplinaria-de-occidente-departamento-de-ingenieria-y-arquitectura.html

Lizcano, F. R., & Quintana, H. R. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño* (Primera Edición). Ecoe Ediciones. [https://play.google.com/books/reader?id=zuwcDgAAQBAJ&hl=es\\_419&pg=GBS.PP3](https://play.google.com/books/reader?id=zuwcDgAAQBAJ&hl=es_419&pg=GBS.PP3)

Madrid, M. (2010). *TECNOLOGÍA DE LA ADHESIÓN*.

Mineral Education Coalition". (2008). *Granito | Coalición de Educación de Minerales*. <https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/granite/>

Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*.

Moraes, R., Velásquez, R., & Bahia, H. (2010). *MEASURING EFFECT OF MOISTURE ON ASPHALT-AGGREGATE BOND WITH THE BITUMEN BOND STRENGTH TEST*. [https://pdfs.semanticscholar.org/5830/681a93d827b600c69c59d45bff35bd45503a.pdf?\\_ga=2.186493289.1562140384.1582055709-1576096874.1582055709](https://pdfs.semanticscholar.org/5830/681a93d827b600c69c59d45bff35bd45503a.pdf?_ga=2.186493289.1562140384.1582055709-1576096874.1582055709)

Recuenco Aguado, E. (2014). *Firmes y pavimentos de carreteras y otras infraestructuras* (Primera Edición). Ibergarceta Publicaciones S.L.

Robertson, R. (1991). *Chemical Properties of Asphalts and Their Relationship to Pavement Performance*. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/shrp-91-510.pdf>

Rondón, H., & Reyes, F. (2015). *Pavimentos, Materiales, construcción y diseño*.

Schumann, W. (1993). *Handbook of Rocks, Minerals, and Gemstones*. <https://books.google.com.ec/books?id=tLTzSUV5FCIC&pg=PA195&q=plutonic+rocks&hl=es->

419&sa=X&ved=2ahUKEwif8uLLocrnAhVJwVkkKHcl9C904ChDoATAA  
egQIBRAB#v=onepage&q=plutonic%20rocks&f=false

Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra-Una introducción a la geología física* (8.<sup>a</sup> ed.). Pearson Prentice Hall.

Tucker, M. (2001). *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*.  
[https://books.google.com.ec/books?id=Yebzay3a0FwC&pg=PA248&lp g=PA248&dq=Tucker,+M.+E.+\(1981\):+Sedimentary+Petrology.+ +Blackwell+Scientific+Publications,+Oxford&source=bl&ots=T2KDoM 4s1O&sig=ACfU3U3vXwsWIBbwz9MPn4aEQHFzbxNuTw&hl=es- 419&sa=X&ved=2ahUKEwizx4L7gcrnAhUkrIkKHRDmBzAQ6AEwB3o ECAoQAQ#v=onepage&q=Tucker%2C%20M.%20E.%20\(1981\)%3A %20Sedimentary%20Petrology.%20- %20Blackwell%20Scientific%20Publications%2C%20Oxford&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Yebzay3a0FwC&pg=PA248&lp g=PA248&dq=Tucker,+M.+E.+(1981):+Sedimentary+Petrology.+ +Blackwell+Scientific+Publications,+Oxford&source=bl&ots=T2KDoM 4s1O&sig=ACfU3U3vXwsWIBbwz9MPn4aEQHFzbxNuTw&hl=es- 419&sa=X&ved=2ahUKEwizx4L7gcrnAhUkrIkKHRDmBzAQ6AEwB3o ECAoQAQ#v=onepage&q=Tucker%2C%20M.%20E.%20(1981)%3A %20Sedimentary%20Petrology.%20- %20Blackwell%20Scientific%20Publications%2C%20Oxford&f=false)

Whittaker, A. (1985). *Formation Evaluation: Geological Procedures*.  
<https://books.google.com.ec/books?id=XmFDBAAAQBAJ&pg=PA120 &dq=siliceous+rocks&hl=es- 419&sa=X&ved=2ahUKEwijtYrw88nnAhUnvFkKHZRpC3E4ChDoATA BegQICRAB#v=onepage&q=siliceous%20rocks&f=false>

Yoon, H., & Tarrer, A. (1988). *Effect of Aggregate Properties on Stripping*.  
<https://pdfs.semanticscholar.org/32cc/b3df42dbb903d87117ab3ed6e8 23c45f0c5d.pdf>

## 7. ANEXOS

### 7.1. ANEXO 1. Tipos de áreas con fallo

A continuación, en los anexos 7.1 y 7.2 se muestra un ejemplo del fallo por cohesión de las muestras secas.



*Anexo 7.1. Área con fallo por cohesión (vista desde el sistema de agarre)*



*Anexo 7.2. Área con fallo por cohesión (vista desde el pistón)*

Así mismo, en el Anexo 7.3 se muestra un ejemplo del fallo por adherencia de las muestras con inmersión en agua.



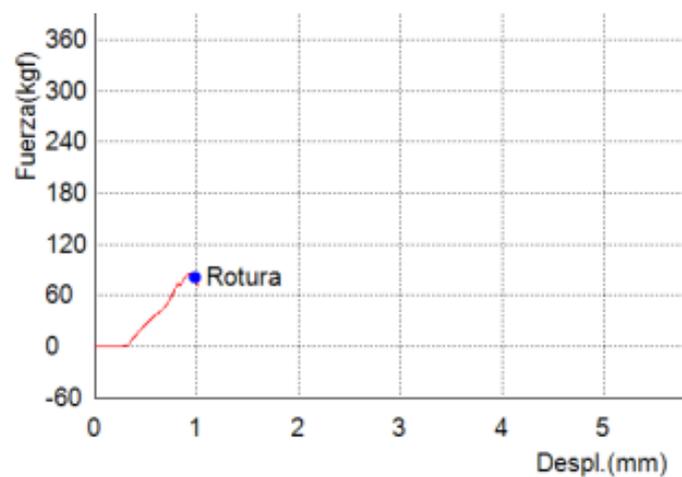
*Anexo 7.3. Área con fallo por adherencia*

## 7.2. ANEXO 2. Gráficos obtenidos en el procedimiento PAP de cada una de las muestras

Desde el anexo 7.4 al 7.38 se presentan los resultados de los cinco tipos de roca sin inmersión en agua

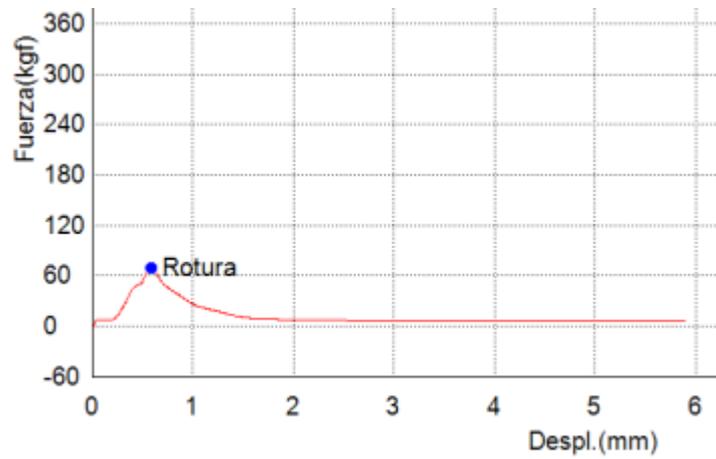
### 7.2.1. Resultados para la roca Caliza – sin inmersión

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	80.4	1.0	29.8



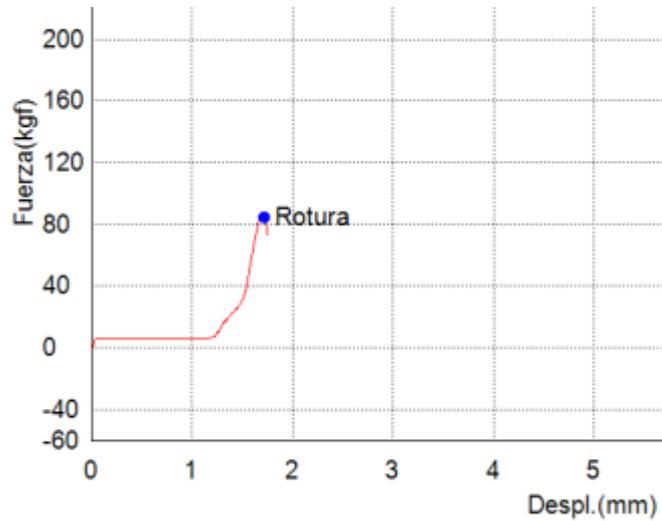
*Anexo 7.4. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1*

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	68.6	0.6	16.1



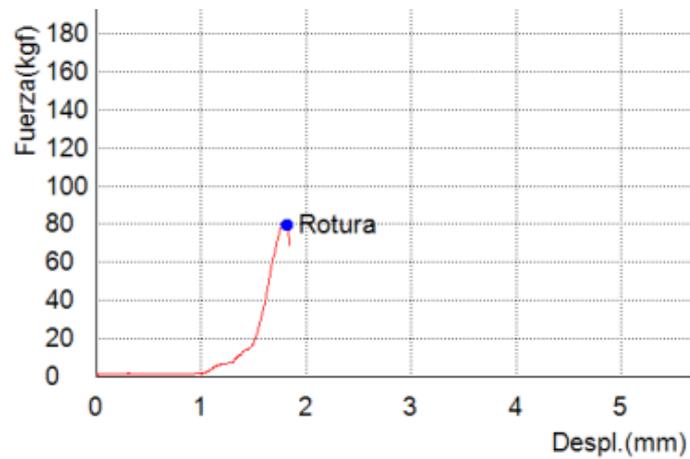
Anexo 7.5. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	84.6	1.7	25.6



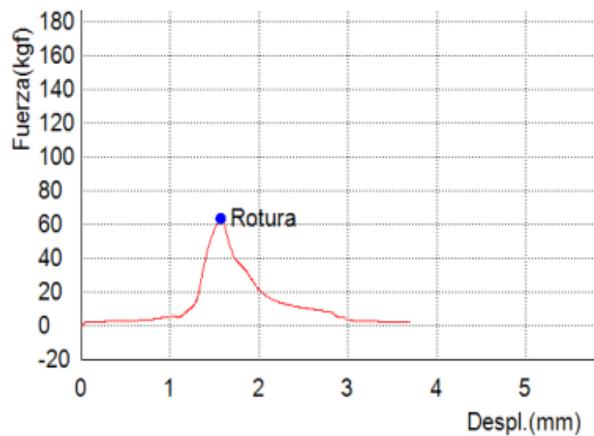
Anexo 7.6. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 4	79.4	1.8	21.4



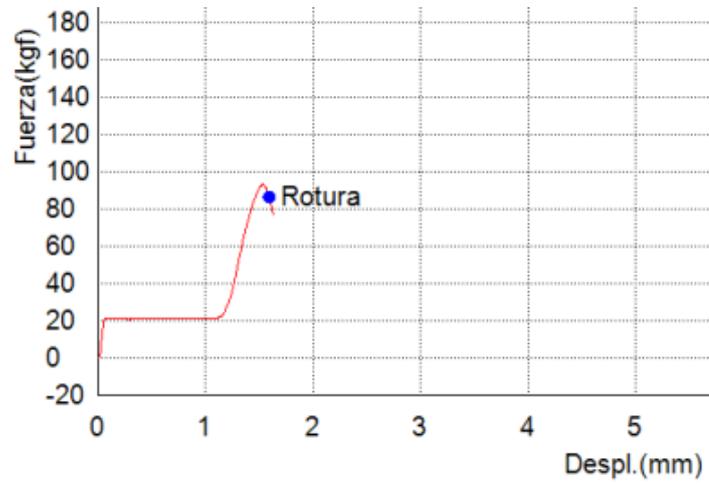
**Anexo 7.7. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 5	63.5	1.6	17.0



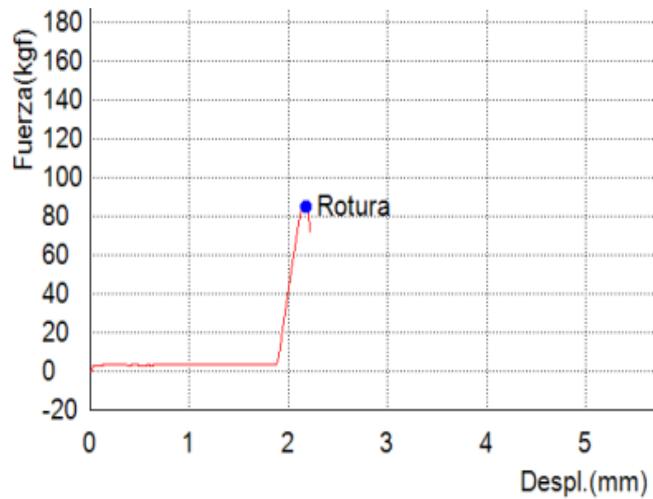
**Anexo 7.8. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 6	86.3	1.6	28.0



Anexo 7.9. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6

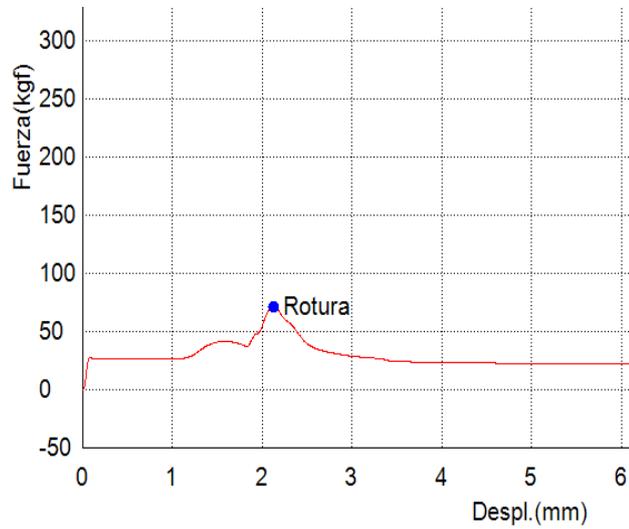
Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 7	85.1	2.2	21.0



Anexo 7.10. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7

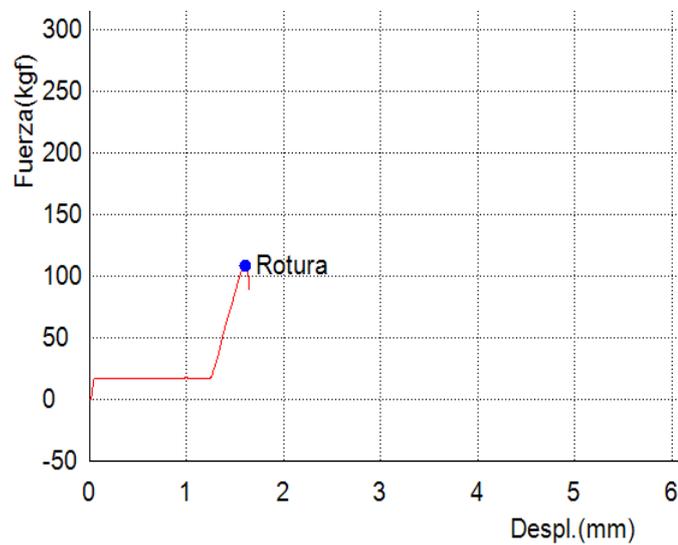
### 7.2.2. Resultados para la roca Argilita – sin inmersión

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	71.1	2.1	72.5



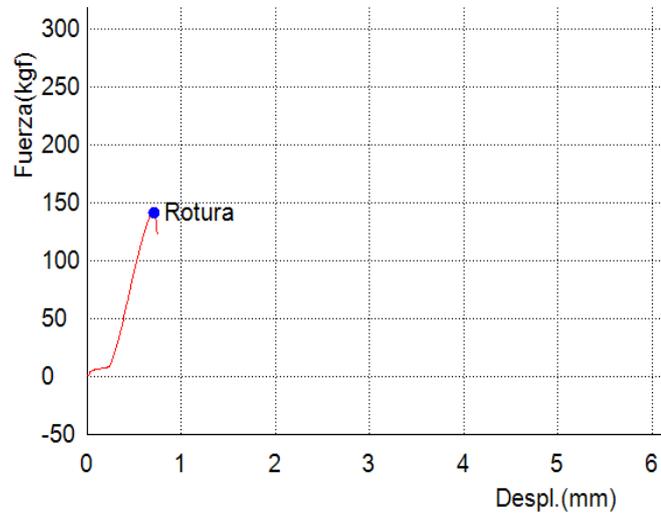
Anexo 7.11. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	107.8	1.6	50.4



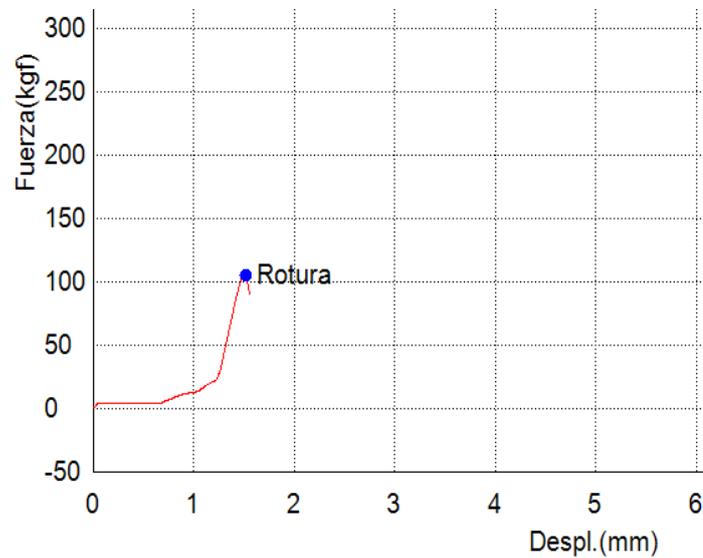
Anexo 7.12. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	141.1	0.7	47.5



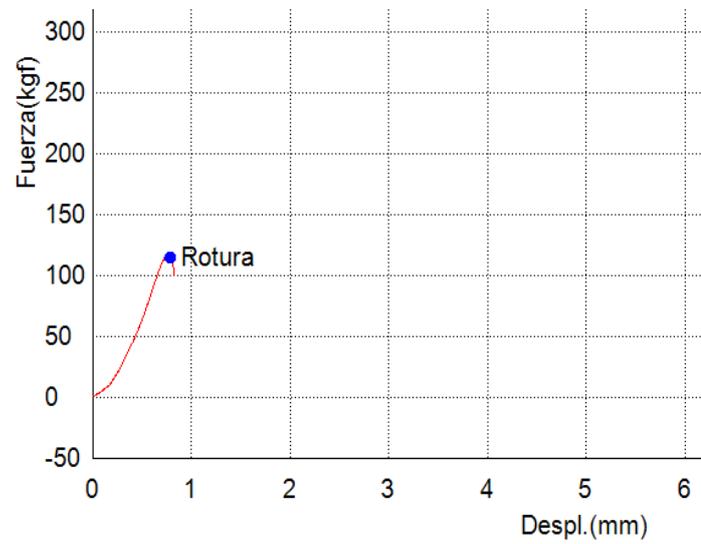
**Anexo 7.13. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 4	104.3	1.5	35.0



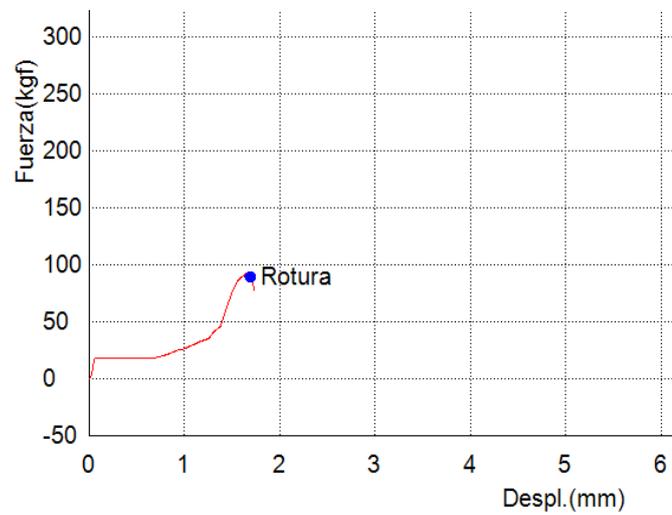
**Anexo 7.14. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 5	114.2	0.8	39.7



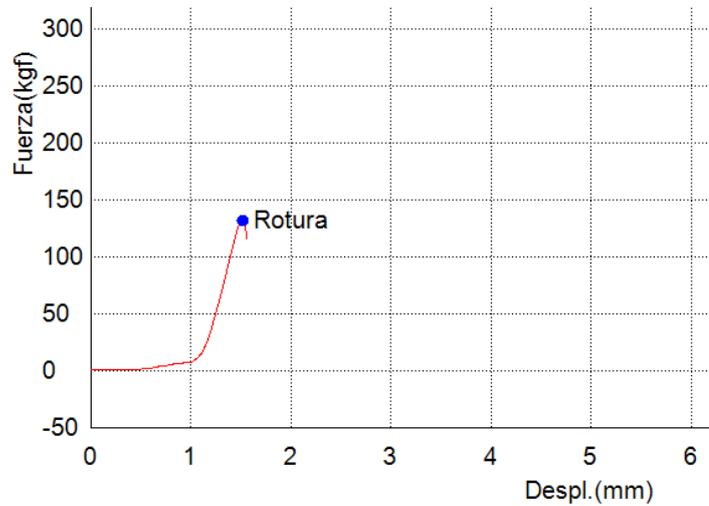
**Anexo 7.15. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 6	88.3	1.7	65.0



**Anexo 7.16. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6**

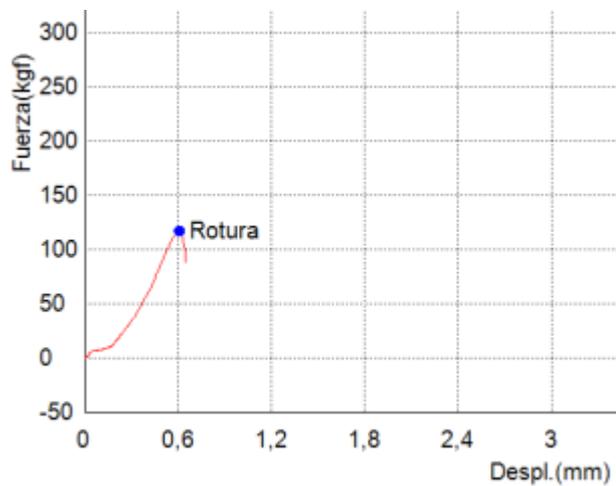
Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 7	131.7	1.5	40.0



Anexo 7.17. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7

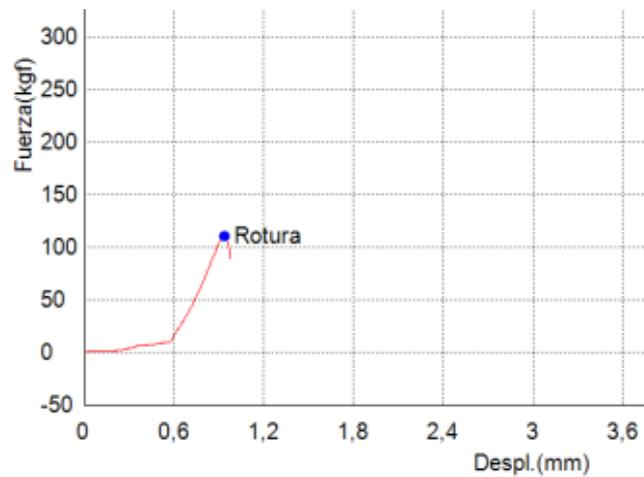
### 7.2.3. Resultados para la roca Granito – sin inmersión

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	116.7	0.6	47.5



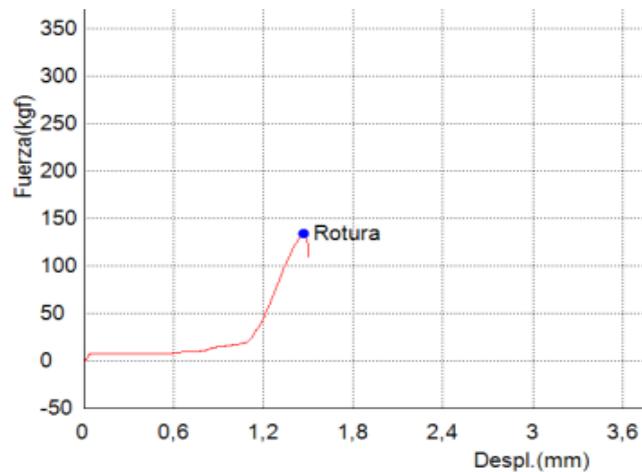
Anexo 7.18. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	110.6	0.9	50.0



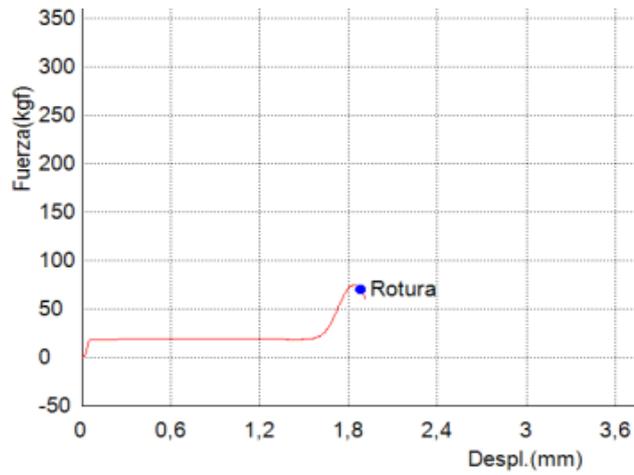
Anexo 7.19. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	133.3	1.5	76.8



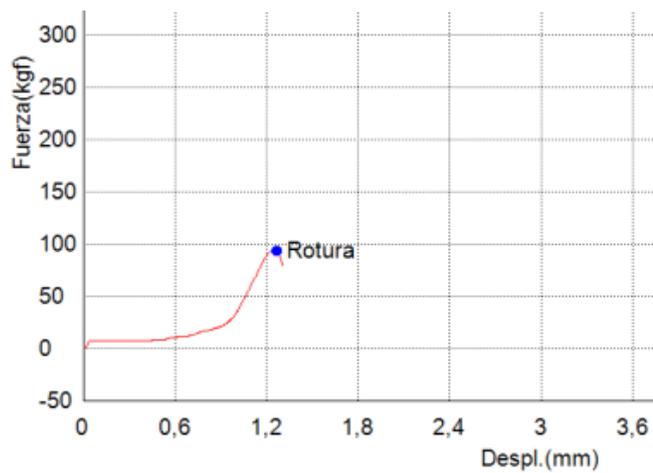
Anexo 7.20. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 4	69.4	1.9	65.0



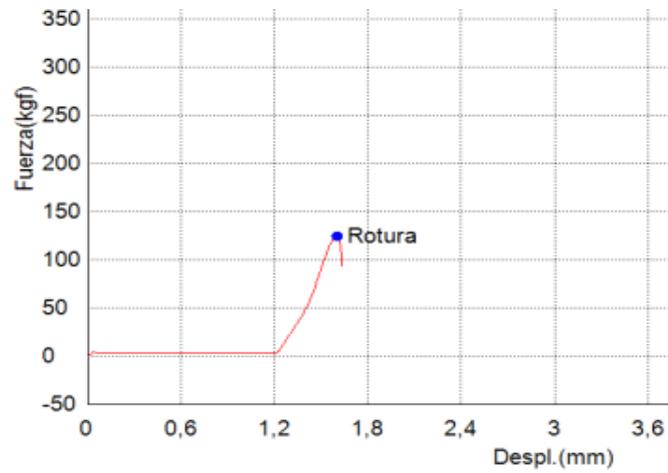
**Anexo 7.21. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 5	93.4	1.3	46.8



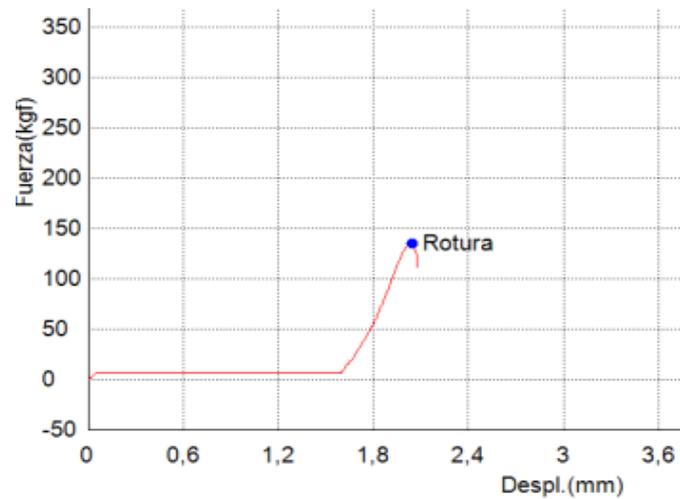
**Anexo 7.22. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 6	124.2	1.6	39.0



Anexo 7.23. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6

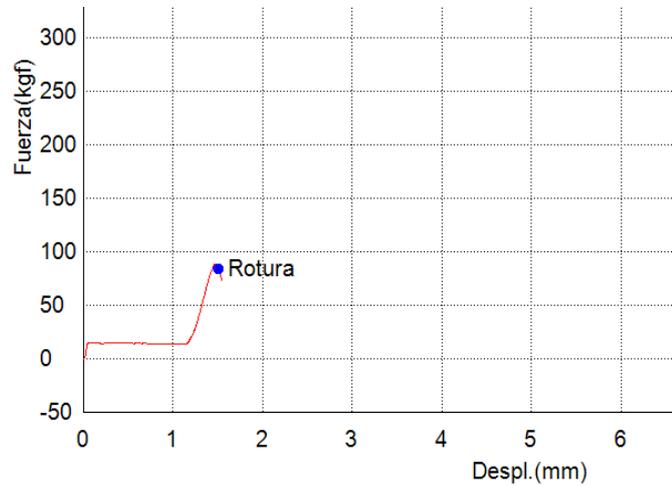
Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 7	134.9	2.0	52.5



Anexo 7.24. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7

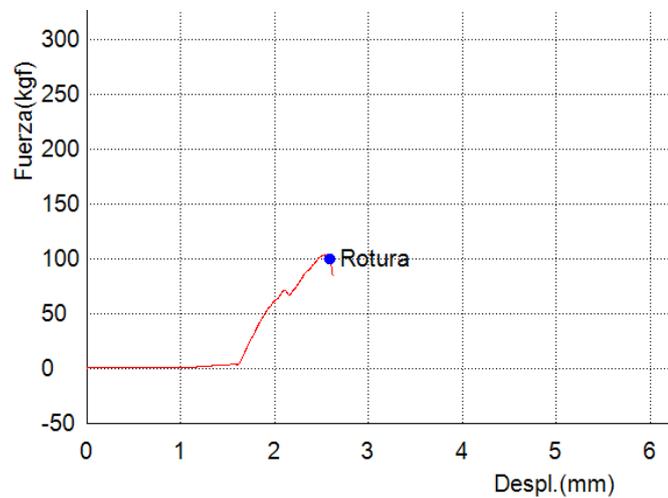
### 7.2.4. Resultados para la roca Andesita – sin inmersión

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	83.4	1.5	34.1



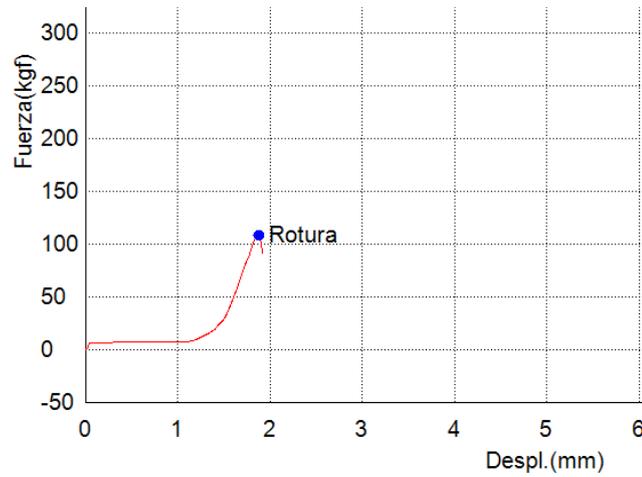
Anexo 7.25. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	99.5	2.6	30.6



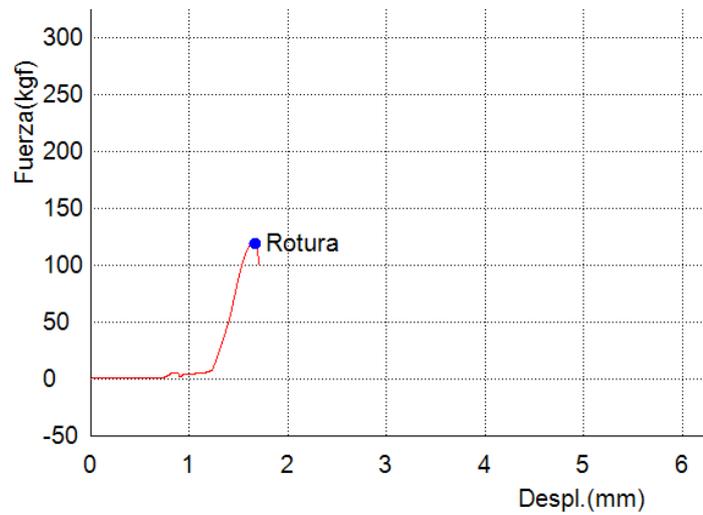
Anexo 7.26. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	107.6	1.9	39.2



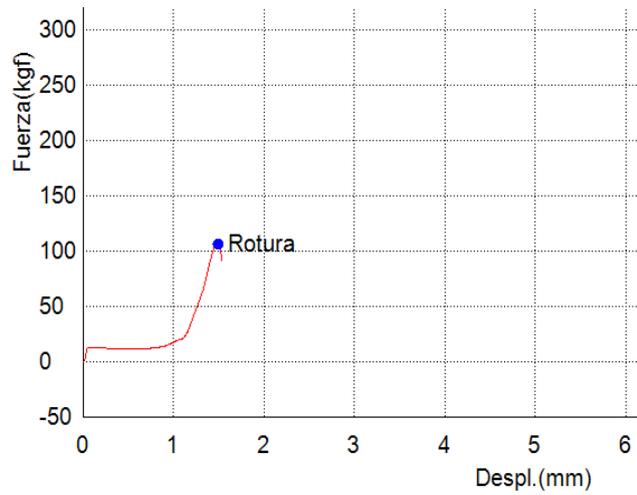
**Anexo 7.27. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 4	118.9	1.7	32.2



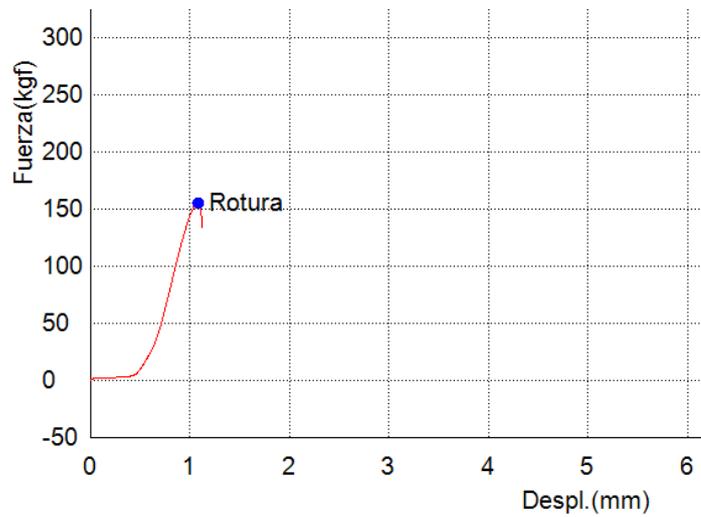
**Anexo 7.28. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 5	106.4	1.5	49.0



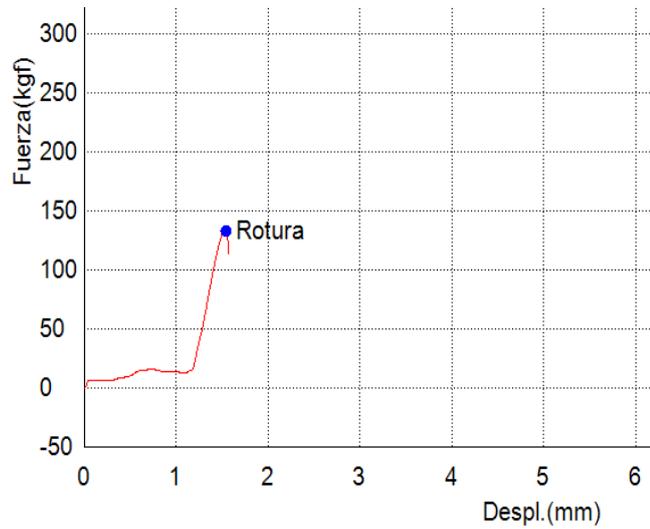
**Anexo 7.29. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 6	154.5	1.1	35.3



**Anexo 7.30. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6**

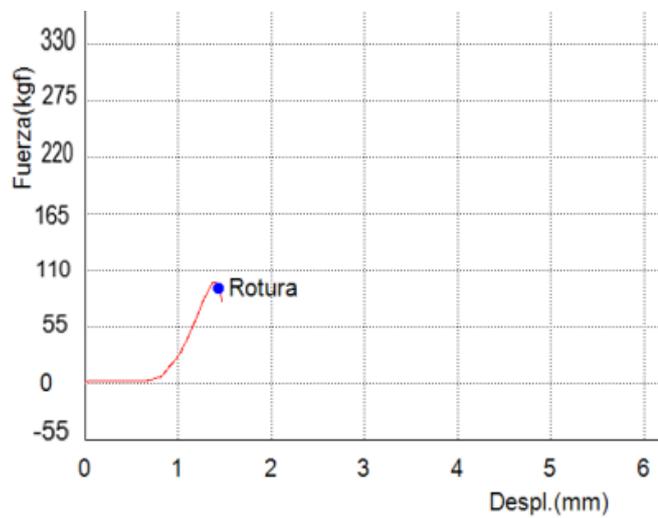
Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 7	132.5	1.5	56.5



Anexo 7.31. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7

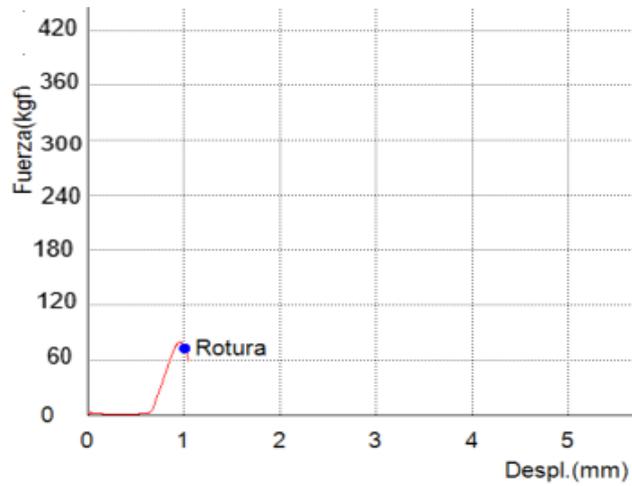
### 7.2.5. Resultados para la roca Pizarra – sin inmersión

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	106.9	1.4	41.0



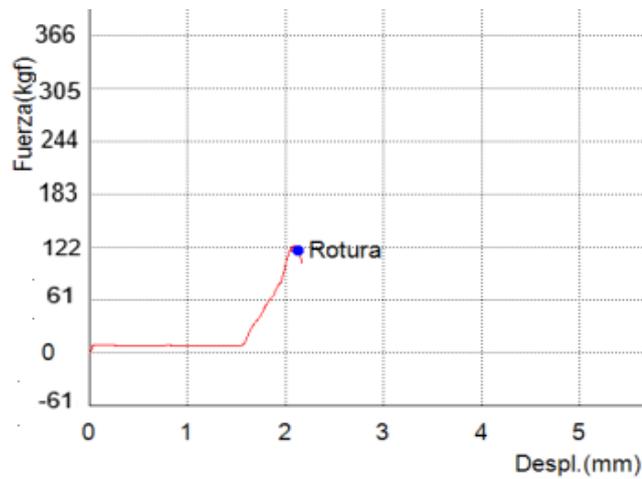
Anexo 7.32. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	76.8	1.0	45.5



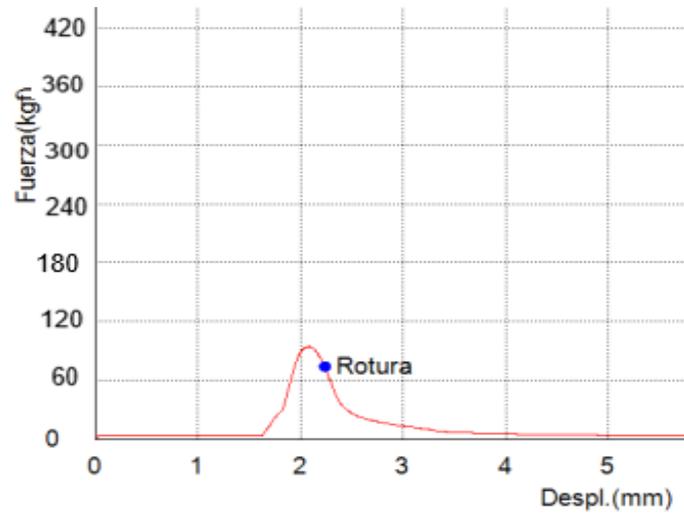
Anexo 7.33. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	122.0	2.1	40.0



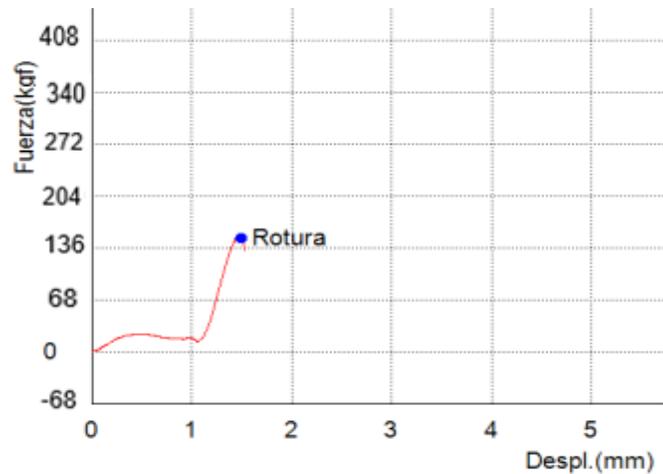
Anexo 7.34. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 4	78.5	2.2	47.0



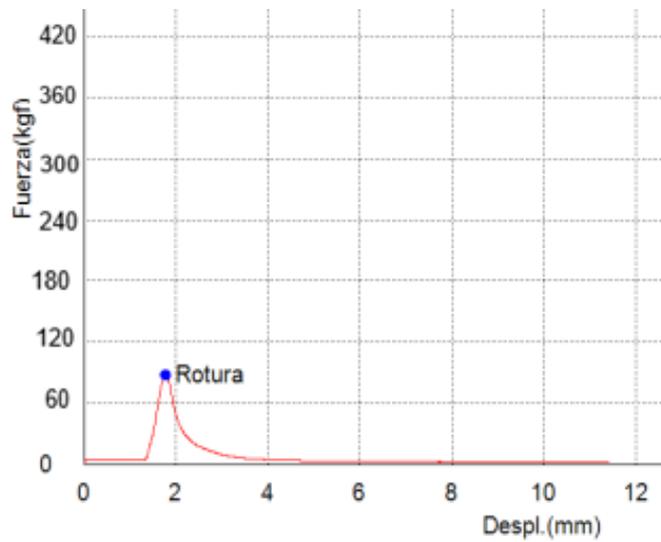
Anexo 7.35. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #4

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 5	138.9	1.5	61.8



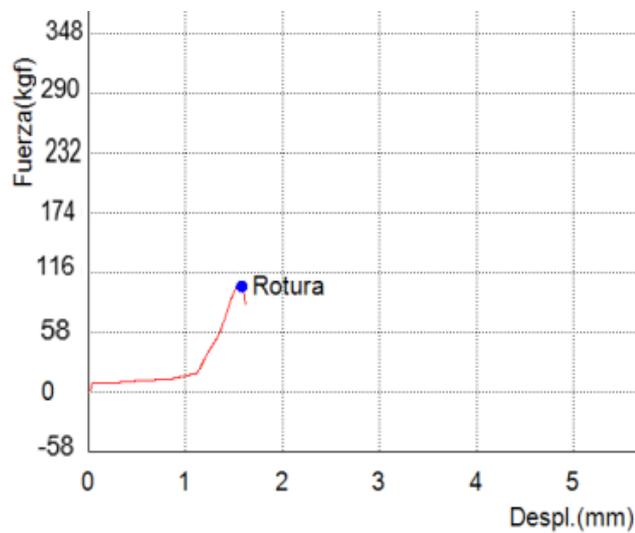
Anexo 7.36. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #5

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 6	93.2	1.8	21.0



**Anexo 7.37. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #6**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 7	111.7	1.6	50.6

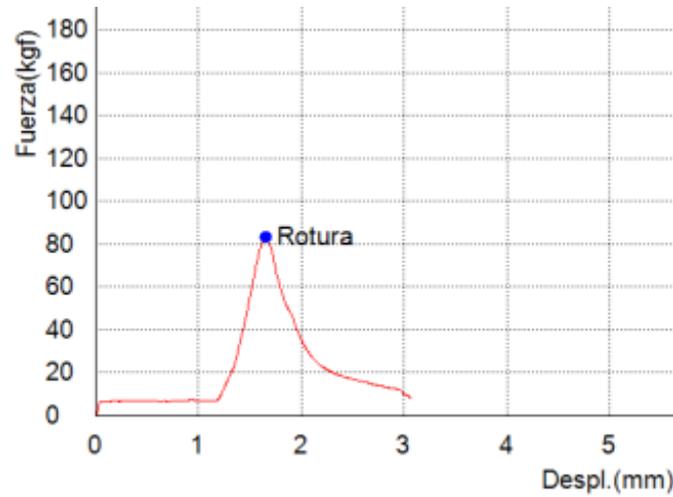


**Anexo 7.38. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #7**

Por último, se muestran desde el anexo 7.39 a 7.53 los resultados de los cinco tipos de roca con inmersión en agua.

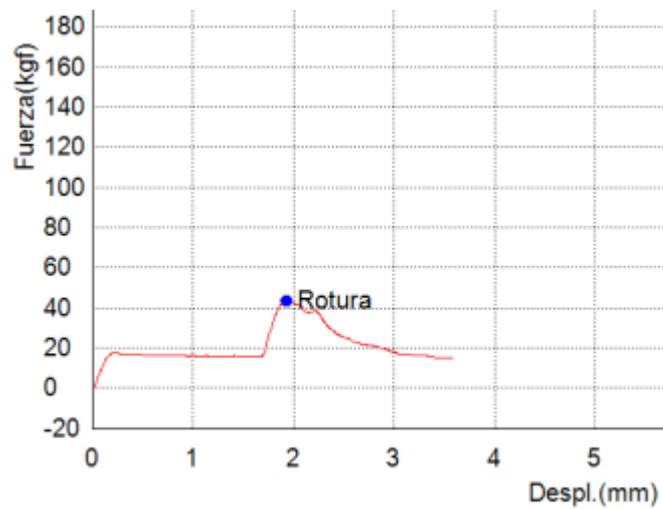
### 7.2.6. Resultados para la roca caliza – con inmersión

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	83.0	1.7	26.7



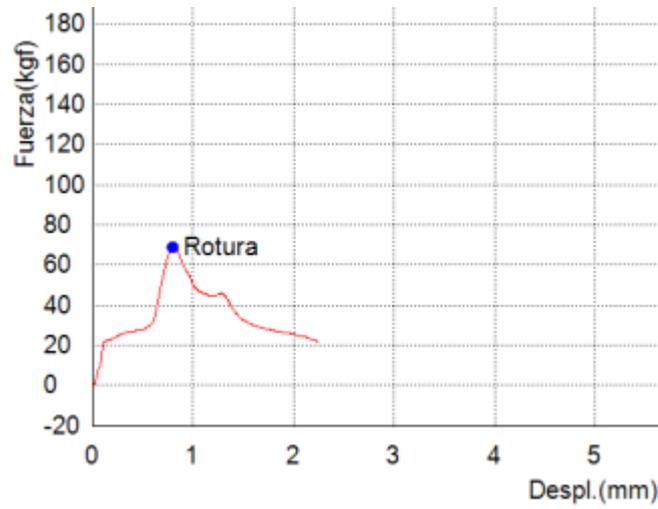
Anexo 7.39. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	43.5	1.9	34.0



Anexo 7.40. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2

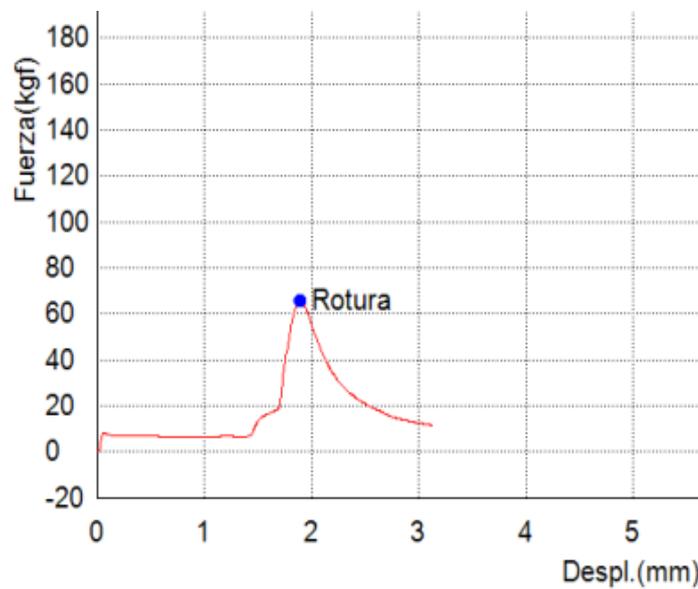
Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	69.0	0.8	24.3



Anexo 7.41. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3

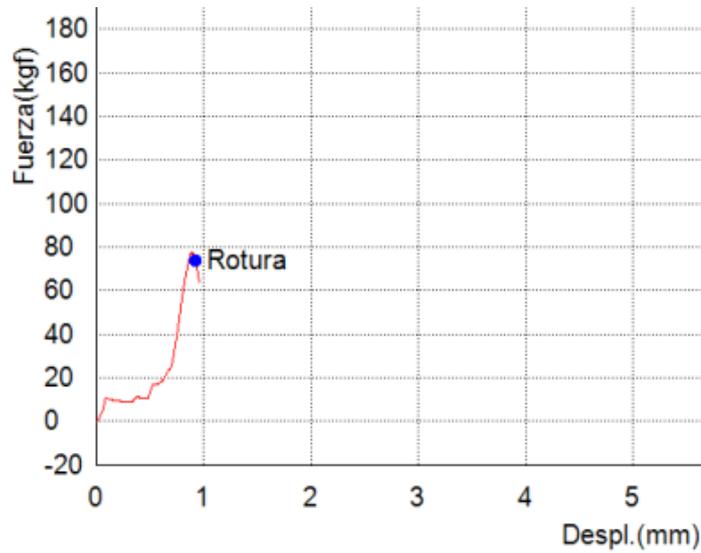
### 7.2.7. Resultados para la roca Argilita – con inmersión

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	65.7	1.9	22.7



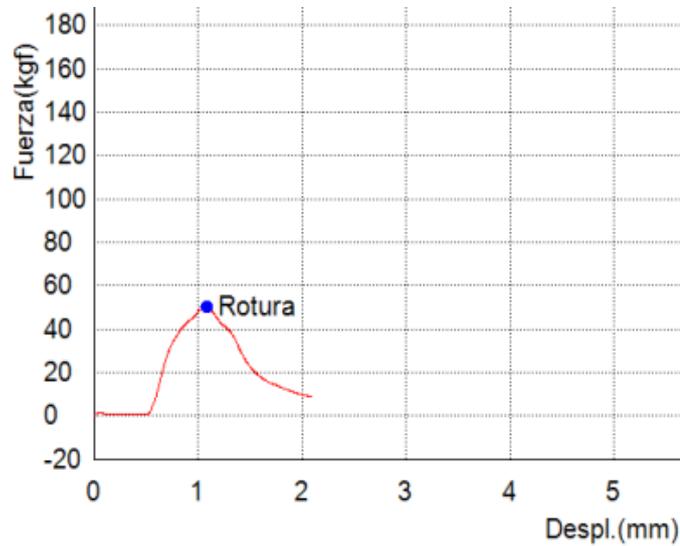
Anexo 7.42. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	73.9	0.9	21.0



Anexo 7.43. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2

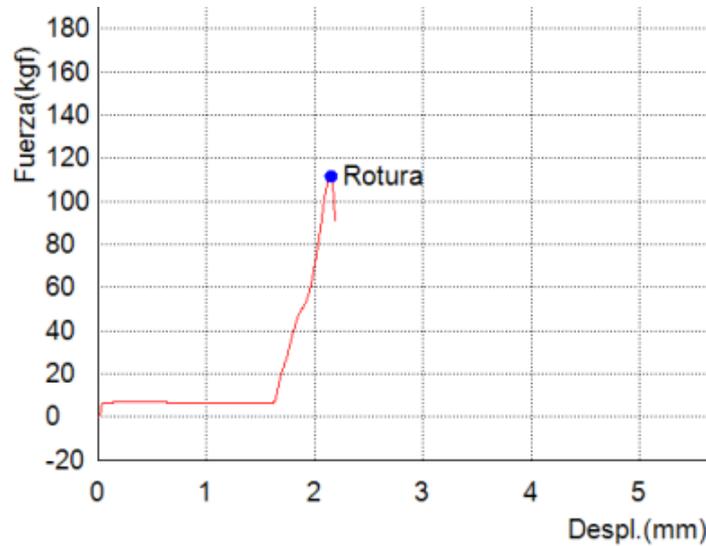
Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	50.0	1.1	18.6



Anexo 7.44. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3

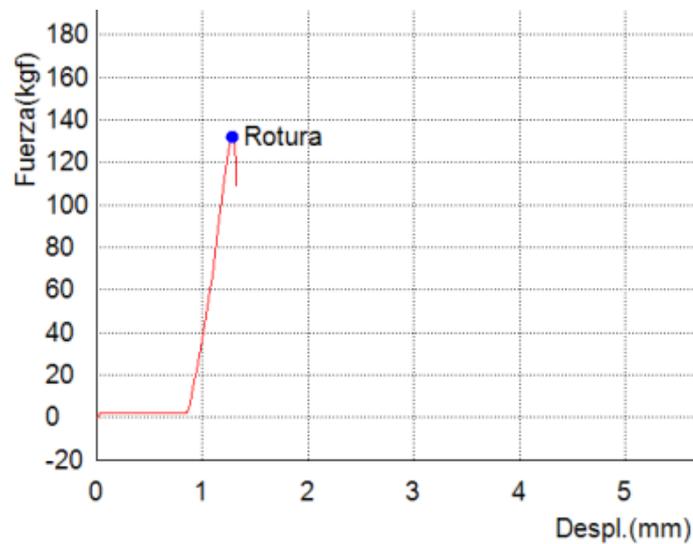
### 7.2.8. Resultados para la roca Granito – con inmersión

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	111.5	2.2	30.4



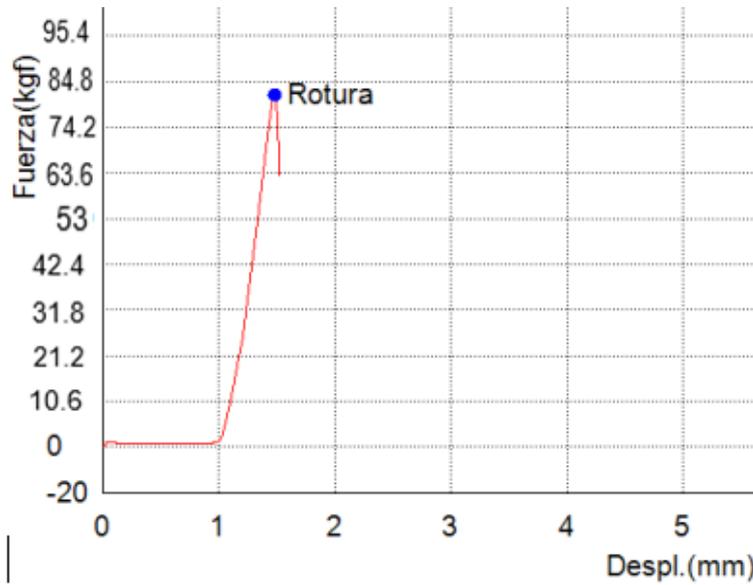
Anexo 7.45. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	132.2	1.3	31.8



Anexo 7.46. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2

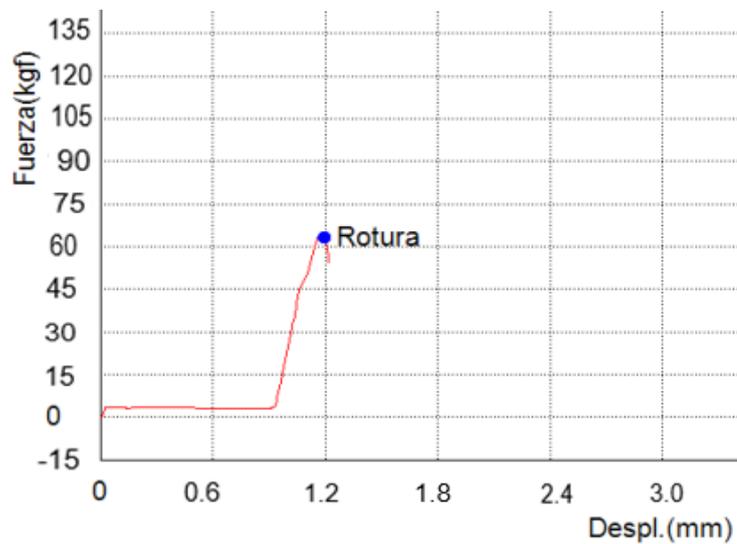
Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	83.6	1.5	18.9



Anexo 7.47. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3

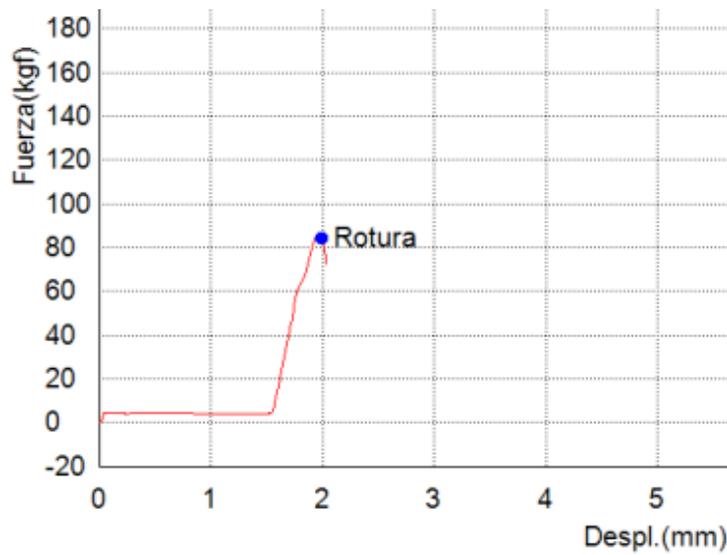
### 7.2.9. Resultados para la roca Andesita – con inmersión

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	67.9	1.2	20.6



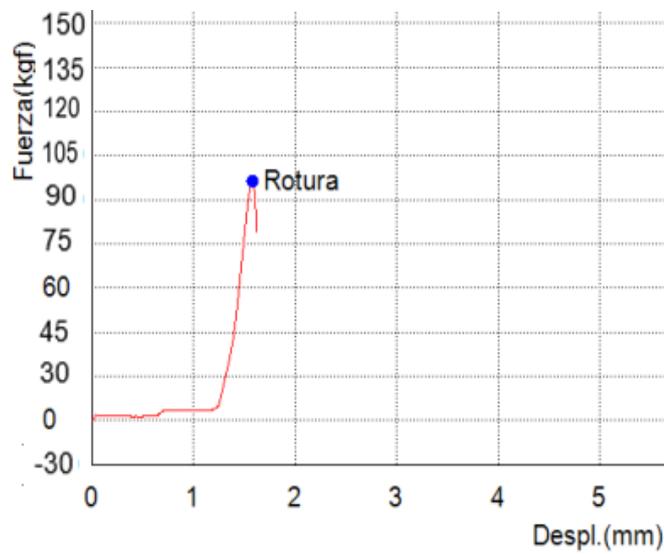
Anexo 7.48. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	84.3	2.0	30.1



Anexo 7.49. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2

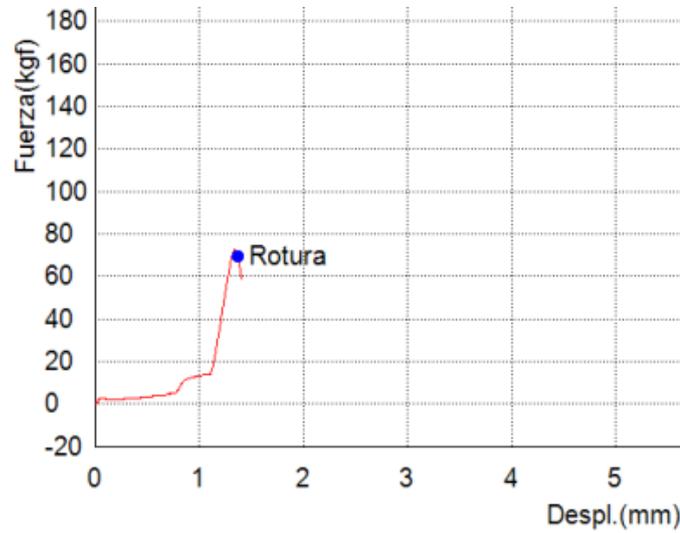
Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	95.7	1.6	26.0



Anexo 7.50. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3

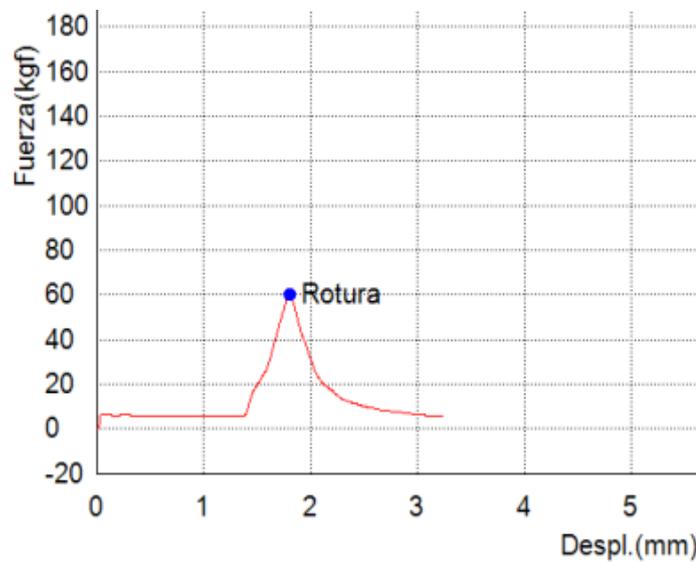
**7.2.10. Resultados para la roca Pizarra – con inmersión**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 1	69.4	1.4	18.7



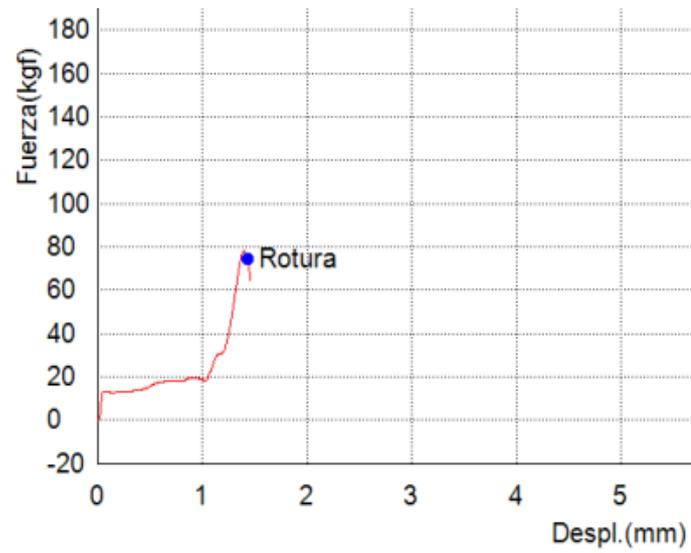
**Anexo 7.51. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #1**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 2	60.0	1.8	24.5



**Anexo 7.52. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #2**

Muestra	Carga (kg)	Desplazamiento (mm)	Energía (kg*mm)
# 3	74.7	1.4	33.5



Anexo 7.53. Gráfica carga vs. desplazamiento de la muestra #3



## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Nosotras, **Gallo Muñoz Nicole Alejandra** y **Sánchez Quezada Adriana Daniela**, con C.C respectivamente: # **0953943867** y # **0950341776** autoras del trabajo de titulación: **“EFECTIVIDAD DE LA PRUEBA CON PISTÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA ASFALTO-AGREGADO”** previo a la obtención del título de **Ingeniería Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos 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.- Autorizamos 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, 27 de febrero de 2020

### **AUTORAS**

f. \_\_\_\_\_  
**Gallo Muñoz Nicole Alejandra**  
C.C: 0953943867

f. \_\_\_\_\_  
**Sánchez Quezada Adriana Daniela**  
C.C: 0950341776



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	"Efectividad de la Prueba con Pistón para la Evaluación de la Adherencia Asfalto-Agregado"		
<b>AUTORAS</b>	Gallo Muñoz Nicole Alejandra Sánchez Quezada Adriana Daniela		
<b>TUTOR</b>	Ing. Vila Romani, Rolando. PhD.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniería Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	27 de febrero de 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	125
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Pavimentos, Asfaltos, Carreteras		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	<i>resistencia al despegue, energía, adherencia, cohesión, inmersión en agua, t de Student.</i>		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>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. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo es valorar experimentalmente la efectividad de la prueba de adherencia con pistón (PAP) con sistema de agarre mejorado, para la evaluación directa de la resistencia al despegue del ligante asfáltico con muestras de cinco tipos de rocas (Caliza, Argilita, Granito, Andesita y Pizarra). El asfalto empleado para este trabajo de investigación fue el AC-20 obtenido de la refinería de Esmeraldas sin aditivar. Las pruebas se realizaron bajo ciertos parámetros como fueron: temperatura de 25 °C, velocidad de deformación de 25 mm/min en la prensa a tracción y un espesor de la película asfáltica de 0.5 mm entre el pistón y la roca, realizándose 7 pruebas en condiciones sin inmersión y 3 pruebas con inmersión en agua para cada tipo de roca. Se concluye que el fallo por cohesión en el método aplicado es representativo en las muestras sin inmersión en agua, mientras que con inmersión el fallo por adherencia se potencia. Las resistencias retenidas mayores corresponden al Granito (97.6%) y la Caliza (83.2%), mientras que las menores a la Pizarra (65.4%) y la Argilita (58.3%). Se comprobó aplicando la distribución "t de Student" que existen diferencias significativas entre emplear las mordazas antiguas y las mejoradas, siendo en general los coeficientes de variación menores con las nuevas mordazas.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTORAS:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-986580847 <b>Teléfono:</b> +593-992670799	E-mail: nicoleg.m@hotmail.com adriana349978@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre: Clara Glas Cevallos</b>		
	<b>Teléfono:</b> +593-984616792		
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			