

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

EMPLEO DE LA PRUEBA DE ADHERENCIA CON PISTÓN EN MUESTRAS
DE ROCAS PROCEDENTES DE SEIS CANTERAS

AUTORES:

Fabre Castillo, Gabriel Eduardo
Rosero Monserrate, Víctor Hugo

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

TUTOR:

Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.

**Guayaquil, Ecuador
20 de septiembre, 2017**



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 **Fabre Castillo Gabriel Eduardo** y **Rosero Monserrate Víctor Hugo**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther. MSc.

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Fabre Castillo, Gabriel Eduardo** y
Rosero Monserrate, Víctor Hugo

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación **Empleo de la Prueba de Adherencia con Pistón en Muestras de Rocas Procedentes de Seis Canteras** previo a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

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

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2017

AUTORES

f. _____

Fabre Castillo, Gabriel Eduardo

f. _____

Rosero Monserrate, Víctor Hugo



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Fabre Castillo, Gabriel Eduardo** y
Rosero Monserrate, Víctor Hugo

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Empleo de la Prueba de Adherencia con Pistón en Muestras de Rocas Procedentes de Seis Canteras**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 del mes de septiembre del año 2017

AUTORES

f. _____

Fabre Castillo, Gabriel Eduardo

f. _____

Rosero Monserrate, Víctor Hugo

Urkund Analysis Result

Analysed Document: EMPLEO DE LA PRUEBA DE ADHERENCIA CON PISTÓN EN MUESTRAS DE ROCAS PROCEDENTES DE SEIS CANTERAS.docx (D30297072)
Submitted: 2017-08-30 19:07:00
Submitted By: iifiuc.ucatolica@cu.ucsg.edu.ec
Significance: 9 %

Sources included in the report:

Danilo Vega.pdf (D22496687)
<http://www.construaprende.com/docs/lab/335-practica-densidad-absorcion-agregados>
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7669/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-191.pdf>
<http://www.e-asphalt.com/espectecnicas/esptecnica.htm>
<http://introgeo.gl.fcen.uba.ar/Introduccion/Tprocasyestrucsedim/TProcyestrucsediment.PDF>
<http://apexperteam.blogspot.com/2016/02/InterfasesDeAdhesion.html>
<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/mecanismo-de-la-reaccion-alkali.html>
<http://libro-pavimentos.blogspot.com/2012/03/cementos-asfalticos.html>
<http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas48.pdf>
<http://www.losadhesivos.com/teorias-adhesion.html>
https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/curso_de_adhesivos.pdf
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-13.pdf?sequence=13>
http://www2.udec.cl/~provia/trabajos_pdf/33VictorRocoResistenciaDeslizamiento.pdf

Instances where selected sources appear:

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado salud y sabiduría para poder culminar esta etapa de estudios. A mis padres que son los pilares fundamentales que me han guiado, y sobre todo me han brindado siempre todo el apoyo que he requerido para poder cumplir esta meta. A mi hermana que es la inspiración de mi esfuerzo diario. Al Ingeniero Rolando Vila por compartir sus valiosos conocimientos y consejos que me permitirán crecer en la vida profesional y el apoyo brindado para poder realizar este trabajo de titulación. Al Ingeniero José Jaramillo por su amistad, orientación y paciencia a lo largo de este trabajo.

Gabriel Fabre

Quiero agradecer primero a Dios por brindarme la salud, sabiduría e iluminación necesaria para poder concluir con esta etapa de estudio. A mis amados padres por todo su apoyo, consejos y valores inculcados en todo el trayecto de mi vida, los cuales me permitieron convertirme en la persona que soy. Al Dr. Rolando Vila por sus enseñanzas, guías y consejos brindados en las aulas de clases y en este proyecto de titulación, ya que con ayuda de sus conocimientos se pudo concluir con mucho éxito este trabajo, apoyo incondicional que será de gran ayuda para mi crecimiento profesional y personal. A mi amigo Ing. José Jaramillo por brindarme su amistad, conocimientos y tiempo necesario para poder desarrollar este proyecto.

Víctor Rosero

DEDICATORIA

A mis padres por darme siempre su amor incondicional y además por ser mis ejemplos a seguir, y demostrarme que con esfuerzo y humildad todo es posible lograr.

Gabriel Fabre

A mis padres y hermanos que son el pilar fundamental en mi vida, los cuales con todo tipo de ayuda hicieron posible que hoy culmine con esta meta profesional, ya que sin su esfuerzo y trabajo esto hubiese sido difícil.

Víctor Rosero



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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

**Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas. MSc.
DIRECTORA DE CARRERA**

f. _____

**Ing. Alexandra Camacho Monar.
DOCENTE DE LA CARRERA**

f. _____

**Ing. Gustavo García Caputi.
OPONENTE**

INDICE

CAPÍTULO I	2
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Razones que motivaron el estudio	3
1.3. Justificación del tema	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Alcance	4
1.6. Metodología	5
CAPÍTULO II	7
2. ADHERENCIA, ANÁLISIS Y OBSERVACIONES	7
2.1 Agregado Mineral.....	7
2.1.1 Generalidades	7
2.1.2 Propiedades del agregado mineral según su origen.....	7
2.1.3 Agregados Minerales para Mezclas Asfálticas: Principales Características Físicas.....	13
2.1.4 Observaciones sobre la Composición Química de los Agregados Pétreos	22
2.1.4.1 Agregados Básicos	22
2.1.4.2 Agregados Ácidos.....	22
2.1.5 Exigencias del Ministerio de Obras Públicas respecto a los Agregados Minerales	23
2.2 Cemento asfáltico	24
2.2.1 Generalidades	24
2.2.2 Características de los Cementos Asfálticos	24

2.2.2.1 Características Físicas.....	24
2.2.3 Calidad del cemento asfáltico en el Ecuador	30
2.3 Propiedades de la Adherencia entre el Cemento Asfáltico y el Agregado Mineral	31
2.3.1 Generalidades	31
2.3.2 Fenómenos Físicos y Químicos de la Adherencia.....	31
2.3.3 Propiedades que influyen en la Adherencia.....	33
2.3.3.2 Propiedades del Cemento Asfáltico	34
2.4 Prueba de pH en Agregados.....	35
2.4.1 Proceso de Medición de pH en Agregados.....	36
CAPÍTULO III.....	38
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	38
3.1. Introducción.....	38
3.2.1. Características de los agregados minerales	39
3.2.2. Característica del cemento asfáltico	42
3.3. Procedimiento y preparación de la prueba de adherencia con pistón....	43
3.4. Alcance del procedimiento y preparación de la prueba de adherencia con pistón para evaluar el daño en agua	49
3.5. Ensayo de tracción en la prueba de adherencia con pistón.....	50
CAPÍTULO IV.....	52
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
4.1. Generalidades.....	52
4.2. Resultados de pruebas sin inmersión	52
4.3. Resultados de pruebas con inmersión	56
4.4. Comparación de resultados con y sin inmersión.....	60
4.5. Tipo de daño presente en las diferentes pruebas	62
4.6. Comparación de las fallas en las muestras sin y con inmersión	66

CAPITULO V.....	68
5. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO EMPLEANDO EL SOFTWARE STATGRAPHICS	68
5.1. Introducción.....	68
5.2. Resumen para roca Andesita.....	68
5.3. Resumen roca Argilita.....	71
5.4. Resumen roca Basalto 1	74
5.5. Resumen roca Basalto 2.....	77
5.6. Resumen roca Caliza.....	80
5.7. Resumen roca Depósitos Aluviales.....	84
5.8. Resumen roca Granito	87
5.9. Resumen roca Lutita	89
5.10. Resumen roca Pizarra	93
CAPITULO VI.....	96
6.1. CONCLUSIONES	96
6.2. RECOMENDACIONES.....	97
ANEXOS	103
ANEXO 1: Clasificación del cemento asfáltico por grado de viscosidad	103
ANEXO 2: Clasificación por grado de desempeño PG	105
ANEXO 3: Caracterización de los agregados minerales.....	111
ANEXO 4: Resultados para la roca Andesita.....	119
ANEXO 5: Resultados para la roca Argilita.....	124
ANEXO 6: Resultados para la roca Basalto 1	129
ANEXO 7: Resultados para la roca Basalto 2.....	133
ANEXO 8: Resultados para la roca Caliza.....	138
ANEXO 9: Resultados para la roca Depósitos Aluviales.....	143
ANEXO 10: Resultados para la roca Granito	147

ANEXO 11: Resultados para la roca Lutita	150
ANEXO 12: Resultados para la roca Pizarra Tobácea.....	154

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

CAPÍTULO 2

FIGURA 2. 1 Cantera Picoazá.....	8
FIGURA 2. 2 Clasificación de agregados minerales.....	8
FIGURA 2. 3 Principales rocas magmáticas	9
FIGURA 2. 4 Rocas sedimentarias.....	10
FIGURA 2. 5 Rocas con textura orientadas con foliación o sin foliación	12
FIGURA 2. 6 Tamaño de agregado.....	13
FIGURA 2. 7 Máquina de prueba de Los Ángeles	14
FIGURA 2. 8 Prueba de solidez de sulfatos (antes y después).....	15
FIGURA 2. 9 Agregados con caras angulosas y fracturadas.....	15
FIGURA 2. 10 Ensayo de angularidad	16
FIGURA 2. 11 Microtextura y macrotextura	16
FIGURA 2. 12 Medición con péndulo de fricción.....	17
FIGURA 2. 13 Método del círculo de arena	18
FIGURA 2. 14 Ensayo equivalente de arena	18
FIGURA 2. 15 Ensayo de peladura	20
FIGURA 2. 16 Ensayo de tracción indirecta.....	20
FIGURA 2. 17 Ensayo de absorción.....	21
FIGURA 2. 18 Viscosímetro Brookfield	25
FIGURA 2. 19 Penetrómetro.....	26
FIGURA 2. 20 Ensayo de ductilidad	26
FIGURA 2. 21 Horno de película delgada (TFOT)	27
FIGURA 2. 22 Falta por adherencia	27
FIGURA 2. 23 Falla por cohesión	28
FIGURA 2. 24 Horno rotatorio de película delgada (RTFOT)	29
FIGURA 2. 25 Viscosidad del asfalto por temperatura.....	29
FIGURA 2. 26 Tipos de adhesión	31
FIGURA 2. 27 Cadenas poliméricas.....	32
FIGURA 2. 28 Porosidad de la superficie de los agregados.....	33
FIGURA 2. 29 Atracción en las moléculas de la superficie	34

FIGURA 2. 30 Viscosidad del agregado	35
FIGURA 2. 31 Tiras de pH	35
FIGURA 2. 32 Medidor de pH digital	36
FIGURA 2. 33 Muestras de agregados	36
FIGURA 2. 34 Muestras de agregados	37

CAPÍTULO 3

FIGURA 3. 1 Barreno de Rocas	44
FIGURA 3. 2 Corte de núcleos de roca	44
FIGURA 3. 3 Lijado de pastillas de roca	45
FIGURA 3. 4 Lavado de pastillas de roca	45
FIGURA 3. 5 Lavado con limpiador ultrasónico	46
FIGURA 3. 6 Secado de pastillas de roca en el horno	46
FIGURA 3. 7 Unión del sistema pastilla de roca - pistón	47
FIGURA 3. 8 Colocado de asfalto en el sistema	47
FIGURA 3. 9 Sistema con asfalto al horno a 135°C	48
FIGURA 3. 10 Sistema en presa mecánica	48
FIGURA 3. 11 Asegurado de sistema pistón – pastilla de roca	49
FIGURA 3. 12 Baño de María en sistema	49
FIGURA 3. 13 Climatización del sistema	50
FIGURA 3. 14 Colocación de acoples en el sistema	50
FIGURA 3. 15 Ensayo de sistema en presa universal	51

CAPÍTULO 4

FIGURA 4. 1 Influencia del porcentaje de absorción en agua en la resistencia retenida	61
---	----

CAPÍTULO 5

FIGURA 5. 1 Gráfica de Histograma roca Andesita	70
FIGURA 5. 2 Gráfica de Cajas y Bigotes roca Andesita	71
FIGURA 5. 3 Gráfica de Cuantiles roca Andesita	71

FIGURA 5. 4 Gráfica de Histograma roca Argilita	73
FIGURA 5. 5 Gráfica de Cajas y Bigotes roca Argilita.....	74
FIGURA 5. 6 Gráfica de Cuantiles roca Argilita.....	74
FIGURA 5. 7 Gráfica de Histograma roca Basalto 1	76
FIGURA 5. 8 Gráfica de cajas y bigotes roca Basalto 1	77
FIGURA 5. 9 Gráfica de Cuantiles roca Basalto 1.....	77
FIGURA 5. 10 Gráfica de Histograma roca Basalto 2	79
FIGURA 5. 11 Gráfica de Cajas y Bigotes roca Basalto 2.....	80
FIGURA 5. 12 Gráfica de Cuantiles roca Basalto 2.....	80
FIGURA 5. 13 Gráfica de Histograma roca Caliza	82
FIGURA 5. 14 Gráfica de Caja y Bigotes roca Caliza	83
FIGURA 5. 15 Gráfica de Cuantiles roca Caliza.....	83
FIGURA 5. 16 Gráfica de Histograma roca Depósitos Aluviales	85
FIGURA 5. 17 Gráfica de Caja y Bigotes roca Depósitos Aluviales	86
FIGURA 5. 18 Gráfica de Cuantiles roca Depósitos Aluviales	86
FIGURA 5. 19 Gráfica de Histograma roca Granito	88
FIGURA 5. 20 Gráfica de Caja y Bigotes roca Granito.....	89
FIGURA 5. 21 Gráfica de Cuantiles roca Granito.....	89
FIGURA 5. 22 Gráfica de Histograma roca Lutita	91
FIGURA 5. 23 Gráfica de Caja y Bigotes roca Lutita.....	92
FIGURA 5. 24 Gráfica de Cuantiles roca Lutita.....	92
FIGURA 5. 25 Gráfica de Histograma roca Pizarra.....	94
FIGURA 5. 26 Gráfica de Caja y Bigotes roca Pizarra	95
FIGURA 5. 27 Gráfica de Cuantiles roca Pizarra	95

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2. 1 Requisitos para la clasificación por viscosidad (60°C) de los cementos asfálticos en el Ecuador.....	30
Tabla 2. 2 Resultados de pH.....	37

CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1 Tipo y procedencia de agregados minerales.....	38
Tabla 3. 2 Características del agregado (Piedra Andesita).....	39
Tabla 3. 3 Características del agregado (Piedra Argilita).....	39
Tabla 3. 4 Características del agregado (Piedra Basalto 1).....	40
Tabla 3. 5 Características del agregado (Piedra Basalto 2).....	40
Tabla 3. 6 Características del agregado (Piedra Caliza).....	40
Tabla 3. 7 Características del agregado (Piedra Depósitos Aluviales).....	41
Tabla 3. 8 Características del agregado (Piedra Granito).....	41
Tabla 3. 9 Características del agregado (Piedra Lutita).....	41
Tabla 3. 10 Características del agregado (Piedra Pizarra Tobácea).....	42
Tabla 3. 11 Característica Cemento asfáltico AC-30.....	42
Tabla 3. 12 Característica Cemento asfáltico PG 64-28.....	43

CAPÍTULO 4

Tabla 4. 1 Resultados de pruebas con la piedra Andesita sin inmersión.....	52
Tabla 4. 2 Resultados de pruebas con la piedra Argilita sin inmersión.....	53

CAPÍTULO 5

Tabla 5. 1 Resumen estadístico para roca Andesita.....	68
Tabla 5. 2 Frecuencias para roca Andesita.....	69
Tabla 5. 3 Resumen estadístico para roca Argilita.....	71
Tabla 5. 4 Frecuencias para roca Argilita.....	72
Tabla 5. 5 Resumen estadístico para roca Basalto 1.....	74
Tabla 5. 6 Frecuencias para roca Basalto 1.....	75
Tabla 5. 7 Resumen estadístico para roca Basalto 2.....	77
Tabla 5. 8 Frecuencias para roca Basalto 2.....	78

Tabla 5. 9 Resumen estadístico para roca Caliza	80
Tabla 5. 10 Frecuencias para roca Caliza	81
Tabla 5. 11 Resumen estadístico para roca Depósitos Aluviales.....	84
Tabla 5. 12 Frecuencias para roca Depósitos Aluviales.....	84
Tabla 5. 13 Resumen estadístico para roca Granito	87
Tabla 5. 14 Frecuencias para roca Granito	87
Tabla 5. 15 Resumen estadístico para roca Lutita	90
Tabla 5. 16 Frecuencias para roca Lutita	90
Tabla 5. 17 Resumen estadístico para roca Pizarra.....	93
Tabla 5. 18 Frecuencias para roca Pizarra	93

RESUMEN

En el presente trabajo se aplica un procedimiento experimental para evaluar la adherencia entre el agregado mineral y el cemento asfáltico, que constituye uno de los aspectos clave para el buen comportamiento de la mezcla asfáltica en un pavimento, principalmente en época de lluvias.

Este procedimiento que ha sido ajustado en el Laboratorio de Carreteras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, consiste en aplicar una fuerza de tracción a un sistema conformado entre una pastilla de roca y un pistón metálico de dimensión estándar unidos por una capa de asfalto con espesor de 0.5mm.

El mismo se aplicó en rocas procedentes de diferentes canteras del país, bajo condiciones con y sin inmersión en agua. Luego de preparar las muestras y realizar los ensayos en la prensa universal, los resultados son examinados en el programa estadístico Statgraphics Centurion XV, 2006, con cuyos resultados se definen las condiciones de ensayo óptimas, las cuales fueron: temperatura a 25°C, razón de deformación de 25mm/min y espesor de película de asfalto de 500 μm .

Con las condiciones determinadas se realizaron nuevos ensayos a 7 muestras de cada roca con el objetivo de evaluar estadísticamente la variabilidad entre ellos. Los resultados mantuvieron la tendencia de una mayor resistencia al despegue por parte de la roca basáltica a pesar de la aparente mejor adherencia de la roca caliza con el asfalto.

Palabras claves: adherencia, cemento asfáltico, agregado mineral, ensayo de tracción, diseño experimental

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El comportamiento de las mezclas asfálticas está relacionado con las propiedades del agregado mineral y del cemento asfáltico, así como la interacción entre ambos. En el Ecuador para realizar los controles de calidad de mezclas elaboradas en planta, se utiliza los criterios del método de diseño Marshall (Asphalt Institute, 1997), indicados en las especificaciones técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). A pesar de realizar estos controles de calidad, se observa en las diferentes carreteras del país un gran deterioro a los pocos años de su construcción, presentándose mayormente agrietamientos o desprendimientos del agregado mineral.

Para el estudio de la adherencia entre el agregado mineral y cemento asfáltico, se realizan ensayos que están enfocados a analizar las mezclas asfálticas ya fabricadas en su interacción con el agua, lo cual conlleva cierto grado de incertidumbre, debido a que el estudio de la adherencia debería partir en primera instancia de la interacción directa del agregado con el cemento asfáltico. En la actualidad no existe en el Ecuador un ensayo para evaluar la adherencia de manera directa entre el agregado mineral y el cemento asfáltico, por lo que el presente trabajo de titulación busca implementar un ensayo que permita analizar de forma adecuada y simple esta propiedad.

Para ello se ha dado continuidad a una línea de investigación que se desarrolla en el Laboratorio de Carreteras (Suelos y Asfalto) de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), donde han existido estudios precedentes relacionados con pruebas de cortante y tracción directa sobre “pastillas” de rocas pegadas con asfalto bajo diferentes condiciones.

1.2. Razones que motivaron el estudio

El desarrollo vial es un factor importante para el crecimiento de la sociedad, por tal motivo se debe poner mucha atención en los diseños y procesos constructivos de las distintas carreteras.

En los últimos años se ha podido observar el crecimiento generado en el desarrollo de nuevas carreteras en el país producto de las grandes inversiones económicas realizadas. Sin embargo, se puede notar que, a los pocos años de su construcción, presentan deterioros que, si bien están asociados con los procesos de diseño y construcción, se aceleran en la época de lluvias.

Por tal motivo es importante considerar un análisis sobre el desempeño de las mezclas asfálticas en el pavimento bajo la acción del agua.

1.3. Justificación del tema

El acelerado deterioro que presentan diversas mezclas asfálticas en los pavimentos, plantea la necesidad de promover constantes investigaciones que permitan entender las diversas propiedades que intervienen en el sistema agregado mineral - cemento asfáltico, así como factores externos que puedan perjudicar el comportamiento de dichas mezclas.

El constante crecimiento de las obras viales en el mundo junto con el desarrollo tecnológico, hacen necesario promover nuevas investigaciones que ayuden a evaluar los diferentes factores que perjudican la calidad de las carreteras, dentro de los cuales se puede encontrar la adherencia entre el cemento asfáltico y el agregado mineral.

La incidencia de la adherencia en el sistema agregado mineral – ligante asfáltico resulta fundamental en las mezclas asfálticas, debido a que una insuficiencia en esta propiedad puede ocasionar una menor durabilidad de las carreteras.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la resistencia a la ligadura del sistema ligante asfáltico - agregado mineral empleado la prueba de adherencia con pistón (PAP), en muestras procedentes de núcleos de rocas correspondientes a seis canteras: tres de la región Costa y tres de la región Sierra.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Estudiar las características y propiedades de los tipos de rocas que se van a utilizar y del cemento asfáltico producido en la Refinería de Esmeraldas.
- Preparar las muestras mediante el barrenado y corte de las rocas previamente traídas de las canteras.
- Aplicar el procedimiento de ensayo PAP a muestras con y sin inmersión en agua para evaluar su efecto.

1.5. Alcance

El presente trabajo aplicará un procedimiento en fase de desarrollo denominado "prueba de adherencia con pistón" concebida en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG, que permitirá evaluar la adherencia del sistema ligante asfáltico - agregado mineral.

Para la ejecución propiamente de los ensayos se prepara una pequeña muestra cilíndrica de roca de diámetro de 5 cm y altura entre 2 y 3 cm que se pega a un pistón de acero diseñado bajo ciertas condiciones y que permite el contacto con la piedra con un espesor de película asfáltica de 0,5 mm, luego este sistema es sometido a una prueba de tracción directa. Así se puede comparar la potencial

variabilidad de la resistencia a tracción en rocas con diferentes constituciones mineralógicas y determinar las que ofrecen un mejor comportamiento. La información obtenida permitirá realizar recomendaciones sobre este tema.

1.6. Metodología

El presente trabajo de titulación presenta una parte teórica y otra experimental, donde se pretende determinar la resistencia a la ligadura entre pastillas de rocas correspondientes a nueve canteras unidas con un pistón de medidas estándar de acero por medio de una capa de ligadura asfáltica.

El trabajo de titulación está compuesto por cuatro etapas, las cuales se mencionan a continuación:

1. Marco teórico.
2. Caracterización de materiales a utilizar
3. Desarrollo experimental.
4. Análisis de resultados.

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

- Marco teórico:
 - Estudio bibliográfico.
- Caracterización de materiales a utilizar:
 - Clasificación del cemento asfáltico.
 - Caracterización de los agregados de las nueve canteras a utilizar.
- Desarrollo experimental:
 - Realizar cortes a los núcleos, que permita obtener pastillas de 2.5cm a 3.0 cm de espesor.
 - Preparación del sistema a ensayar correspondiente entre las pastillas, pistón y cemento asfáltico.
 - Pruebas de tracción a los diferentes agregados, en condiciones sin y con inmersión.
- Análisis de resultados:
 - Comparación de los resultados obtenidos entre los diferentes agregados, y el daño en agua.

- Conclusiones.
- Recomendaciones.

CAPÍTULO II

2. ADHERENCIA, ANÁLISIS Y OBSERVACIONES

2.1 Agregado Mineral

2.1.1 Generalidades

Los suelos y por consiguiente los agregados, son formaciones descendientes de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, que sufren descomposiciones físicas y/o químicas para adoptar variadas formas y calidades. Teniendo diferentes tipos de agregados se pueden determinar de acuerdo a la procedencia como: agregados naturales, agregados de trituración.

Los agregados pétreos han de ser afines con los ligantes asfálticos que vayan a ser empleados, y en casos de problemas de afinidad, será necesario el uso de aditivos, para garantizar el buen comportamiento de las mezclas asfálticas. Los agregados incluyen grava, piedra triturada, arena y polvo mineral.

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

2.1.2 Propiedades del agregado mineral según su origen

Las propiedades del agregado mineral dependerán de su fuente de origen, bien sea esta cantera o yacimiento, o banco. En la Figura 2.1 se puede observar los agregados obtenidos de la cantera Picoazá.



FIGURA 2. 1 Cantera Picoazá

FUENTE: AUTOR

Se los puede clasificar en los siguientes tipos:

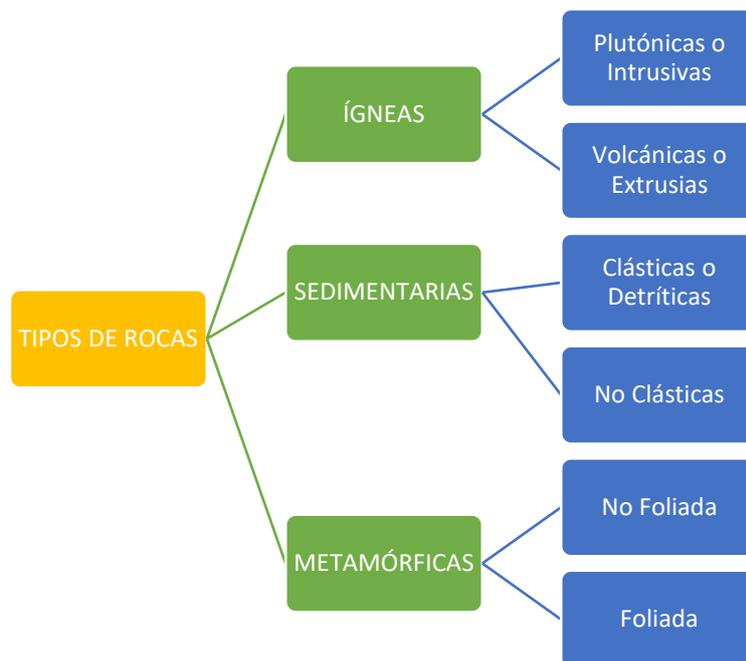


FIGURA 2. 2 Clasificación de agregados minerales

FUENTE: AUTOR

Rocas Ígneas o magmáticas. - Son formadas una vez que el magma se enfría y solidifica, puede ser de dos tipos que se muestra en la Figura 2.3. La mayoría de rocas ígneas se crean bajo la superficie de la corteza terrestre. (López, 2012)

LAS ROCAS MAGMÁTICAS

Principales rocas magmáticas				
	Granito	Pegmatita	Sienita	Gabro
Rocas plutónicas	 Cristales pequeños de cuarzo, feldespato y mica	 Cristales grandes de cuarzo, feldespato y mica. Color anaranjado	 Cristales pequeños de feldespato (ortosa) y mica. Color rosado	 Cristales pequeños de feldespato, mica negra y otros minerales oscuros
	Escoria volcánica	Pumita (piedra pómez)	Obsidiana	Basalto
Rocas volcánicas	 Aspecto áspero. Con poros por las burbujas de gas. Colores variados	 Muy esponjosa, puede flotar. Colores variados (claros)	 Aspecto de vidrio, con bordes cortantes al fracturarse. Color negro	 Puede tener algunos agujeros, densidad elevada y color negro

FIGURA 2. 3 Principales rocas magmáticas

FUENTE: (Hernandez, 2012)

- **Rocas Plutónicas o Intrusivas.** – Son desarrolladas en grandes masas dentro de la corteza terrestre. Una vez que el magma está rodeado de rocas existentes, se va enfriando y da paso a la formación de mega cristales, por lo que se los puede denominar como rocas de grano grueso, este es el caso del granito, la diorita, la roilita, el gabro y el pórfido.
- **Rocas Volcánicas o Extrusivas.** - Luego de una erupción volcánica, la lava se enfría sobre la superficie de la corteza terrestre dando paso a la formación de este tipo de rocas, debido a que el enfriamiento de la lava es rápido comparado con el enfriamiento de las rocas plutónicas o intrusivas, los iones de los minerales no se organizan en mega cristales y toman una forma afanítica o vítrea como es el caso de la obsidiana, la piedra pómez, la andesita y la escoria.

El carácter ácido de estas rocas lo confiere el contenido de cuarzo. Cuando una roca contiene más del 60% de SiO₂ tiene carácter ácido, y entre sus minerales además de los silicatos, debe de haber cuarzo, como es el caso de los granitos. Cuando el contenido de SiO₂ es menor del 60% o existe cuarzo, es el caso de los basaltos. (Escobar, 2010)

Rocas Sedimentarias. – Se forman en la superficie de la corteza terrestre mediante procesos exógenos, este tipo de rocas pueden existir hasta una profundidad de 10.000 metros (Pasotti); pudiendo encontrarse sueltas o consolidadas.(Figura 2.4)

<p>Rocas sedimentarias</p> 	<p>Conglomerado Roca sedimentaria detrítica</p> 	<p>Arenisca Roca sedimentaria detrítica</p> 
<p>Arcilla Roca sedimentaria detrítica</p> 	<p>Caliza Roca sedimentaria química</p> 	<p>Yeso Roca sedimentaria química</p> 

FIGURA 2. 4 Rocas sedimentarias

FUENTE: (Mijas, 2016)

Se las puede dividir en:

- **Rocas Clásticas o Detríticas.**- Se originan por sedimentos solidos de mayor antigüedad, se componen por lutitas (limolita, lutita, lodolita), areniscas (arenitas, calcita) y conglomerados (gravas).
- **No Clásticas.**- Se derivan de la deposición de otras rocas, la forma más sencilla de clasificarlas es por su composición química o mineralógica.

QUÍMICAS.- Desarrolladas por procesos inorgánicos, se encuentran calizas, dolomías, evaporitas, ftanitas, fosforitas. (Barredo, 2012)

ORGANÓGENAS. - Compuestas por la acumulación de restos duros de organismos animales o vegetales, subdividiéndose en calcáreas, silíceas, fosfáticas y carbonosas.

Los procesos exógenos dan lugar a la redistribución y a la reorganización de los materiales terrestres, los principales procesos exógenos son: meteorización, erosión, transporte, depositario y diagénesis. (Barredo, 2012)

Rocas Metamórficas. - Las rocas metamórficas han permanecido esencialmente sólidas durante los procesos de formación y reconstrucción química, a los que deben su mineralogía y estructuras actuales. (Figura 2.5) Algunas reacciones químicas y mecánicas desarrolladas han tenido lugar con la intervención de fluidos contenidos en poros o fracturas de las rocas. Es el cambio de una clase coherente de roca por medios como, temperatura, presión y fluidos químicamente activos. La elevación de la temperatura puede ser ocasionada por la inyección del magma o por un aumento en la velocidad del flujo calórico, la presión se presenta en consecuencia del aumento de profundidad de enterramiento de la roca producida por la presión de carga. El fluido químicamente activo actúa como catalizador de las reacciones en solido de las rocas, entre los fluidos más comunes se encuentra el agua, dióxido de carbono, boro y cloro. (Pasotti)



FIGURA 2. 5 Rocas con textura orientadas con foliación o sin foliación

FUENTE: (Garcia, 2015)

Se dividen en los siguientes tipos:

- **Rocas No Foliadas.** - Se producen como resultado de un metamorfismo regional o de contacto, en el que con frecuencia su evidencia del metamorfismo es la existencia de cristales grandes resultantes de la recristalización. Las rocas metamórficas no foliadas más comunes son el mármol, la cuarcita y la anfibolita. (Carenas, Giner, González, & Pozo, 2014)
- **Rocas Foliadas.** - Las rocas metamórficas foliadas son el resultado de la presión ejercida sobre la roca, dando lugar a la agregación de minerales en orientación laminar. Se pueden catalogar por el tamaño de grano o el refinamiento de su foliación por su pizarrosidad, esquistosidad y bandeado gnéisco.

Pizarra. - Presentan pizarrosidad y grano muy fino, producida por un metamorfismo débil de lutitas.

Esquisto. - Producida por granos aplastados relativamente grandes, presenta desde granos medios a gruesos.

Esta foliación difiere de las pizarras, principalmente por el tamaño de los cristales, se rompen fácilmente siguiendo los

planos de clivaje; su composición es variada encontrándose cantidades significativas de cuarzo, feldespato, anfíbol, etcétera, lo cual da lugar a subdivisiones de esquistos tales como: clorito-esquitoso, mica-esquitosa, anfibole-esquitosa, etcétera. (Aguilar, 2002)

2.1.3 Agregados Minerales para Mezclas Asfálticas: Principales Características Físicas.

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

Tamaño. - En términos generales, en un ensayo de granulometría por cribado o tamizado, las partículas con diámetro entre 2mm y 6.4cm son reconocidas como gravas. Aquellas con diámetro entre 0.075 y 2mm son conocidas como arenas gruesas y arenas finas; y las que son de diámetro inferior a 0.075mm son reconocidas como arcilla. (Figura 2.6)

Estas últimas pueden adquirir la denominación de *filler* o *llenante mineral* si no experimentan plasticidad en contacto con el agua (índice de plasticidad, IP=0). (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

Para conformar mezclas asfálticas los agregados combinados deben poseer una granulometría adecuada y requisitos mínimos de calidad.

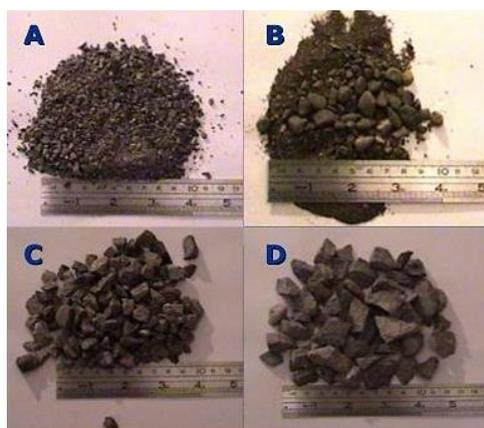


FIGURA 2. 6 Tamaño de agregado

FUENTE: (DUOC, 2013)

Dureza. - Es la capacidad de un material para desgastarse por el rozamiento de las partículas, siendo importante que los agregados soporten la abrasión y degradación durante su tiempo de servicio.

La Resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles (AASHTO T96) se puede ver en la Figura 2.7. Ensayo utilizando esta teoría para medir la resistencia a la abrasión o desgaste por fricción entre partículas. Sin embargo, la realidad es que el ensayo solo presenta una resistencia a la fracturación entre partículas por impacto ya que, durante la prueba, agregados pétreos gruesos de hasta 37.5mm (gravas) son impactadas dentro de un cilindro metálico por esferas de acero de diámetro aproximado 46.8mm y una masa comprendida entre 390g y 445g, las cuales lo fracturan. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)



FIGURA 2. 7 Máquina de prueba de Los Ángeles

FUENTE: AUTOR

Pérdida en ensayo de solidez frente a la acción de las soluciones de sulfato de magnesio (AASHTO T104). Ensayo que busca evaluar la resistencia del agregado pétreo a desintegrarse cuando, dentro de sus poros, el agua se expande por congelamiento. En teoría es un ensayo que busca evaluar la resistencia de agregado pétreo al intemperismo (Figura 2.8). En el ensayo, una muestra del agregado pétreo se sumerge en sulfato de magnesio para luego ser secada en el horno; en esta etapa del ensayo la sal dentro de los poros del agregado se deshidrata, en una etapa posterior se vuelve a sumergir la muestra, hidratándose nuevamente la sal dentro de los poros del agregado. La fuerza interna de expansión dentro de los poros que genera este proceso de

rehidratación de la sal genera desintegración de la muestra. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

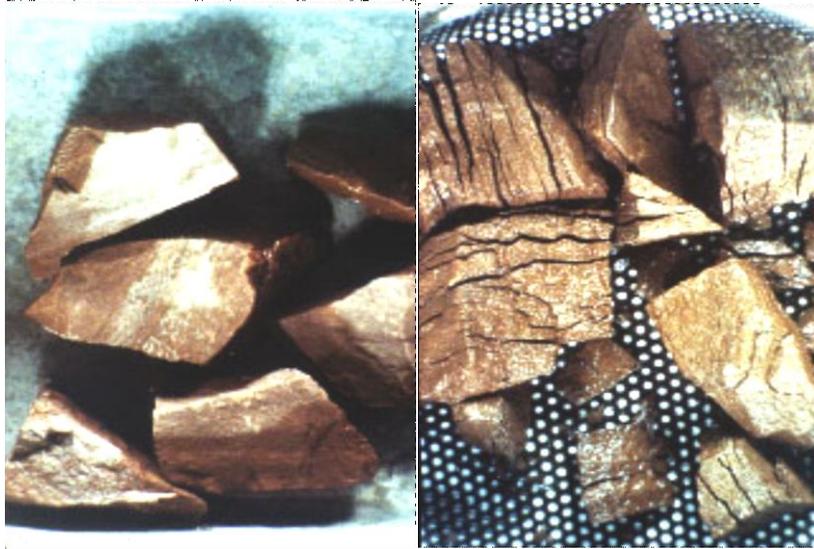


FIGURA 2. 8 Prueba de solidez de sulfatos (antes y después)

FUENTE: AUTOR

Forma. - Los agregados pueden presentar diversas formas y ángulos que pueden interferir en el pavimento, podemos evaluar la forma del agregado con los siguientes ensayos:

- Caras fracturadas a una y dos caras (ASTM D 5821). Ensayo visual que consiste en medir el número o la masa de partículas de agregado pétreo grueso, entre 9.5 y 90mm de diámetro, que presentan caras fracturadas dentro de una muestra significativa. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015). Ver Figura 2.9



FIGURA 2. 9 Agregados con caras angulosas y fracturadas

FUENTE: (Vila, 2016)

- Partículas planas y alargadas (ASTM D 4791). Con este ensayo se determina el porcentaje de partículas alargadas o partículas planas dentro de una muestra. (Figura 2.10)
- Angularidad (ASTM C 1252). Este ensayo sirve para asegurar un agregado angularo con alto grado de fricción interna entre partículas.



FIGURA 2. 10 Ensayo de angularidad

FUENTE: (Interactive, 2012)

Textura Superficial. - las características de resistencia al deslizamiento, se los puede definir considerando que la adherencia superficial está determinada por dos tipos de condiciones: micro-textura y macro-textura. Ver Figura 2.11

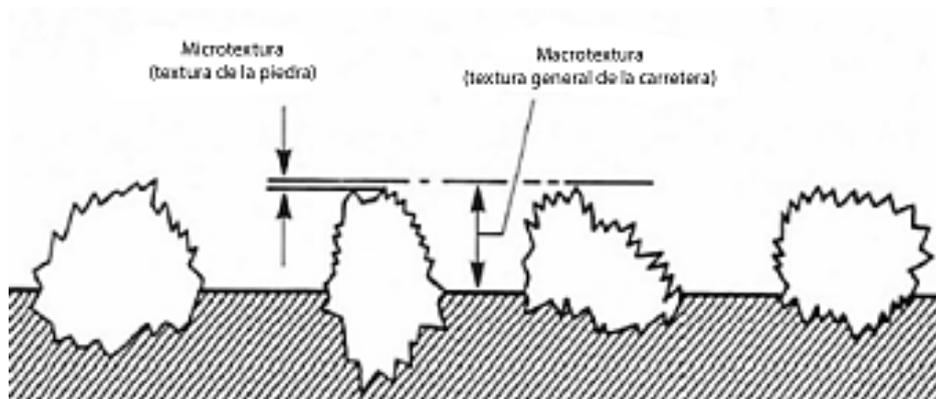


FIGURA 2. 11 Microtextura y macrotextura

FUENTE: (Botasso & Segura, 2013)

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

- El Péndulo de Fricción desarrollado por el TRRL, tiene mediciones normalizadas según ASTM E-303, para efectuar la medida, este se ajusta al modo que el patín de goma, fijado en el péndulo, recorra una distancia normalizada en la superficie a medir. El péndulo se balancea desde la vertical hasta el reposo como se indica en la Figura 2.12 La pérdida de energía del péndulo debido a la fricción del pavimento se registra en una escala graduada. Este instrumento es indicativo de la resistencia al deslizamiento a bajas velocidades (menor a 50km/h), por consiguiente provee medidas para la micro-textura. (Roco, Fuentes, & Valverde)



FIGURA 2. 12 Medición con péndulo de fricción

FUENTE: AUTOR

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

- El método del círculo de arena, está basado en la Norma ASTM E-965 (Figura 2.13), determina la profundidad de penetración de un volumen

conocido de arena dentro de las asperezas de la superficie de un pavimento, valor que se denomina “profundidad de textura”. (Gerencia)



FIGURA 2. 13 Método del círculo de arena

FUENTE: (Botasso & Segura, 2013)

Limpieza. - Para que un agregado pétreo se comporte adecuadamente dentro de cualquier capa de firme, debe estar completamente limpio, durables y libres de cantidades en excesos de piezas planas o alargadas, polvo, bolas de arcilla y otro material indeseable. Se pueden realizar los siguientes ensayos para garantizar la limpieza de los agregados pétreos. (INGENIERIA CIVIL, 2011)

- Equivalente de arena (ASTM D2419) Este ensayo es utilizado para evaluar el contenido de partículas de tamaño de arcilla en una muestra de agregado pétreo fina, como arena triturada (Figura 2.14). El exceso de partículas de tamaño de arcilla en una mezcla asfáltica es indeseable. Adicionalmente, el exceso de finos induce pérdidas de adherencia con el asfalto y necesidad de incrementar el contenido de asfalto para aglomerarlo. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)



FIGURA 2. 14 Ensayo equivalente de arena

FUENTE: (Vila, 2016)

- El método de ensayo de deletéreos se basa en las normas AASHTO T-112 y ASTM C-142, determina grumos de arcilla y partículas desmenuzables o friables en agregados, usando una báscula o balanza con aproximación del 0.1% del peso de la muestra de ensayo, recipientes, tamices, una estufa para secado que permita libre circulación de aire y pueda mantener una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$. (MTD, 2000)

Adherencia. - La adherencia depende de la calidad de los agregados, es un tema de análisis, como consecuencia de una mala adherencia se originan los deterioros en pavimentos, promoviendo el desprendimiento a nivel de superficie, siendo tema principal del presente trabajo se lo desarrolla ampliamente en los capítulos consecutivos.

- El ensayo de peladura de agua hirviendo, es un ensayo rápido de campo para determinar visualmente la pérdida de adherencia en mezclas sueltas de agregados cubiertos con asfalto, sometiéndolas a la acción acelerada de agua hirviendo (Figura 2.15); se prepara una mezcla de agregado y ligante bituminoso siguiendo para ello los procedimientos establecidos según la norma (ASTM D 3625-96), la temperatura de la mezcla en caliente debe estar por debajo del punto de ebullición del agua pero no debe ser menor de 85°C . (Cauca, 2007)

Se vierte el agua dentro de un recipiente apropiado a medio llenar y se calienta hasta la ebullición, se introduce 250gr de la mezcla asfáltica en el agua hirviendo sin retirar el recipiente de la fuente de calor, continua el calentamiento por un lapso de 10 minutos ± 15 segundos, se retira el recipiente con su contenido enfriándose a temperatura ambiente, se decanta el agua y se vacía la mezcla húmeda sobre una toalla de papel blanco para observar los agregados que han sufrido peladura en su recubrimiento asfáltico. (Cauca, 2007)



FIGURA 2. 15 Ensayo de peladura

FUENTE: (Vila, 2016)

- Ensayo de tracción indirecta, este ensayo evalúa el daño por humedad, se realizan 6 briquetas de mezcla asfáltica, 3 briquetas se colocan en agua destilada por 20-35 minutos a 25°C, posterior a esto se coloca una briqueta en el equipo Marshall para tomar la estabilidad hasta que se rompa la briqueta.

Las 3 briquetas restantes, se introducen en el equipo Rice saturando un 60 a 80% la muestra para sacar los vacíos, luego se deja las muestras en baño maría por 24 horas a una temperatura de 60°C, se saca del baño maría y se pone en agua a temperatura ambiente de 25°C por 30 minutos, una vez terminado este proceso ponemos las briquetas en el equipo Marshall calculando la estabilidad. Ver Figura 2.16



FIGURA 2. 16 Ensayo de tracción indirecta

FUENTE: (Vila, 2016)

Capacidad de Absorción de Agua. - La densidad es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características de la partícula del agregado pétreo. Como en general las partículas de agregado tienen poros tanto saturables como no saturables, dependiendo de su permeabilidad interna, este factor es importante para el diseño de mezclas porque con él se determina la cantidad de agregado requerido para cierto volumen. (Rocha, 2013)

Podemos decir que la absorción es el incremento en la masa de un agregado seco cuando es sumergido en agua durante 24 horas, a temperatura ambiente. Ver Figura 2.17 Este aumento de masa tiene lugar debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. (imcyc, Absorción, 2011)

Si el agregado pétreo es muy absorbente, cuando apliquemos el asfalto lo absorberá en cantidades elevadas; debido a esto no es recomendable usar agregados altamente permeables.

Por otra parte la absorción del asfalto por parte del agregado es selectiva, es decir, el asfalto que forma parte de la película que une a los agregados no tendrá las mismas características que el asfalto absorbido.



FIGURA 2. 17 Ensayo de absorción

FUENTE: AUTOR

2.1.4 Observaciones sobre la Composición Química de los Agregados Pétreos

Ciertos agregados poseen una composición química que posee afinidad excesiva por el agua, esta puede contribuir a que el asfalto se levante o remueva, lo que conduce a la desintegración de las superficies de asfalto. Puede decirse que un agregado de naturaleza “hidrofóbica” es aquel que tiene un alto grado de resistencia a la remoción de la capa de asfalto en presencia del agua. (CIVIL, 2011)

2.1.4.1 Agregados Básicos

Son menos hidrofílicos que los silíceos y se cargan positivamente en presencia de agua. Por ello pueden presentar cierta atracción por los ácidos libres en los ligantes y, en consecuencia, una mejor adhesividad con los mismos. En los pavimentos asfálticos aparte de cuidar y verificar que el ligante asfáltico moje al agregado, se debe tener en cuenta la posibilidad de que el agua en combinación con la acción de los vehículos y en ocasiones con el polvo y suciedad existentes, perturbe la adhesividad, desplazando el ligante asfáltico de la superficie del agregado, que quedará de nuevo descubierta o lavada. La adhesividad pasiva o también llamada resistencia al desplazamiento del ligante dependerá también de los mismos factores químicos y físicos anteriormente citados: afinidad polar por el ligante, espesor de la película y viscosidad del mismo, tensión superficial (ángulo de contacto) y textura superficial. (Padilla, 2010)

2.1.4.2 Agregados Ácidos

La acidez es por lo general consecuencia de un alto contenido en sílice y determina una gran afinidad del agregado por el agua (hidrofilia) y una polaridad negativa. La adhesividad entre los agregados silíceos (o ácidos en general) y los ligantes asfálticos no es buena, pudiendo llegar a ser necesaria la disminución de la tensión superficial del ligante mediante procesos de activación en los que se carga electro-polarmente para crear una adhesividad. (Padilla, 2010)

2.1.5 Exigencias del Ministerio de Obras Públicas respecto a los Agregados Minerales

Los agregados están compuestos de partículas de piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural, arena, de tal manera que cumplan los requisitos de graduación. Estos agregados se clasifican en “A”, “B” y “C”. (MOP-001F, 2002)

- **Agregado tipo A:** Son aquellos en que todas las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino puede ser arena natural o material triturado y, de requerirse, se puede añadir relleno mineral para cumplir con las exigencias de graduación. (MOP-001F, 2002)
- **Agregado tipo B:** Son aquellos que por lo menos el 50% de las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino y el relleno mineral pueden ser triturados o provenientes de depósitos naturales. (MOP-001F, 2002)
- **Agregado tipo C:** Son aquellos provenientes de depósitos naturales o de trituración según las disponibilidades de la región, verificando que la estabilidad medida en el ensayo Marshall este dentro de los límites según las especificaciones. (MOP-001F, 2002)

Los agregados serán fragmentos limpios, resistentes y duros, libres de materia vegetal y de exceso de partículas planas, alargadas, blandas. Los áridos gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de 500 revoluciones de la máquina de Los Ángeles, cuando sean ensayados a la abrasión, según la norma INEN 860. (MOP-001F, 2002)

En las Especificaciones Generales del MOP-001F-2002, Sección 811, están orientadas en diferentes pruebas y entre paréntesis se encuentran los valores exigidos de cada una de ellas.

2.2 Cemento asfáltico

2.2.1 Generalidades

El cemento asfáltico a temperatura normal es un material negro, muy pegajoso, semisólido y altamente viscoso. Debido a que el cemento asfáltico es pegajoso, se adhiere las partículas de agregado y puede ser usado para cementarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico. El cemento asfáltico es impermeable y no es afectado por la mayoría de los ácidos, álcalis o sales. Es llamado material termoplástico porque se ablanda con el calor y se endurece si es enfriado. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental de por qué el asfalto es un material importante en el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. (IngenieroCivil, 2013)

Los grados de cemento asfáltico tienen una clasificación basada en la viscosidad del material, cuanto más fluido sea un cemento asfáltico, menos viscoso será. Las viscosidades se miden a temperaturas de 60°C. El grado de viscosidad se determina del material que viene directamente del proceso de destilado y el grado de viscosidad del residuo es determinado a partir de la película fina resultante del ensayo de endurecimiento. (Hugo, 2012)

El grado de viscosidad del cemento asfáltico se debe seleccionar dependiendo el tipo de clima, para climas cálidos se recomienda usar cementos asfálticos de alto grado de viscosidad para evitar el ahuellamiento, mientras que en climas fríos se recomienda el uso de cementos asfálticos de bajo grado de viscosidad para resistir la fisuración por baja temperatura. (Hugo, 2012)

2.2.2 Características de los Cementos Asfálticos

2.2.2.1 Características Físicas

Las propiedades físicas del cemento asfáltico, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de las obras viales son:

Consistencia. - Para caracterizar a los asfaltos es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, puesto que son materiales termoplásticos que se licúan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Si se le expone al aire al cemento asfáltico en películas delgadas y se le somete a un calentamiento prolongado, como en mezclas con el agregado pétreo, el asfalto tiende a endurecerse y aumentar su consistencia; comúnmente para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o de penetración. (Especificaciones Técnicas del Cemento Asfáltico)

- **Ensayo de Viscosidad.** - Permite conocer los valores de la resistencia del asfalto a fluir. Este ensayo se puede realizar a temperaturas de 60°C o de 135°C; a 60°C se lo efectúa para conocer la viscosidad absoluta y se utiliza un viscosímetro capilar, el cual se coloca en un baño de aceite a temperatura constante, se incorpora el asfalto precalentado hasta que llegue a la marca de llenado. (Parodi, 2009)

Una vez que el sistema ha alcanzado la temperatura de 60°C, se aplica un vacío y se mide el tiempo en que tarda en desplazarse el asfalto por el capilar entre dos marcas consecutivas. Al multiplicarse este tiempo por el factor de calibración de viscosímetro, se obtiene el valor de la viscosidad absoluta en Poises. Cuando se realiza este ensayo a 135°C se calcula la viscosidad cinemática y sus unidades son en centistokes, se usa el viscosímetro Brookfield como se observa en la Figura 2.18. (Parodi, 2009)



FIGURA 2. 18 Viscosímetro Brookfield

FUENTE: (Vila, 2016)

- **Ensayo de Penetración.** - Se trata de un método de ensayo empírico antiguo, que permite medir la dureza o consistencia del cemento asfáltico. (Figura 2.19) Consiste en la penetración de una aguja normalizada de 100 g la cual se introduce en un recipiente con cemento asfáltico a una temperatura de referencia de 25°C por un tiempo de 5 segundos, midiéndose después la penetración de la aguja en unidades de 0.1 mm. (Parodi, 2009)



FIGURA 2. 19 Penetrómetro

FUENTE: (Vila, 2016)

- **Ensayo de Ductilidad.-** La ductilidad es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes que se rompa en dos; es medida mediante una prueba de “extensión” en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad de 3 m/s y una temperatura específica de 25°C. El estiramiento continuo hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa y se denomina la ductilidad de la muestra. Ver Figura 2.20



FIGURA 2. 20 Ensayo de ductilidad

FUENTE: AUTOR

Durabilidad. - Es la medida de qué tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Sin embargo, existen pruebas rutinarias para evaluar la durabilidad del asfalto, éstas son las pruebas de película delgada en horno y la prueba de película delgada en horno rotatorio (Figura 2.21), ambas incluyen el calentamiento de la película delgada de asfalto. (USOM, 2002)



FIGURA 2. 21 Horno de película delgada (TFOT)

FUENTE: (Vila, 2016)

Adhesión- Es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. (Figura 2.22) Siempre se anhela que un sistema ligante asfáltico-agregado pétreo tenga buenas condiciones de adhesión en estado seco y que la pérdida de material ligante “stripping” sea lo mínimo posible en presencia del agua. (USOM, 2002)



FIGURA 2. 22 Falta por adherencia

FUENTE: (Lozano & Alcivar, 2016)

Cohesión. - Es la capacidad del asfalto para mantener firme las partículas de agregado en el pavimento terminado. (Figura 2.23) En el diseño de mezclas asfálticas dos propiedades más frecuentes y determinantes a evaluar son la adhesión y la cohesión, caracterizadas principalmente por el nivel de interacción físico-químico entre el agregado pétreo y el ligante, ésta interface es la más importante para que la capa de rodadura y la estructura del pavimento cumplan con las exigencias mecánicas y tengan una considerable vida útil. (PARIS, 2005)



FIGURA 2. 23 Falla por cohesión

FUENTE: (Lozano & Alcivar, 2016)

Envejecimiento.- Los cementos asfálticos están sometidos a diferentes procesos de envejecimiento, como el envejecimiento producido durante el transporte, donde el factor principal es la temperatura; el proceso durante la fabricación de la mezcla bituminosa en caliente, el ligante está sometido a altas temperaturas en presencia del oxígeno atmosférico, siendo el oxígeno y la temperatura los factores más importantes, junto a la absorción de fracciones de betún por los áridos; o durante el tiempo de servicio, estando expuesto a los agentes ambientales.

Se puede simular el envejecimiento en laboratorio con el ensayo de película delgada (TFOT) o el ensayo de película delgada rotatoria (RTFOT), luego de realizar estos ensayos se realizan pruebas de viscosidad o de consistencia. Ver Figura 2.24

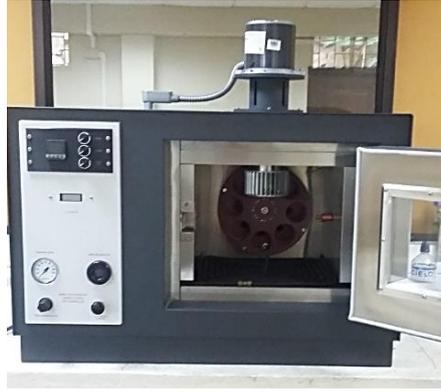


FIGURA 2. 24 Horno rotatorio de película delgada (RTFOT)

FUENTE: Autor

Susceptibilidad a la Temperatura. - Todos los asfaltos son termoplásticos, se vuelven más duros o viscosos a medida que su temperatura disminuye, y más blandos o menos viscosos a medida que su temperatura aumenta. (Figura 2.25) Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura y es una de las propiedades más valiosas de un asfalto.



FIGURA 2. 25 Viscosidad del asfalto por temperatura

FUENTE: (Díaz, 2014)

La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia. El cemento asfáltico 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 suficientemente viscoso, a temperaturas ambientales normales para mantener unidas las partículas del agregado. (USOM, 2002)

Seguridad. - La espuma puede constituir un riesgo para la seguridad, por lo tanto las normas requieren que el asfalto no forme espuma hasta temperaturas de 175°C. Por consiguiente, el Cemento asfáltico, si se le somete a temperaturas exageradamente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o llama. Le podemos hacer el siguiente ensayo para esta consideración:

- **Punto de inflamación con copa abierta Cleveland.**- La prueba de punto de inflamación es un parámetro muy importante como consideración de almacenaje y transporte, ya que indica la temperatura mínima a la cual el asfalto empieza a generar vapores inflamables, generando así riesgo de fuego. (Salazar Delgado, 2011)

2.2.3 Calidad del cemento asfáltico en el Ecuador

El Asfalto producido en la Refinería Esmeraldas cumple con las normas de calidad establecida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INE), el asfalto utilizado en el país normalmente clasifica como AC-20. Ver Tabla 2.1

Tabla 2. 1 Requisitos para la clasificación por viscosidad (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 ² s ⁻¹	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTMD 2170
Punto de Inflamación	°C	177	--	219	--	232	--	232	--	232	--	NTE INEN 808
w, Solubilidad en tricloroetileno, ^c	%	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 ^e		-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 ^a , 25 °C [77 °F], 5 cm/min	cm	100	--	75	--	50	--	40	--	25	--	NTE INEN 916
^a 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.												
^b 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												
^c Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.												

FUENTE: (NTE INEN, 2014)

2.3 Propiedades de la Adherencia entre el Cemento Asfáltico y el Agregado Mineral

2.3.1 Generalidades

Para conocer si un material tiene una buena o mala adherencia podemos evaluar la adhesión de dos sustratos simplemente realizando un ensayo de rotura de la unión adhesiva. (Figura 2.27) Así, el fallo de una unión adhesiva puede ocurrir según tres posibles modos: (Madrid, 2010)

- Separación por adhesión: cuando la separación se produce en la interfase sustrato-adhesivo.
- Separación por cohesión: cuando se produce la ruptura del adhesivo.
- Ruptura de sustrato: cuando el propio sustrato rompe antes que la unión adhesiva o que la interfase sustrato-adhesivo.

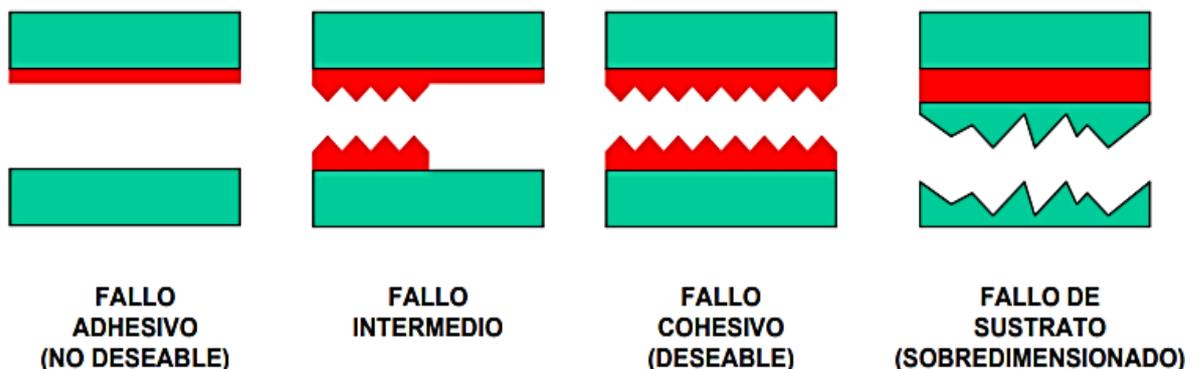


FIGURA 2. 26 Tipos de adhesión

FUENTE: (Madrid, 2010)

2.3.2 Fenómenos Físicos y Químicos de la Adherencia

Básicamente, se pueden distinguir dos tipos de fenómenos en la interfase sustrato-adhesivo: los de tipo físico y los de tipo químico. Existen teorías modernas que incluyen los efectos debidos a las propiedades cohesivas del adhesivo y a la aparición de capas débiles en los sustratos. (Madrid, 2010)

Fenómenos físicos:

- **Teoría de la Adhesión Mecánica:** Explica el fenómeno de la adhesión relacionando la porosidad con la rugosidad de la superficie del sustrato, con el grado de adhesión que puede tener; esta teoría no tiene en cuenta las incompatibilidades que puede existir entre el adhesivo y el agregado, únicamente tiene en cuenta la topografía y el poder de relleno del adhesivo, por esto es incapaz de explicar la adhesión entre superficies con baja rugosidad o lisas. (Teorías sobre la adhesión, 2015)
- **Teoría Eléctrica:** Compara el sistema adhesivo-sustrato a un condensador plano cuyas placas están constituidas por la doble capa eléctrica que se forma cuando dos materiales de naturaleza diferente se ponen en contacto. La existencia de una doble capa eléctrica es fundamental para explicar los fenómenos de adhesión, pero no puede considerarse un modelo universal, y solo se puede aplicar a determinados casos particulares. (Madrid, 2010)
- **Teoría de la Difusión:** Esta teoría es utilizada para explicar la adhesión de los polímeros entre sí y los movimientos que se producen en las cadenas poliméricas. Cuando dos polímeros son compatibles las cadenas poliméricas que los componen son capaces de mezclarse entre ambos, dando lugar a penetraciones parciales entre los dos materiales, como resultado de dichas penetraciones se producen zonas de anclaje y de adhesión. Ver Figura 2.28

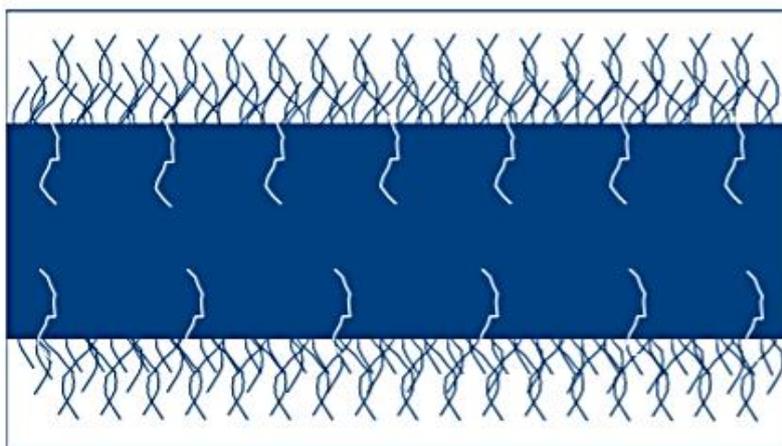


FIGURA 2. 27 Cadenas poliméricas

FUENTE: (Madrid, 2010)

Fenómenos químicos:

- **Teoría de la Absorción termodinámica o mojado superficial:** Al poner en contacto dos superficies no importa que existan o no difusión del adhesivo, porque las fuerzas intermoleculares que se dan en la interfase son suficientes para garantizar la adhesión. Esta teoría es útil para explicar el uso y funcionamiento de agentes compatibles existentes entre el sustrato y el adhesivo. (Correa, 2016)

2.3.3 Propiedades que influyen en la Adherencia

Composición Mineralógica. - La estructura mineralógica adquiere una importancia relevante dentro del estudio de la adherencia. Cuando los minerales presentan cargas superficiales descompensadas originan una tensión superficial; y los agregados minerales se cubren por los líquidos de polaridad contraria, complementando la necesidad de energía y formando un enlace adhesivo.

Aspereza. - Los sustratos poseen en general poros y capilaridades lo que hace que su superficie sea áspera, esto contribuye a aumentar la ligadura y amarre mecánico con el adhesivo. (Figura 2.29) Por lo tanto las superficies lisas no obtienen una buena unión entre su superficie y el adhesivo. (Pardo, 2006)



FIGURA 2. 28 Porosidad de la superficie de los agregados

FUENTE: AUTOR

Pureza. - Esta propiedad indica que los agregados deben estar libres de humedad o impurezas tales como basura, materia orgánica o polvo, que pueda ocasionar problema ocasionando una adherencia deficiente.

2.3.3.2 Propiedades del Cemento Asfáltico

Tensión Superficial

Es el desequilibrio de las fuerzas de atracción en las moléculas de la superficie. Depende de la composición del líquido, las moléculas que están justo debajo de la superficie sienten fuerzas hacia los lados, horizontalmente y hacia abajo, cada molécula está rodeada por otra. (Figura 2.34)

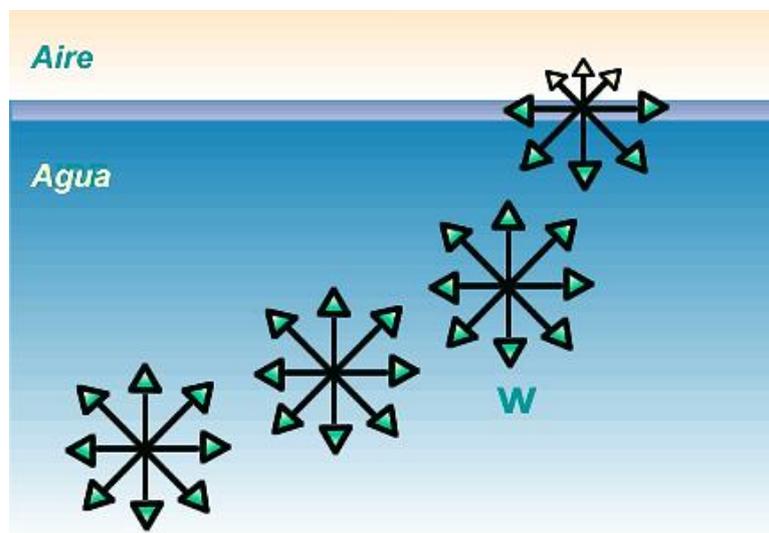


FIGURA 2. 29 Atracción en las moléculas de la superficie

FUENTE: (Gutierrez, 2016)

Viscosidad

La viscosidad del adhesivo debe ser adecuada a la estructura geométrica fina y al estado energético de la superficie (Figura 2.35), es decir, las desigualdades de la superficie deben ser rellenadas y que las capas de adhesivo deben tener un espesor capaz de recubrir las holguras entre los sustratos. (Madrid, 2010)



FIGURA 2. 30 Viscosidad del agregado

FUENTE: (Bitumen, 2002)

2.4 Prueba de pH en Agregados

El valor del pH del agregado es la medida de la acidez o alcalinidad del mismo. La escala del pH tiene un rango que va de 0 a 14, siendo el 7 el valor neutral. Los números menores a 7 indican acidez mientras que los números mayores a 7 indican alcalinidad como se muestra en la Figura 2.36. (Clenson, 2016)



FIGURA 2. 31 Tiras de pH

FUENTE: AUTOR

El PH es de suma importancia en muchos aspectos, Uno de los más importantes es la disponibilidad de nutrientes en el suelo según el pH. Los pH extremos pueden provocar escasez de algunos nutrientes. Un agregado se considera

ácido por debajo de 7, si es ácido pueden escasear: fósforo, calcio, magnesio, molibdeno, boro. En agregados muy ácidos puede haber un exceso de hierro, manganeso, zinc, aluminio que puede producir toxicidad.

2.4.1 Proceso de Medición de pH en Agregados

Para medir el pH suelen emplearse, tiras rígidas o medidores de pH digitales como se muestran a continuación en la Figura 2.37:



FIGURA 2. 32 Medidor de pH digital

FUENTE: AUTOR

Se procedió a triturar los diferentes agregados hasta obtener fracción pasante al tamiz #100 y retenida en el tamiz #200. (Figura 2.38)

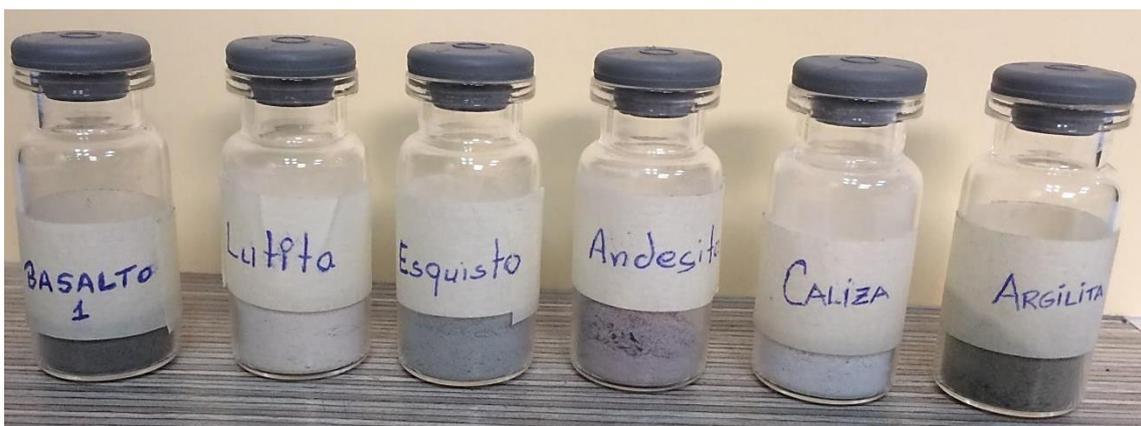


FIGURA 2. 33 Muestras de agregados

FUENTE: AUTOR

Luego se vierte en un recipiente el agregado triturado mezclado con agua destilada con una proporción 1:1.5 (Figura 2.39)

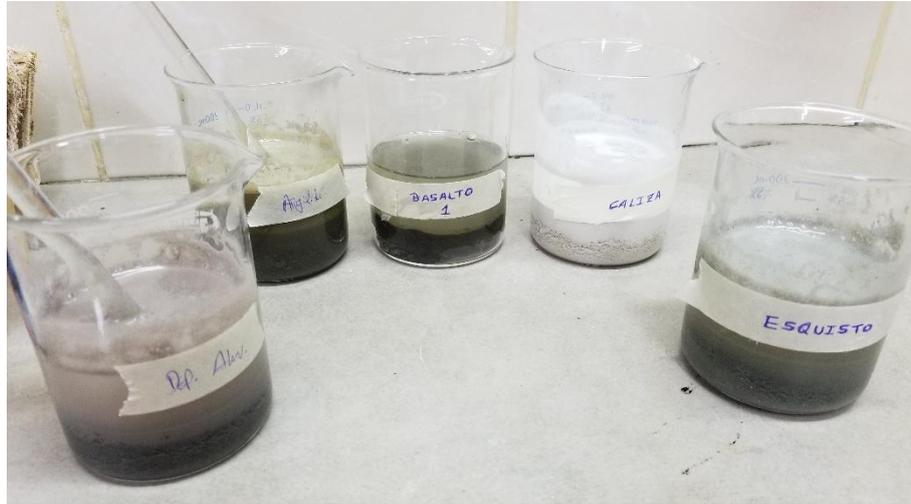


FIGURA 2. 34 Muestras de agregados

FUENTE: AUTOR

Una vez realizado todo el proceso, se obtuvieron los siguientes resultados de pH en cada muestra de agregado:

Tabla 2. 2 Resultados de pH

Roca	pH
Andesita	8,7
Argilita	8,6
Basalto (1)	9,1
Basalto (2)	8,2
Caliza	7,8
Depósitos Aluviales	8,6
Granito	8,5
Lutita	8,1
Pizarra Tobácea	8,2

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Introducción

Mediante un procedimiento que se ha desarrollado y con el tiempo se ha perfeccionado en el Laboratorio de Carreteras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil para evaluar la adherencia en el sistema ligante asfáltico – agregado mineral, se empleara una prueba de tracción haciendo uso de una pastilla de roca con diámetro de 5cm y un pistón con dimensiones estandarizadas, aplicando las recomendaciones que se han presentado en los estudios precedentes.

Bajo los parámetros ya descritos en el capítulo anterior, se realizar estudios en nueve agregados procedentes de rocas diferentes (Ver tabla 3.1), y el cemento asfáltico producido en la refinería de Esmeraldas.

Tabla 3. 1 Tipo y procedencia de agregados minerales

No.	Agregado	Procedencia
1	Andesita	Pifo
2	Argilita	Durán
3	Basalto (1)	Picoazá
4	Basalto (2)	Chivería
5	Caliza	Huayco
6	Depósitos Aluviales	Río Bulu Bulu
7	Granito	Balsapamba
8	Lutita	Guayaquil (Ciudad Deportiva)
9	Pizarra Tobácea	Durán

FUENTE: AUTOR

Se procedió entonces a realizar diez ensayos por cada tipo de roca, siete ensayos en condiciones normales (sin inmersión) para evaluar estadísticamente el comportamiento de los resultados, y tres ensayos con inmersión para evaluar el efecto del agua.

3.2. Características de los materiales a utilizar en la prueba

3.2.1. Características de los agregados minerales

3.2.1.1. Andesita

Tabla 3. 2 Características del agregado (Piedra Andesita)

Gravedad específica de masa	2,497
Gravedad específica de s.s.s	2,561
Gravedad específica aparente	2,666
Absorción (%)	2,54
Abrasión de los Ángeles (%)	26,6
Durabilidad ante los sulfatos (%)	3,00

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3.1.2. Argilita

Tabla 3. 3 Características del agregado (Piedra Argilita)

Gravedad especifica de masa	2,253
Gravedad especifica de s.s.s	2,358
Gravedad especifica aparente	2,517
Absorción (%)	4,66
Abrasión de los Ángeles (%)	41,0
Durabilidad ante los sulfatos (%)	26,50

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3.1.3. Basalto (1)

Tabla 3. 4 Características del agregado (Piedra Basalto 1)

Gravedad específica de masa	2,542
Gravedad específica de s.s.s	2,609
Gravedad específica aparente	2,725
Absorción (%)	2,64
Abrasión de los Ángeles (%)	21,2
Durabilidad ante los sulfatos (%)	1,89

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3.1.4. Basalto (2)

Tabla 3. 5 Características del agregado (Piedra Basalto 2)

Gravedad específica de masa	2,871
Gravedad específica de s.s.s	2,899
Gravedad específica aparente	2,953
Absorción (%)	0,97
Abrasión de los Ángeles (%)	9,9
Durabilidad ante los sulfatos (%)	0,81

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3.1.5. Caliza

Tabla 3. 6 Características del agregado (Piedra Caliza)

Gravedad específica de masa	2,550
Gravedad específica de s.s.s	2,595
Gravedad específica aparente	2,671
Absorción (%)	1,78
Abrasión de los Ángeles (%)	27,0
Durabilidad ante los sulfatos (%)	7,05

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3.1.6. Depósitos Aluviales

Tabla 3. 7 Características del agregado (Piedra Depósitos Aluviales)

Gravedad específica de masa	2,687
Gravedad específica de s.s.s	2,713
Gravedad específica aparente	2,759
Absorción (%)	0,97
Abrasión de los Ángeles (%)	15,6
Durabilidad ante los sulfatos (%)	1,32

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3.1.7. Granito

Tabla 3. 8 Características del agregado (Piedra Granito)

Gravedad específica de masa	2,847
Gravedad específica de s.s.s	2,852
Gravedad específica aparente	2,863
Absorción (%)	0,20
Abrasión de los Ángeles (%)	19,3
Durabilidad ante los sulfatos (%)	0,61

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3.1.8. Lutita

Tabla 3. 9 Características del agregado (Piedra Lutita)

Gravedad específica de masa	2,137
Gravedad específica de s.s.s	2,302
Gravedad específica aparente	2,558
Absorción (%)	7,71
Abrasión de los Ángeles (%)	26,1
Durabilidad ante los sulfatos (%)	21,61

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3.1.9. Pizarra Tobácea

Tabla 3. 10 Características del agregado (Piedra Pizarra Tobácea)

Gravedad específica de masa	2,232
Gravedad específica de s.s.s	2,359
Gravedad específica aparente	2,556
Absorción (%)	5,67
Abrasión de los Ángeles (%)	20,6
Durabilidad ante los sulfatos (%)	23,60

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.2.2. Característica del cemento asfáltico

3.2.2.1 Clasificación por grado de viscosidad

Tabla 3. 11 Característica Cemento asfáltico AC-30

PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN		RESULTADOS
			AC-20	AC-30	
LIGANTE ORIGINAL					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	200 ± 40	300 ± 60	251
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm ² /s	ASTM D 2170	300 mín	350 mín	370
Punto de inflamación Cleveland	°C	NTE INEN 808	232 mín	232 mín	279
Solubilidad en tricloroetileno	%	NTE INEN 915	99,0 mín	99,0 mín	NO
Gravedad específica 25°C/25°C		ASTM D 70	Informar	Informar	1,0136
Índice de penetración		ASTM D 5/D5M	-1.5 a +1.0	-1.5 a +1.0	-0,6
RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	800 máx	1200 máx	1080
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	1.0 máx	1.0 máx	-0,02
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	NTE INEN 916	50 mín	40 mín	41
CALIFICACIÓN					AC-30

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3.2.2 Clasificación por Superpave

Tabla 3. 12 Característica Cemento asfáltico PG 64-28

PROPIEDAD	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS	
LIGANTE ORIGINAL				
Punto de Inflamación, °C	AASHTO T 48	230 mín	279	
Viscosidad, Pa.s	AASHTO T 316	3,0 máx	0,370	
			19,80	
Módulo de Corte Dinámico	AASHTO T 315	1,0 mín	8,13	
(G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa			3,42	
			1,50	
			0,69	
			0,69	
RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)				
Pérdida de masa, %	AASHTO T 240	1,0 máx	-0,02	
			47,20	
Módulo de Corte Dinámico	AASHTO T 315	2,2 mín	22,10	
(G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa			9,61	
			4,13	
			1,94	
			1,94	
RESIDUO ENVEJECIDO PAV (100°C, 300 psi, 20 hr)				
	AASHTO T 315	5000 máx	881	
			1270	
Módulo de Corte Dinámico			1800	
(G* x sinδ, 10 rad/seg), kPa			2520	
			3550	
			4790	
			6270	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	742	
Valor m		0,300 mín	0,184	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	541	
Valor m		0,300 mín	0,243	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	172	
Valor m		0,300 mín	0,312	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx		
Valor m		0,300 mín		
GRADO PG SUPERPAVE			AASHTO M 320	
			--	
			64-28	

FUENTE: Información suministrada por el tutor de este trabajo

3.3. Procedimiento y preparación de la prueba de adherencia con pistón

1. Utilizar una máquina perforadora con broca especial de 2 ¼" de diámetro, para barrenar núcleos de roca seleccionando los que estén en buen estado. Núcleos que posean desgarraduras o fisuras son desechados. (Figura 3.1)



FIGURA 3. 1 Barreno de Rocas

FUENTE: AUTOR

2. Emplear una máquina cortadora con cuchilla para hormigón para cortar los núcleos, obteniendo “pastillas de roca” con un espesor entre 2.5 – 3cm. De ser necesario se hará uso de una maquina amoladora para obtener una superficie uniforme en la pastilla. (Figura 3.2)



FIGURA 3. 2 Corte de núcleos de roca

FUENTE: AUTOR

3. Emplear una lija de agua de tejido 120 granos por pulgada cuadrada, para proceder a darle uniformidad y un buen acabado a la pastilla de roca, es decir obtener una cara totalmente plana que estará en contacto con el pistón y el cemento asfaltico. (Figura 3.3)



FIGURA 3. 3 Lijado de pastillas de roca

FUENTE: AUTOR

4. Lavar las pastillas de rocas haciendo uso de un cepillo y agua destilada, para quitar cualquier partícula de polvo que pueda poseer. (Figura 3.4)



FIGURA 3. 4 Lavado de pastillas de roca

FUENTE: AUTOR

5. Mediante un baño ultrasónico, proceder a limpiar las pastillas de roca con agua destilada a una temperatura de 60°C por un tiempo de una hora, para eliminar cualquier residuo. Luego de esto se dejan las pastillas de roca en un ambiente climatizado para su escurrimiento y secado superficial. (Figura 3.5)



FIGURA 3. 5 Lavado con limpiador ultrasónico

FUENTE: AUTOR

6. Secar las pastillas de roca a 110°C por 24 horas con la ayuda de un horno de convección forzada. (Figura 3.6)



FIGURA 3. 6 Secado de pastillas de roca en el horno

FUENTE: AUTOR

7. Unir el pistón y la pastilla de roca haciendo uso de una prensa mecánica y luego calentar este sistema a 150°C en el horno por un tiempo de 2 horas. (Figura 3.7)



FIGURA 3. 7 Unión del sistema pastilla de roca - pistón

FUENTE: AUTOR

8. Calentar el asfalto hasta que alcance la temperatura de 150°C para ser colocado en el sistema pastilla de roca - pistón, mediante los tres orificios existentes en el pistón, garantizando obtener así la película requerida de asfalto entre la pastilla de roca y el pistón, lo que se evidencia cuando el cemento asfáltico empieza a ascender por el orificio o capilar. (Figura 3.8)



FIGURA 3. 8 Colocado de asfalto en el sistema

FUENTE: AUTOR

- Colocar el sistema en el horno a una temperatura de 135°C por dos horas, para lograr que la pastilla de roca absorba todo el asfalto necesario, y en caso de que exista una alta absorción colocar más asfalto hasta cubrir la película requerida, y así obtener un endurecimiento del mismo similar al producido en planta. (Figura 3.9)



FIGURA 3. 9 Sistema con asfalto al horno a 135°C

FUENTE: AUTOR

- Dejar el sistema pistón – pastillas de roca en temperatura ambiente de 25°C durante 24 horas. (Figura 3.10)



FIGURA 3. 10 Sistema en presa mecánica

FUENTE: AUTOR

3.4. Alcance del procedimiento y preparación de la prueba de adherencia con pistón para evaluar el daño en agua

1. Empleando un alambre galvanizado proceder a elaborar un tipo de seguro que nos impida el movimiento del pistón cuando el sistema sea sumergido el agua destilada a una alta temperatura. (Figura 3.11)



FIGURA 3. 11 Asegurado de sistema pistón – pastilla de roca

FUENTE: AUTOR

2. Sumergir el sistema en un baño de María con agua destilada por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 60°C. (Figura 3.12)



FIGURA 3. 12 Baño de María en sistema

FUENTE: AUTOR

3. Dejar reposar los elementos de la prueba preparado en baño en agua a la temperatura de 25°C por dos horas. (Figura 3.13)



FIGURA 3. 13 Climatización del sistema

FUENTE: AUTOR

3.5. Ensayo de tracción en la prueba de adherencia con pistón

1. Colocar la mordaza especialmente diseñada que sujeta la pastilla de roca, y el acople (encamisado) con su pasador removible, que permitirá conectar el sistema pastilla de roca – asfalto - pistón con el mecanismo de tenazas de que posee la prensa universal. (Figura 3.14)



FIGURA 3. 14 Colocación de acoples en el sistema

FUENTE: AUTOR

Ensayar el sistema en una prensa universal, que puede aplicar una fuerza de hasta 20kN empleando una velocidad de deformación de 25mm/min. (Figura 3.15)



FIGURA 3. 15 Ensayo de sistema en prensa universal

FUENTE: AUTOR

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Generalidades

Se realizaron ensayos de tracción para cada tipo de agregado, 7 muestras en condiciones sin inmersión y 3 muestras mediante un procedimiento de daño en agua, dichas pruebas fueron realizadas bajo las siguientes condiciones:

- ✓ Temperatura: 25 °C
- ✓ Razón de deformación: 25 mm/min
- ✓ Espesor de película de asfalto: 500 μm

4.2. Resultados de pruebas sin inmersión

A continuación, se resume en las tablas 4.1 a 4.9 los valores de carga, desplazamiento y área hasta la carga máxima de cada ensayo realizado en condiciones sin inmersión. El área en estos casos puede considerarse como la energía disipada a carga máxima.

Tabla 4. 1 Resultados de pruebas con la piedra Andesita sin inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	ANDESITA	87,99	33,88	862	0,8	332
2		91,70	34,64	899	0,8	339
3		82,09	33,07	804	0,8	324
4		85,91	41,78	842	1,0	409
5		71,18	41,27	698	0,7	404
6		56,28	22,49	552	1,5	220
7		57,95	28,47	568	1,2	279
PROMEDIO				746	1,0	330
DESV. ESTANDAR				142	0,3	67
COEF. VARIACION				19,1	29,9	20,2

FUENTE: AUTOR

Tabla 4. 2 Resultados de pruebas con la piedra Argilita sin inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	ARGILITA	99,05	48,56	971	3,2	476
2		78,04	51,50	765	3,4	505
3		98,55	40,64	966	1,9	398
4		85,25	45,04	835	1,8	441
5		92,65	27,52	908	1,0	270
6		79,76	27,96	782	0,9	274
7		80,34	30,35	787	0,7	297
PROMEDIO				859	1,9	380
DESV. ESTANDAR				88	1,1	99
COEF. VARIACION				10,3	58,6	26,1

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.3 Resultados de pruebas con la piedra Basalto (1) sin inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	BASALTO 1	88,38	54,59	866	1,2	535
2		129,19	71,20	1266	1,1	698
3		162,43	68,51	1592	1,19	671
4		107,37	42,11	1052	0,8	413
5		89,19	51,37	874	1,2	503
6		112,57	45,83	1103	0,8	449
7		142,44	45,58	1396	0,64	447
PROMEDIO				1164	1,0	531
DESV. ESTANDAR				270	0,2	113
COEF. VARIACION				23,2	24,1	21,2

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.4 Resultados de pruebas con la piedra Basalto (2) sin inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	BASALTO 2	107,73	33,05	1056	0,6	324
2		141,31	49,38	1385	1,2	484
3		100,90	26,88	989	0,6	263
4		133,25	46,21	1306	1,1	453
5		125,83	33,73	1233	0,7	331
6		102,89	29,43	1008	0,6	288
7		102,62	49,91	1006	0,8	489
PROMEDIO				1140	0,8	376
DESV. ESTANDAR				164	0,3	96
COEF. VARIACION				14,4	31,6	25,6

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.5 Resultados de pruebas con la piedra Caliza sin inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	CALIZA	69,38	25,02	680	2,0	245
2		60,80	22,11	596	2,5	217
3		59,96	11,32	588	1,3	111
4		59,81	22,82	586	1,1	224
5		66,95	30,02	656	1,2	294
6		79,66	26,59	781	2,4	261
7		68,20	21,89	668	0,7	215
PROMEDIO				651	1,6	224
DESV. ESTANDAR				70	0,7	57
COEF. VARIACION				10,7	43,2	25,6

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.6 Resultados de pruebas con la piedra Depósitos Aluviales sin inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	DEPÓSITOS ALUVIALES	87,73	24,94	860	0,6	244
2		96,43	38,65	945	0,8	379
3		82,82	26,92	812	0,6	264
4		127,33	42,83	1248	0,7	420
5		85,45	68,77	837	1,3	674
6		99,80	43,56	978	0,8	427
7		113,45	59,79	1112	1,1	586
PROMEDIO				970	0,8	428
DESV. ESTANDAR				160	0,3	157
COEF. VARIACION				16,4	33,6	36,8

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.7 Resultados de pruebas con la piedra Granito sin inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	GRANITO	93,02	31,28	912	0,7	307
2		110,26	49,69	1081	0,5	487
3		106,62	40,08	1045	0,9	393
4		92,75	37,05	909	0,8	363
5		148,59	60,92	1456	1,0	597
6		151,56	64,41	1485	1,2	631
7		170,20	63,83	1668	0,80	626
PROMEDIO				1222	0,8	486
DESV. ESTANDAR				308	0,2	135
COEF. VARIACION				25,2	26,2	27,7

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.8 Resultados de pruebas con la piedra Lutita sin inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	LUTITA	115,43	24,29	1131	0,5	238
2		120,67	23,72	1183	0,6	232
3		116,19	25,97	1139	0,5	255
4		111,45	23,08	1092	0,4	226
5		92,90	23,23	910	0,6	228
6		93,54	19,29	917	0,4	189
7		116,02	28,64	1137	0,7	281
PROMEDIO				1073	0,5	236
DESV. ESTANDAR				112	0,1	28
COEF. VARIACION				10,4	23,2	11,9

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.9 Resultados de pruebas con la piedra Pizarra Tobácea sin inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	PIZARRA TOBÁCEA	94,88	33,61	930	0,7	329
2		95,57	35,02	937	1,2	343
3		73,28	13,04	718	0,4	128
4		96,14	37,31	942	1,0	366
5		121,07	36,76	1186	0,7	360
6		103,04	30,77	1010	0,6	302
7		113,30	28,68	1110	0,6	281
PROMEDIO				976	0,7	301
DESV. ESTANDAR				150	0,3	82
COEF. VARIACION				15,4	37,0	27,3

FUENTE: AUTOR

4.3. Resultados de pruebas con inmersión

A continuación, se resume en las tablas 4.10 a 4.18 los valores de carga, desplazamiento y área hasta la carga máxima de cada ensayo realizado en condiciones con inmersión.

Tabla 4.10 Resultados de pruebas con la piedra Andesita con inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	ANDESITA	58,28	9,90	571	0,3	97
2		75,55	10,94	740	0,3	107
3		63,66	10,55	624	0,3	103
PROMEDIO				645	0,3	103
DESV. ESTANDAR				87	0,0	5
COEF. VARIACION				13,4	8,4	5,0

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.11 Resultados de pruebas con la piedra Argilita con inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	ARGILITA	68,38	19,83	670	0,6	194
2		68,92	12,83	675	0,4	126
3		70,22	16,95	688	0,6	166
PROMEDIO				678	0,5	162
DESV. ESTANDAR				9	0,1	34
COEF. VARIACION				1,4	24,1	21,3

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.12 Resultados de pruebas con la piedra Basalto (1) con inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	BASALTO 1	103,33	37,77	1013	0,7	370
2		52,17	27,13	511	1,3	267
4		126,76	52,74	1242	1,0	517
PROMEDIO				922	1,0	385
DESV. ESTANDAR				374	0,3	126
COEF. VARIACION				40,5	27,2	32,6

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.13 Resultados de pruebas con la piedra Basalto (2) con inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	BASALTO 2	77,15	34,72	756	0,9	340
2		121,64	66,90	1192	1,1	656
3		125,44	57,05	1229	0,9	559
PROMEDIO				1059	1,0	518
DESV. ESTANDAR				263	0,1	162
COEF. VARIACION				24,8	11,3	31,2

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.14 Resultados de pruebas con la piedra Caliza con inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	CALIZA	48,10	9,12	471	1,2	89
2		46,93	8,54	460	0,7	84
3		56,60	16,44	555	0,9	161
PROMEDIO				495	1,0	111
DESV. ESTANDAR				52	0,2	43
COEF. VARIACION				10,4	24,5	38,7

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.15 Resultados de pruebas con la piedra Depósitos Aluviales con inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	DEP. ALUVIALES	103,10	54,13	1010	1,9	530
2		105,54	49,04	1034	1,3	481
3		76,68	26,84	751	0,7	263
PROMEDIO				932	1,3	425
DESV. ESTANDAR				157	0,6	142
COEF. VARIACION				16,8	44,4	33,5

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.16 Resultados de pruebas con la piedra Granito con inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	GRANITO	126,85	41,66	1243	0,9	408
2		125,92	42,18	1234	0,7	413
3		133,69	52,30	1310	1,0	513
PROMEDIO				1262	0,8	445
DESV. ESTANDAR				42	0,2	59
COEF. VARIACION				3,3	18,5	13,2

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.17 Resultados de pruebas con la piedra Lutita con inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	LUTITA	65,15	24,62	638	0,7	241
2		85,00	34,00	833	0,8	333
3		105,32	31,60	1032 *	0,6	310
PROMEDIO				736	0,7	295
DESV. ESTANDAR				138	0,1	48
COEF. VARIACION				18,7	14,5	16,2

* valor no considerado

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.18 Resultados de pruebas con la piedra Pizarra Tóbacea con inmersión

#ENSAYOS	PIEDRA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	PIZARRA	87,80	20,62	860	0,7	202
2		72,40	18,42	710	0,6	180
3		66,76	20,45	654	1,2	200
PROMEDIO				741	0,9	194
DESV. ESTANDAR				107	0,3	12
COEF. VARIACION				14,4	36,6	6,2

FUENTE: AUTOR

4.4. Comparación de resultados con y sin inmersión

En la Tabla 4.19 se puede observar los valores promedios obtenidos en las diferentes rocas estudiadas para un proceso con inmersión en agua y sin inmersión, además se puede observar la variación de carga debido a este daño en agua mencionado anteriormente.

Tabla 4.19 Comparación de resultados con y sin inmersión

PIEDRA	ENSAYOS SIN INMERSIÓN		ENSAYOS CON INMERSIÓN		% DE CARGA RETENIDA	% DE REDUCCIÓN DE LA ENERGÍA
	CARGA (N)	ÁREA (N.mm)	CARGA (N)	ÁREA (N.mm)		
ANDESITA	746	330	645	103	86,4	68,9
ARGILITA	859	380	678	162	78,9	57,4
BASALTO 1	1164	531	922	385	79,2	27,5
BASALTO 2	1140	376	1059	518	92,9	-37,9
CALIZA	651	224	495	111	76,1	50,2
DEP. ALUVIALES	970	428	932	425	96,1	0,7
GRANITO	1222	486	1262	445	103,3	8,5
LUTITA	1073	236	736	295	68,6	-25,1
PIZARRA	976	301	741	194	76,0	35,5

FUENTE: AUTOR

Los porcentajes de carga retenida luego de la inmersión, es decir la resistencia retenida al despegue en la prueba con pistón, varían entre un mínimo de 68,6% (Lutita) y un máximo de 103,3% (Granito). Este último valor, dado el pequeño número de muestras ensayadas con inmersión, a nuestro juicio debe considerarse como 100%, ósea que para este material el efecto del agua es nulo.

También se ha considerado en la tabla anterior el porcentaje de reducción de la energía, procedente del efecto del agua en el sistema agregado – asfalto. En este caso dicho porcentaje vario entre un máximo de 68,9% (Andesita) y un mínimo de 0,7% (Depósitos Aluviales).

Los resultados indican para todos los tipos de rocas una gran variabilidad en el efecto del agua evaluado por ambos criterios.

Los porcentajes de resistencia retenido mayores corresponden a las rocas Granito (100%) y Depósitos Aluviales (96,1%). A estas rocas le deberían

corresponder porcentajes de reducción de la energía pequeños, que fueron 8,5% en el Granito y 0,7% para los Depósitos Aluviales. La resistencia retenida más baja se obtuvo con la roca Lutita (68,6%). Dos valores calculados en el porcentaje promedio de reducción de la energía son improcedentes y no responden a la lógica del comportamiento ante el agua estudiado. En este caso se sugiere ampliar la muestra de las rocas Lutita y Basalto (2) para obtener mayores precisiones.

Algunos análisis realizados en relación a los resultados mostrados en la Sección 4.4 han permitido establecer para la prueba del pistón un interesante vínculo entre el porcentaje de absorción en agua y el porcentaje de carga (resistencia al despegue) referida, lo que puede apreciarse en el gráfico 4.1

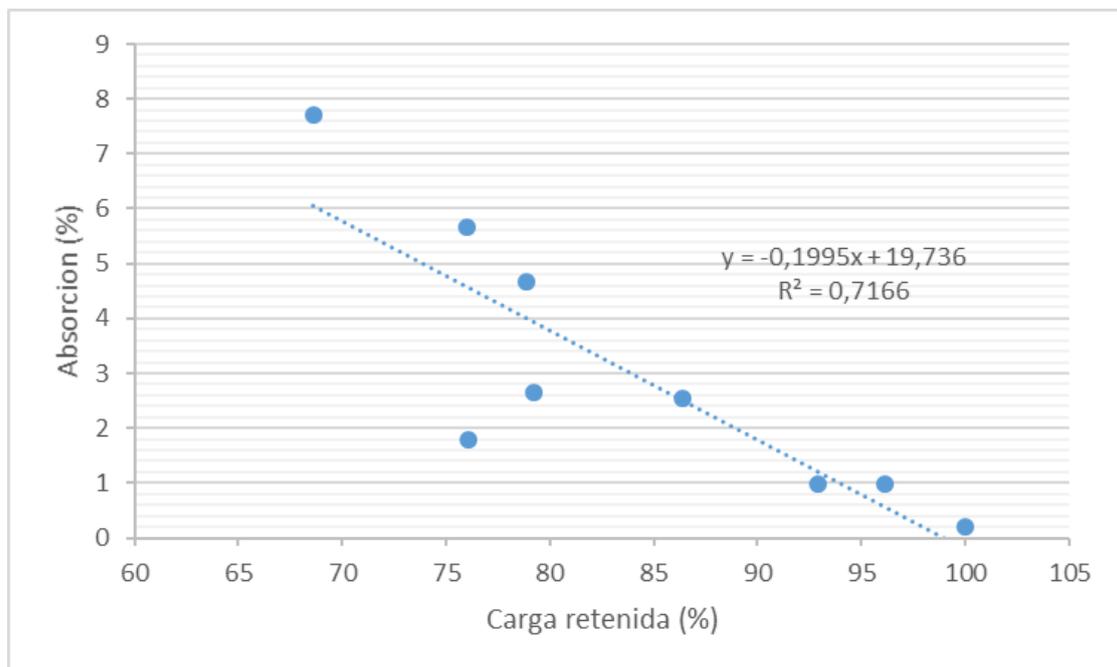


FIGURA 4. 1 Influencia del porcentaje de absorción en agua en la resistencia retenida
FUENTE: AUTOR

4.5. Tipo de daño presente en las diferentes pruebas

En las tablas 4.20 – 4.28 que se presentan a continuación, se puede observar el tipo de falla para cada una de las piedras de las diferentes canteras analizadas.

Los tipos de fallas detectadas en los ensayos son:

- ✓ Cohesión
- ✓ Adherencia
- ✓ Rotura del agregado

Para cada falla se ha calculado el porcentaje de daño correspondiente al área circular de contacto entre el agregado y la película de asfalto delimitada por la configuración del pistón.

Tabla 4.20 Evaluación de daño en piedra Andesita

CONDICIONES DE ENSAYO	#ENSAYOS	TEMPERATURA °C	CARGA (Kgf)	DAÑOS EVALUADOS					
				COHESIÓN		ADHERENCIA		ROTURA DE AGREGADO	
				%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
SIN INMERSIÓN	1	25	87,99	65	4,90	35	2,64	0	0,00
	2	25	91,70	5	0,38	95	7,16	0	0,00
	3	25	82,09	94	7,09	6	0,45	0	0,00
	4	25	85,91	96	7,24	4	0,30	0	0,00
	5	25	71,18	75	5,66	25	1,89	0	0,00
	6	25	56,28	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	7	25	57,95	100	7,54	0	0,00	0	0,00
PROMEDIO (%)				76,4		23,6		0,0	
CON INMERSIÓN	8	25	58,28	75	5,66	25	1,89	0	0,00
	9	25	75,55	80	6,03	20	1,51	0	0,00
	10	25	63,66	8	0,60	92	6,94	0	0,00
PROMEDIO (%)				54,3		45,7		0,0	

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.21 Evaluación de daño en piedra Argilita

CONDICIONES DE ENSAYO	#ENSAYOS	TEMPERATURA °C	CARGA (Kgf)	DAÑOS EVALUADOS					
				COHESIÓN		ADHERENCIA		ROTURA DE AGREGADO	
				%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
SIN INMERSIÓN	1	25	99,05	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	2	25	78,04	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	3	25	98,55	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	4	25	85,25	77	5,81	0	0,00	23	1,73
	5	25	92,65	94	7,09	2	0,15	4	0,30
	6	25	79,76	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	7	25	80,34	100	7,54	0	0,00	0	0,00
PROMEDIO (%)				95,9		0,3		3,9	
CON INMERSIÓN	8	25	68,38	75	5,66	25	1,89	0	0,00
	9	25	68,92	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	10	25	70,22	90	6,79	10	0,75	0	0,00
	PROMEDIO (%)				88,3		11,7		0,0

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.22 Evaluación de daño en piedra Basalto (1)

CONDICIONES DE ENSAYO	#ENSAYOS	TEMPERATURA °C	CARGA (Kgf)	DAÑOS EVALUADOS					
				COHESIÓN		ADHERENCIA		ROTURA DE AGREGADO	
				%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
SIN INMERSIÓN	1	25	88,38	35	2,64	65	4,90	0	0,00
	2	25	129,19	40	3,02	60	4,52	0	0,00
	3	25	162,43	55	4,15	45	3,39	0	0,00
	4	25	107,37	98	7,39	2	0,15	0	0,00
	5	25	89,19	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	6	25	112,57	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	7	25	142,44	100	7,54	0	0,00	0	0,00
PROMEDIO (%)				75,4		24,6		0,0	
CON INMERSIÓN	8	25	103,33	5	0,38	95	7,16	0	0,00
	9	25	52,17	5	0,38	95	7,16	0	0,00
	10	25	126,76	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	PROMEDIO (%)				36,7		63,3		0,0

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.23 Evaluación de daño en piedra Basalto (2)

CONDICIONES DE ENSAYO	#ENSAYOS	TEMPERATURA °C	CARGA (Kgf)	DAÑOS EVALUADOS					
				COHESIÓN		ADHERENCIA		ROTURA DE AGREGADO	
				%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
SIN INMERSIÓN	1	25	107,73	95	7,16	5	0,38	0	0,00
	2	25	141,31	96	7,24	4	0,30	0	0,00
	3	25	100,90	98	7,39	2	0,15	0	0,00
	4	25	133,25	95	7,16	5	0,38	0	0,00
	5	25	125,83	65	4,90	35	2,64	0	0,00
	6	25	102,89	30	2,26	70	5,28	0	0,00
	7	25	102,62	100	7,54	0	0,00	0	0,00
PROMEDIO (%)			82,7		17,3		0,0		
CON INMERSIÓN	8	25	77,15	50	3,77	50	3,77	0	0,00
	9	25	121,64	90	6,79	10	0,75	0	0,00
	10	25	125,44	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	PROMEDIO (%)			80,0		20,0		0,0	

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.24 Evaluación de daño en piedra Caliza

CONDICIONES DE ENSAYO	#ENSAYOS	TEMPERATURA °C	CARGA (Kgf)	DAÑOS EVALUADOS					
				COHESIÓN		ADHERENCIA		ROTURA DE AGREGADO	
				%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
SIN INMERSIÓN	1	25	69,38	96	7,24	4	0,30	0	0,00
	2	25	60,80	98	7,39	2	0,15	0	0,00
	3	25	59,96	98	7,39	2	0,15	0	0,00
	4	25	59,81	96	7,24	4	0,30	0	0,00
	5	25	66,95	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	6	25	79,66	97	7,31	3	0,23	0	0,00
	7	25	68,20	65	4,90	35	2,64	0	0,00
PROMEDIO (%)			92,9		7,1		0,0		
CON INMERSIÓN	8	25	48,10	34	2,56	66	4,98	0	0,00
	9	25	46,93	20	1,51	80	6,03	0	0,00
	10	25	56,60	18	1,36	82	6,18	0	0,00
	PROMEDIO (%)			24,0		76,0		0,0	

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.25 Evaluación de daño en piedra Depósitos Aluviales

CONDICIONES DE ENSAYO	#ENSAYOS	TEMPERATURA °C	CARGA (Kgf)	DAÑOS EVALUADOS					
				COHESIÓN		ADHERENCIA		ROTURA DE AGREGADO	
				%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
SIN INMERSIÓN	1	25	87,73	35	2,64	0	0,00	65	4,90
	2	25	96,43	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	3	25	82,82	98	7,39	2	0,15	0	0,00
	4	25	127,33	99	7,46	1	0,08	0	0,00
	5	25	85,45	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	6	25	99,80	94	7,09	6	0,45	0	0,00
	7	25	113,45	100	7,54	0	0,00	0	0,00
PROMEDIO (%)				89,4		1,3		9,3	
CON INMERSIÓN	8	25	103,10	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	9	25	105,54	94	7,09	6	0,45	0	0,00
	10	25	76,68	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	PROMEDIO (%)				98,0		2,0		0,0

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.26 Evaluación de daño en piedra Granito

CONDICIONES DE ENSAYO	#ENSAYOS	TEMPERATURA °C	CARGA (Kgf)	DAÑOS EVALUADOS					
				COHESIÓN		ADHERENCIA		ROTURA DE AGREGADO	
				%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
SIN INMERSIÓN	1	25	93,02	98	7,39	2	0,15	0	0,00
	2	25	110,26	96	7,24	4	0,30	0	0,00
	3	25	106,62	25	1,89	75	5,66	0	0,00
	4	25	92,75	82	6,18	18	1,36	0	0,00
	5	25	148,59	99	7,46	1	0,08	0	0,00
	6	25	151,56	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	7	25	170,20	100	7,54	0	0,00	0	0,00
PROMEDIO (%)				85,7		14,3		0,0	
CON INMERSIÓN	8	25	126,85	88	6,64	12	0,90	0	0,00
	9	25	125,92	92	6,94	8	0,60	0	0,00
	10	25	133,69	75	5,66	25	1,89	0	0,00
	PROMEDIO (%)				85,0		15,0		0,0

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.27 Evaluación de daño en piedra Lutita

CONDICIONES DE ENSAYO	#ENSAYOS	TEMPERATURA °C	CARGA (Kgf)	DAÑOS EVALUADOS					
				COHESIÓN		ADHERENCIA		ROTURA DE AGREGADO	
				%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
SIN INMERSIÓN	1	25	115,43	2	0,15	98	7,39	0	0,00
	2	25	120,67	85	6,41	15	1,13	0	0,00
	3	25	116,19	50	3,77	50	3,77	0	0,00
	4	25	111,45	85	6,41	15	1,13	0	0,00
	5	25	92,90	50	3,77	50	3,77	0	0,00
	6	25	93,54	20	1,51	80	6,03	0	0,00
	7	25	116,02	10	0,75	90	6,79	0	0,00
PROMEDIO (%)				43,1		56,9		0,0	
CON INMERSIÓN	8	25	65,15	60	4,52	40	3,02	0	0,00
	9	25	85,00	70	5,28	30	2,26	0	0,00
	10	25	105,32	80	6,03	20	1,51	0	0,00
	PROMEDIO (%)				70,0		30,0		0,0

FUENTE: AUTOR

Tabla 4.28 Evaluación de daño en piedra Pizarra Tóbacea

CONDICIONES DE ENSAYO	#ENSAYOS	TEMPERATURA °C	CARGA (Kgf)	DAÑOS EVALUADOS					
				COHESIÓN		ADHERENCIA		ROTURA DE AGREGADO	
				%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²
SIN INMERSIÓN	1	25	94,88	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	2	25	95,57	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	3	25	73,28	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	4	25	96,14	85	6,41	15	1,13	0	0,00
	5	25	121,07	100	7,54	0	0,00	0	0,00
	6	25	103,04	40	3,02	60	4,52	0	0,00
	7	25	113,30	70	5,28	30	2,26	0	0,00
PROMEDIO (%)				85,0		15,0		0,0	
CON INMERSIÓN	8	25	87,80	55	4,15	45	3,39	0	0,00
	9	25	72,40	10	0,75	90	6,79	0	0,00
	10	25	66,76	30	2,26	70	5,28	0	0,00
	PROMEDIO (%)				31,7		68,3		0,0

FUENTE: AUTOR

4.6. Comparación de las fallas en las muestras sin y con inmersión

En la tabla 4.29 se pueden observar los valores promedios de los tipos de fallas según el porcentaje del área aplicada.

Tabla 4.29 Variación de los porcentajes promedios de las fallas en las muestras sin y con inmersiones

Tipo de Roca	SIN INMERSIÓN			CON INMERSIÓN			% de incremento de falla por adherencia
	Cohesión	Adherencia	Rotura de Agregado	Cohesión	Adherencia	Rotura de Agregado	
Andesita	76,4	23,6	0,0	54,3	45,7	0,0	22,1
Argilita	95,9	0,3	3,9	88,3	11,7	0,0	11,4
Basalto 1	75,4	24,6	0,0	36,7	63,3	0,0	38,8
Basalto 2	82,7	17,3	0,0	80,0	20,0	0,0	2,7
Caliza	92,9	7,1	0,0	24,0	76,0	0,0	68,9
Depositos Aluviales	89,4	1,3	9,3	98,0	2,0	0,0	0,7
Granito	85,7	14,3	0,0	85,0	15,0	0,0	0,7
Lutita	43,1	56,9	0,0	70,0	30,0	0,0	-26,9
Pizarra Tobácea	85,0	15,0	0,0	31,7	68,3	0,0	53,3

FUENTE: AUTOR

El efecto del agua en el ensayo bajo estudio deberá tener sin duda cierto efecto en la adhesión agregado – asfalto por lo que se tiene que producir en mayor o menor medida un incremento en el porcentaje de área fallada por adherencia.

En el cuadro anterior se observa que el mayor incremento de falla por adherencia ocurre en la roca Caliza (68,9%) seguido por la Pizarra (53,3%), mientras que los valores menores corresponden al Granito y Depósitos Aluviales, ambas con (0,7%).

En este análisis también se obtuvo un resultado improcedente para el caso de la Lutita.

CAPITULO V

5. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO EMPLEANDO EL SOFTWARE STATGRAPHICS

5.1. Introducción

En la concepción de este trabajo, más allá de los límites en el tiempo para su desarrollo, se consideró emplear 7 muestras para la prueba con pistón sin inmersión para poder realizar una valoración estadística, aunque fuese con muestras pequeñas.

Para la elaboración de los siguientes resúmenes de análisis, de todos los ensayos experimentales realizados, solo se consideró las cargas máximas de despegue ya que los valores de desplazamientos y áreas (energía a carga máxima), presentan usualmente coeficientes de variación más elevados que el correspondiente a las cargas, que llegan a ser insignificativos para los siguientes análisis.

5.2. Resumen para roca Andesita

Tabla 5. 1 Resumen estadístico para roca Andesita

Recuento	7
Promedio	746.429
Desviación Estándar	142.346
Coefficiente de Variación	19.0702%
Mínimo	551.0
Máximo	899.0
Rango	348.0
Sesgo Estandarizado	-0.619439
Curtosis Estandarizada	-0.894751

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para ANDESITA Carga Newton. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra

proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 5. 2 Frecuencias para roca Andesita

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	500.0		0	0.0000	0	0.0000
1	500.0	600.0	550.0	2	0.2857	2	0.2857
2	600.0	700.0	650.0	1	0.1429	3	0.4286
3	700.0	800.0	750.0	0	0.0000	3	0.4286
4	800.0	900.0	850.0	4	0.5714	7	1.0000
	mayor de	900.0		0	0.0000	7	1.0000

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Media = 746.429 Desviación Estándar = 142.346

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de ANDESITA Carga Newton en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de la lista de Opciones Gráficas.

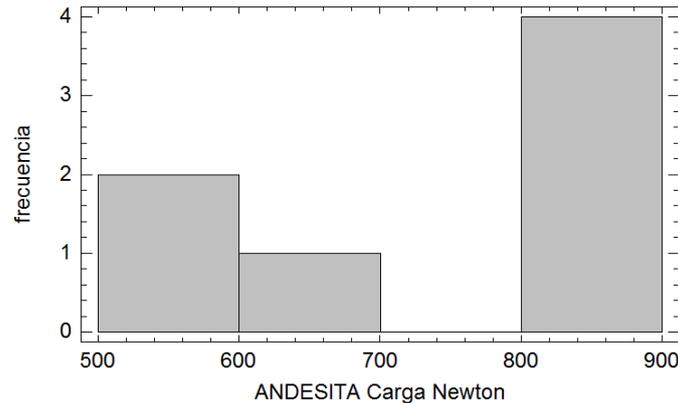


FIGURA 5. 1 Gráfica de Histograma roca Andesita
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Intervalos de Confianza para ANDESITA Carga Newton

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 746.429 +/- 131.648 [614.78, 878.077]

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [91.7266, 313.454]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de ANDESITA Carga Newton. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza, que la media verdadera de ANDESITA Carga Newton se encuentra en algún lugar entre 614.78 y 878.077, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 91.7266 y 313.454.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

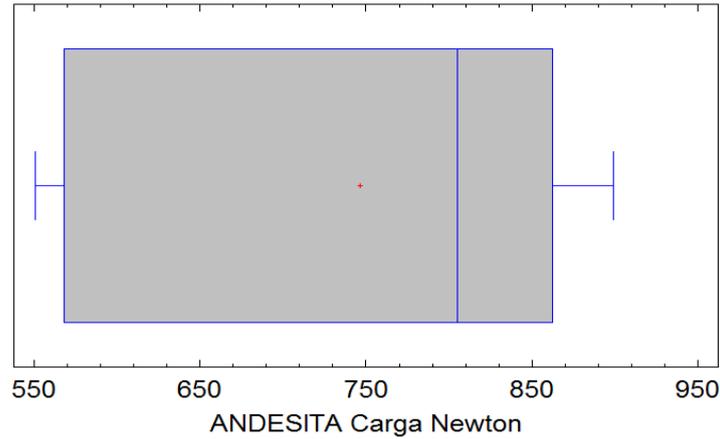


FIGURA 5. 2 Gráfica de Cajas y Bigotes roca Andesita
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

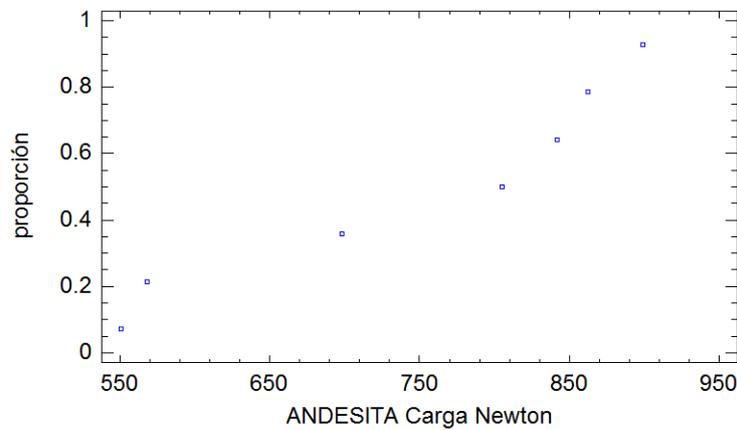


FIGURA 5. 3 Gráfica de Cuantiles roca Andesita
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

5.3. Resumen roca Argilita

Tabla 5. 3 Resumen estadístico para roca Argilita

Recuento	7
Promedio	859.143
Desviación Estándar	88.4297
Coefficiente de Variación	10.2928%
Mínimo	765.0
Máximo	971.0
Rango	206.0
Sesgo Estandarizado	0.383899
Curtosis Estandarizada	-1.1275

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para ARGILITA Carga Newton. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 5. 4 Frecuencias para roca Argilita

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	700.0		0	0.0000	0	0.0000
1	700.0	775.0	737.5	1	0.1429	1	0.1429
2	775.0	850.0	812.5	3	0.4286	4	0.5714
3	850.0	925.0	887.5	1	0.1429	5	0.7143
4	925.0	1000.0	962.5	2	0.2857	7	1.0000
	mayor de	1000.0		0	0.0000	7	1.0000

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Media = 859.143 Desviación Estándar = 88.4297

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de ARGILITA Carga Newton en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de la lista de Opciones Gráficas.

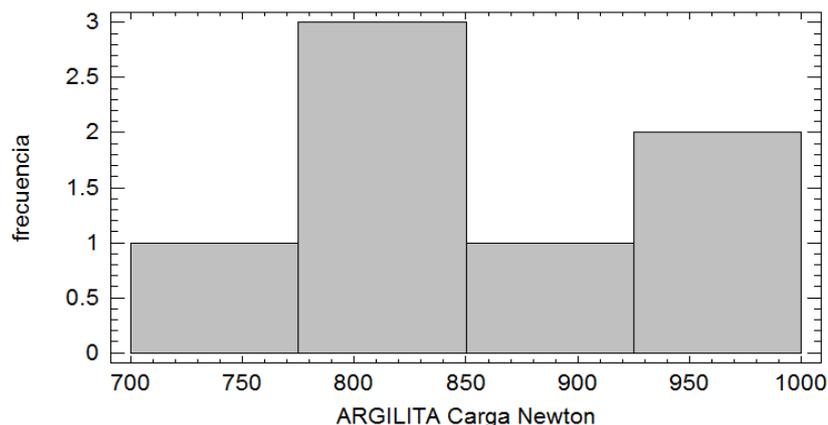


FIGURA 5. 4 Gráfica de Histograma roca Argilita
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Intervalos de Confianza para ARGILITA Carga Newton

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 859.143 +/- 81.784 [777.359, 940.927]

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [56.9835, 194.728]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de ARGILITA Carga Newton. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza, que la media verdadera de ARGILITA Carga Newton se encuentra en algún lugar entre 777.359 y 940.927, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 56.9835 y 194.728.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de

Opciones Tabulares, ó escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

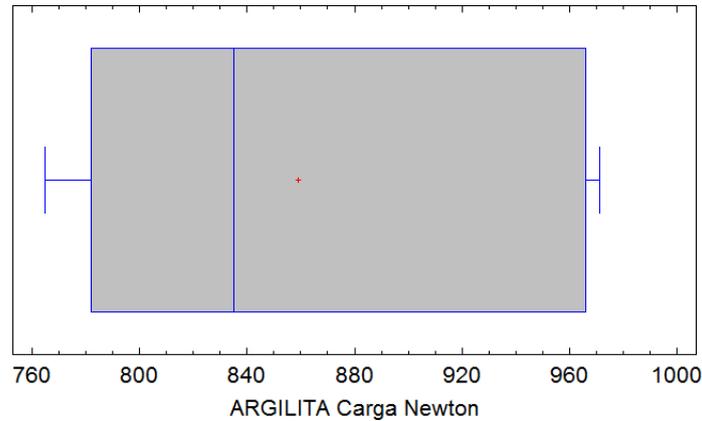


FIGURA 5. 5 Gráfica de Cajas y Bigotes roca Argilita
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

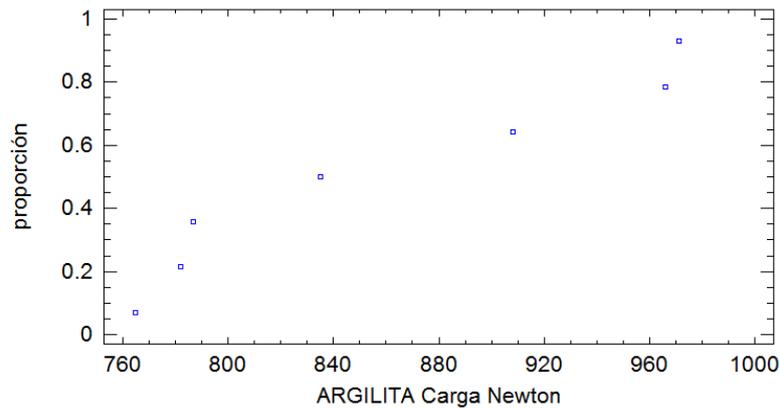


FIGURA 5. 6 Gráfica de Cuantiles roca Argilita
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

5.4. Resumen roca Basalto 1

Tabla 5. 5 Resumen estadístico para roca Basalto 1

Recuento	7
Promedio	1164.14
Desviación Estándar	269.747
Coefficiente de Variación	23.1713%
Mínimo	866.0
Máximo	1592.0
Rango	726.0
Sesgo Estandarizado	0.504366
Curtosis Estandarizada	-0.456782

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para BASALTO 1 Carga Newton. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 5. 6 Frecuencias para roca Basalto 1

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	800.0		0	0.0000	0	0.0000
1	800.0	1000.0	900.0	2	0.2857	2	0.2857
2	1000.0	1200.0	1100.0	2	0.2857	4	0.5714
3	1200.0	1400.0	1300.0	2	0.2857	6	0.8571
4	1400.0	1600.0	1500.0	1	0.1429	7	1.0000
	mayor de	1600.0		0	0.0000	7	1.0000

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Media = 1164.14 Desviación Estándar = 269.747

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de BASALTO 1 Carga Newton en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de la lista de Opciones Gráficas.

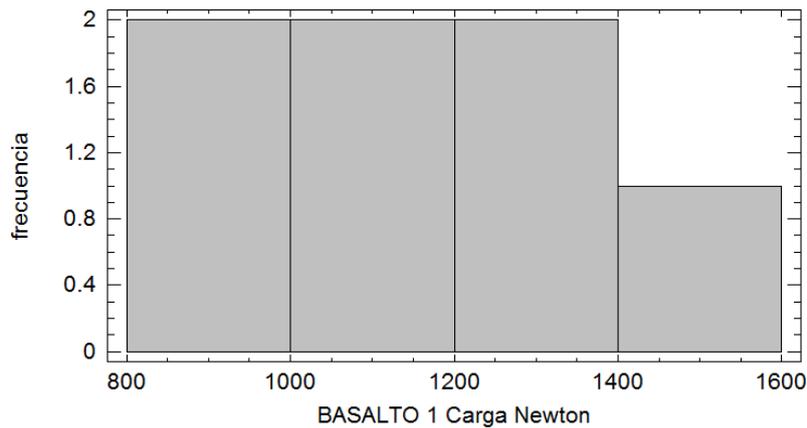


FIGURA 5. 7 Gráfica de Histograma roca Basalto 1
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Intervalos de Confianza para BASALTO 1 Carga Newton

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 1164.14 +/- 249.475 [914.668, 1413.62]

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [173.823, 594.0]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de BASALTO 1 Carga Newton. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza, que la media verdadera de BASALTO 1 Carga Newton se encuentra en algún lugar entre 914.668 y 1413.62, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 173.823 y 594.0.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

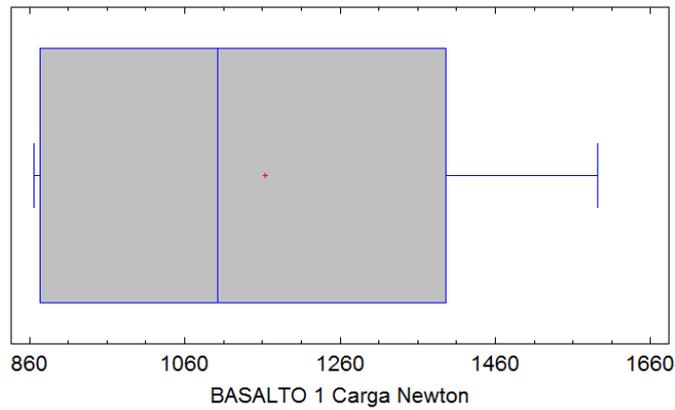


FIGURA 5. 8 Gráfica de cajas y bigotes roca Basalto 1
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

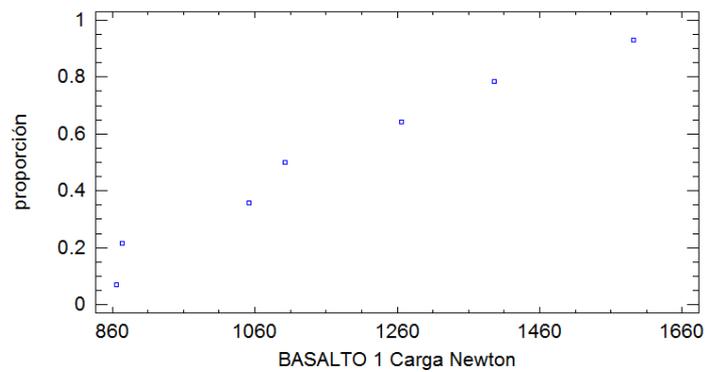


FIGURA 5. 9 Gráfica de Cuantiles roca Basalto 1
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

5.5. Resumen roca Basalto 2

Tabla 5. 7 Resumen estadístico para roca Basalto 2

Recuento	7
Promedio	1140.43
Desviación Estándar	164.046
Coefficiente de Variación	14.3846%
Mínimo	989.0
Máximo	1385.0
Rango	396.0
Sesgo Estandarizado	0.635718
Curtosis Estandarizada	-0.962758

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para BASALTO 2 Carga Newton. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de

forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 5. 8 Frecuencias para roca Basalto 2

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	900.0		0	0.0000	0	0.0000
1	900.0	1000.0	950.0	1	0.1429	1	0.1429
2	1000.0	1100.0	1050.0	3	0.4286	4	0.5714
3	1100.0	1200.0	1150.0	0	0.0000	4	0.5714
4	1200.0	1300.0	1250.0	1	0.1429	5	0.7143
5	1300.0	1400.0	1350.0	2	0.2857	7	1.0000
	mayor de	1400.0		0	0.0000	7	1.0000

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Media = 1140.43 Desviación Estándar = 164.046

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de BASALTO 2 Carga Newton en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de la lista de Opciones Gráficas.

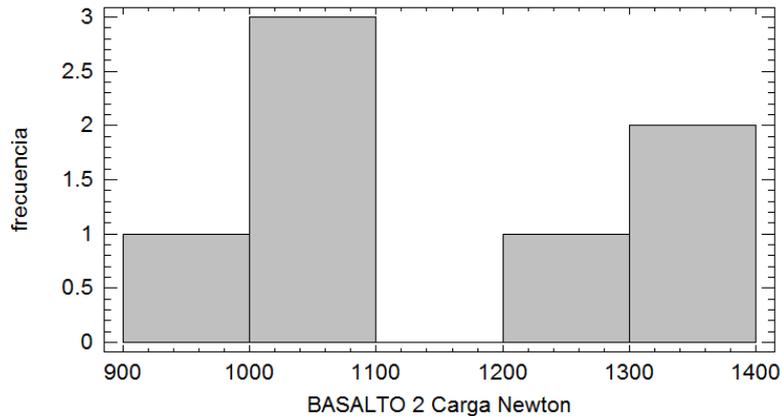


FIGURA 5. 10 Gráfica de Histograma roca Basalto 2
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Intervalos de Confianza para BASALTO 2 Carga Newton

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 1140.43 +/- 151.717 [988.711, 1292.15]

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [105.71, 361.239]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de BASALTO 2 Carga Newton. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza, que la media verdadera de BASALTO 2 Carga Newton se encuentra en algún lugar entre 988.711 y 1292.15, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 105.71 y 361.239.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

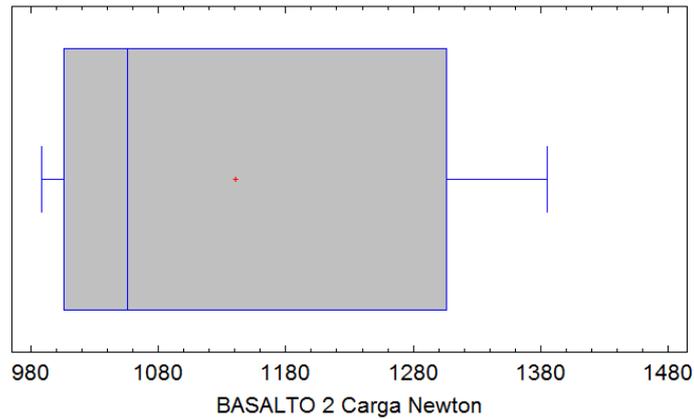


FIGURA 5. 11 Gráfica de Cajas y Bigotes roca Basalto 2
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

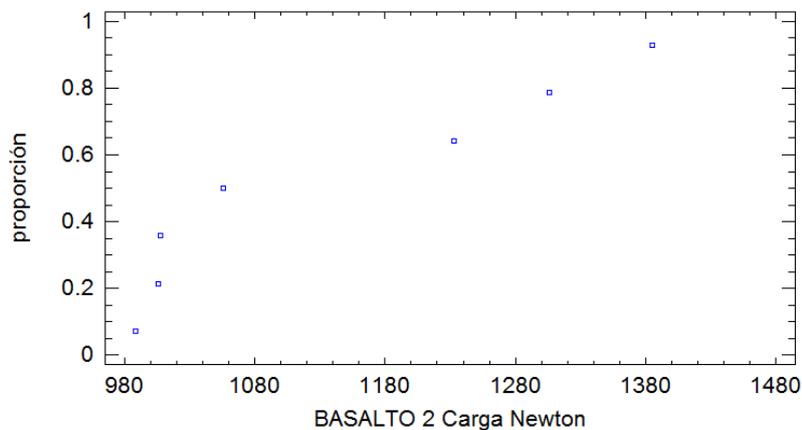


FIGURA 5. 12 Gráfica de Cuantiles roca Basalto 2
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

5.6. Resumen roca Caliza

Tabla 5. 9 Resumen estadístico para roca Caliza

Recuento	7
Promedio	650.714
Desviación Estándar	69.8492
Coefficiente de Variación	10.7342%
Mínimo	586.0
Máximo	781.0
Rango	195.0
Sesgo Estandarizado	1.15404
Curtosis Estandarizada	0.587429

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para CALIZA Carga Newton. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de

forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 5. 10 Frecuencias para roca Caliza

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>			<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>
<i>Clase</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Punto Medio</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Relativa</i>	<i>Acumulada</i>	<i>Rel. Acum.</i>
	menor o igual	570.0		0	0.0000	0	0.0000
1	570.0	650.0	610.0	3	0.4286	3	0.4286
2	650.0	730.0	690.0	3	0.4286	6	0.8571
3	730.0	810.0	770.0	1	0.1429	7	1.0000
	mayor de	810.0		0	0.0000	7	1.0000

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Media = 650.714 Desviación Estándar = 69.8492

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de CALIZA Carga Newton en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de la lista de Opciones Gráficas.

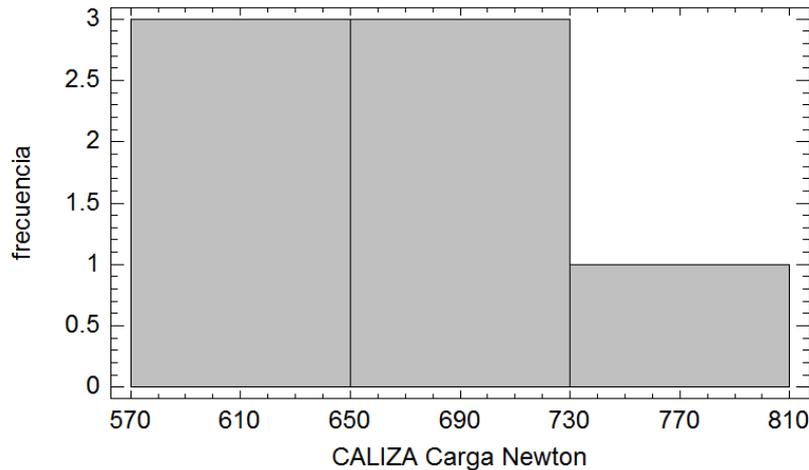


FIGURA 5. 13 Gráfica de Histograma roca Caliza
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Intervalos de Confianza para CALIZA Carga Newton

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 650.714 +/- 64.5999 [586.114, 715.314]

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [45.0103, 153.812]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de CALIZA Carga Newton. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza, que la media verdadera de CALIZA Carga Newton se encuentra en algún lugar entre 586.114 y 715.314, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 45.0103 y 153.812.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de

Opciones Tabulares, ó escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

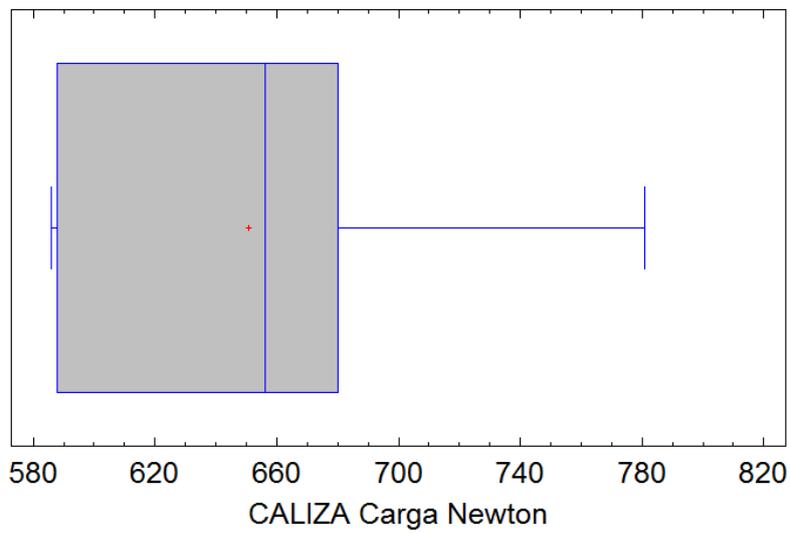


FIGURA 5. 14 Gráfica de Caja y Bigotes roca Caliza
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

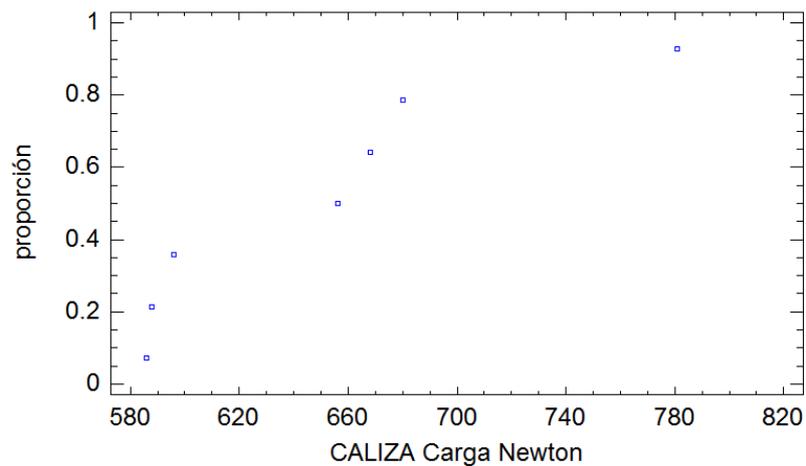


FIGURA 5. 15 Gráfica de Cuantiles roca Caliza
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

5.7. Resumen roca Depósitos Aluviales

Tabla 5. 11 Resumen estadístico para roca Depósitos Aluviales

Recuento	7
Promedio	970.286
Desviación Estándar	159.629
Coefficiente de Variación	16.4518%
Mínimo	812.0
Máximo	1248.0
Rango	436.0
Sesgo Estandarizado	1.02693
Curtosis Estandarizada	-0.0272311

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para ALUVIALES Carga Newton. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 5. 12 Frecuencias para roca Depósitos Aluviales

	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	800.0		0	0.0000	0	0.0000
1	800.0	900.0	850.0	3	0.4286	3	0.4286
2	900.0	1000.0	950.0	2	0.2857	5	0.7143
3	1000.0	1100.0	1050.0	0	0.0000	5	0.7143
4	1100.0	1200.0	1150.0	1	0.1429	6	0.8571
5	1200.0	1300.0	1250.0	1	0.1429	7	1.0000
	mayor de	1300.0		0	0.0000	7	1.0000

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Media = 970.286 Desviación Estándar = 159.629

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de ALUVIALES Carga Newton en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de la lista de Opciones Gráficas.

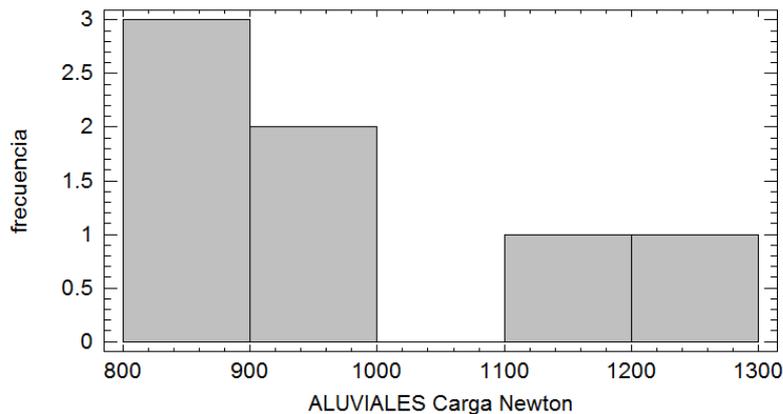


FIGURA 5. 16 Gráfica de Histograma roca Depósitos Aluviales

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Intervalos de Confianza para ALUVIALES Carga Newton

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 970.286 +/- 147.633 [822.653, 1117.92]

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [102.864, 351.514]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de ALUVIALES Carga Newton. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza, que la media verdadera de ALUVIALES Carga Newton se encuentra en algún lugar entre 822.653 y 1117.92, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 102.864 y 351.514.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

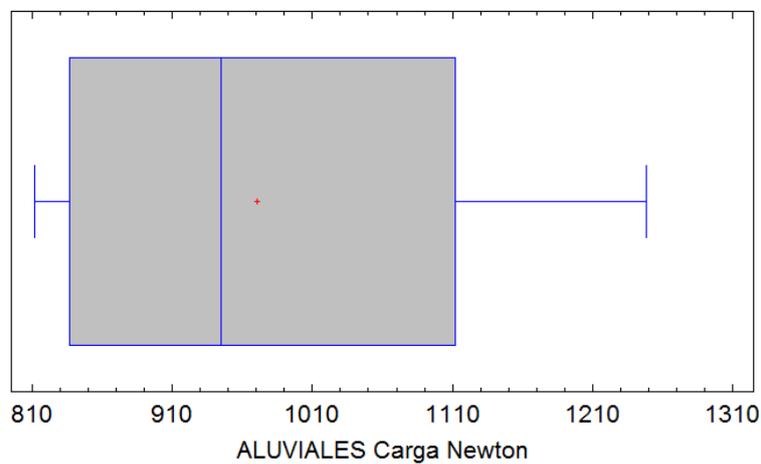


FIGURA 5. 17 Gráfica de Caja y Bigotes roca Depósitos Aluviales
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

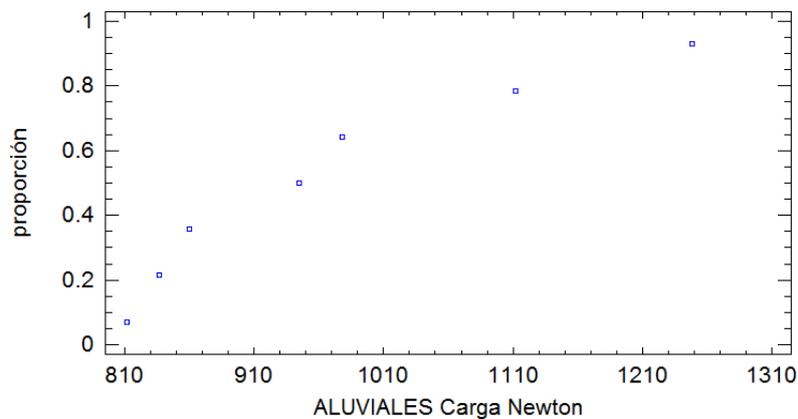


FIGURA 5. 18 Gráfica de Cuantiles roca Depósitos Aluviales
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

5.8. Resumen roca Granito

Tabla 5. 13 Resumen estadístico para roca Granito

Recuento	7
Promedio	1222.14
Desviación Estándar	307.789
Coefficiente de Variación	25.1843%
Mínimo	909.0
Máximo	1668.0
Rango	759.0
Sesgo Estandarizado	0.437481
Curtosis Estandarizada	-1.01956

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para GRANITO Carga Newton. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 5. 14 Frecuencias para roca Granito

	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	870.0		0	0.0000	0	0.0000
1	870.0	1036.67	953.333	2	0.2857	2	0.2857
2	1036.67	1203.33	1120.0	2	0.2857	4	0.5714
3	1203.33	1370.0	1286.67	0	0.0000	4	0.5714
4	1370.0	1536.67	1453.33	2	0.2857	6	0.8571
5	1536.67	1703.33	1620.0	1	0.1429	7	1.0000
6	1703.33	1870.0	1786.67	0	0.0000	7	1.0000
	mayor de	1870.0		0	0.0000	7	1.0000

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Media = 1222.14 Desviación Estándar = 307.789

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de GRANITO Carga Newton en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de la lista de Opciones Gráficas.

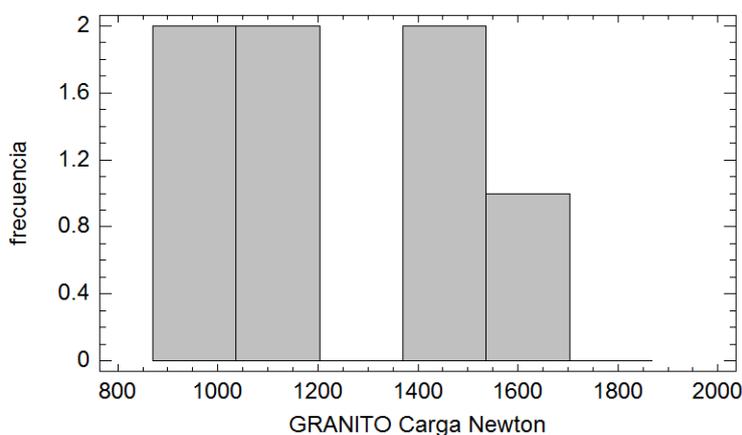


FIGURA 5. 19 Gráfica de Histograma roca Granito
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Intervalos de Confianza para GRANITO Carga Newton

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 1222.14 +/- 284.658 [937.485, 1506.8]

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [198.337, 677.77]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de GRANITO Carga Newton. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza, que la media verdadera de GRANITO Carga Newton se encuentra en algún lugar entre 937.485 y 1506.8, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 198.337 y 677.77.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

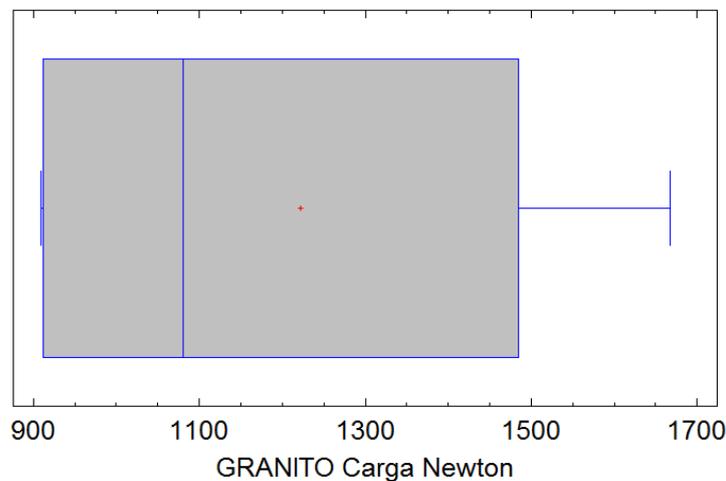


FIGURA 5. 20 Gráfica de Caja y Bigotes roca Granito
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

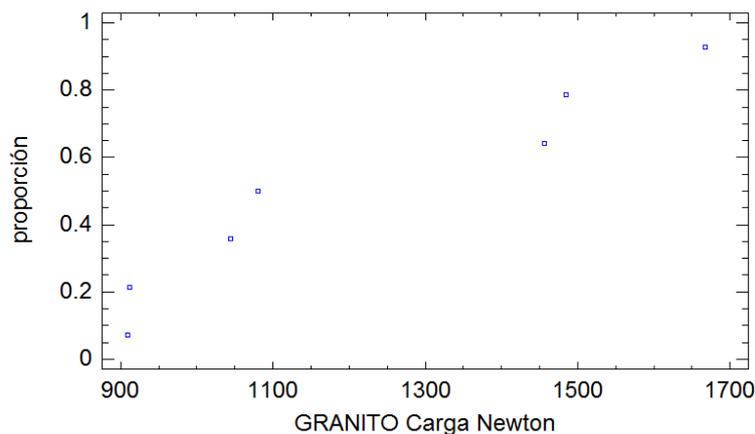


FIGURA 5. 21 Gráfica de Cuantiles roca Granito
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

5.9. Resumen roca Lutita

Tabla 5. 15 Resumen estadístico para roca Lutita

Recuento	7
Promedio	1072.71
Desviación Estándar	111.939
Coefficiente de Variación	10.4351%
Mínimo	910.0
Máximo	1183.0
Rango	273.0
Sesgo Estandarizado	-1.07453
Curtosis Estandarizada	-0.532775

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para LUTITA Carga Newton. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 5. 16 Frecuencias para roca Lutita

	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	900.0		0	0.0000	0	0.0000
1	900.0	960.0	930.0	2	0.2857	2	0.2857
2	960.0	1020.0	990.0	0	0.0000	2	0.2857
3	1020.0	1080.0	1050.0	0	0.0000	2	0.2857
4	1080.0	1140.0	1110.0	4	0.5714	6	0.8571
5	1140.0	1200.0	1170.0	1	0.1429	7	1.0000
	mayor de	1200.0		0	0.0000	7	1.0000

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Media = 1072.71 Desviación Estándar = 111.939

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de LUTITA Carga Newton en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en

cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de la lista de Opciones Gráficas.

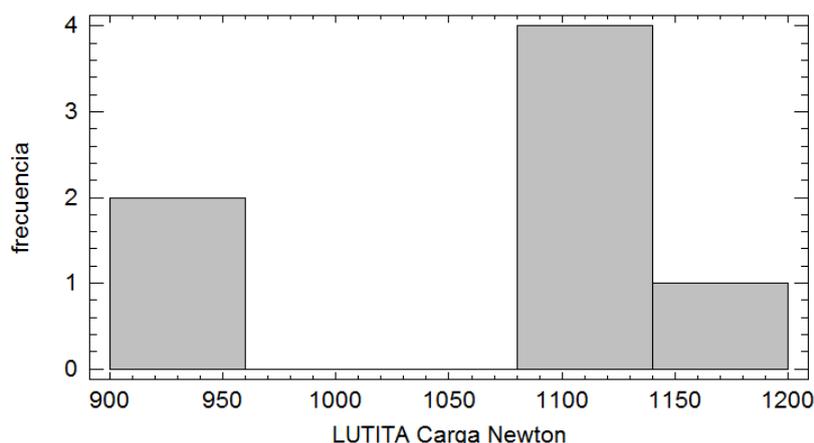


FIGURA 5. 22 Gráfica de Histograma roca Lutita
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Intervalos de Confianza para LUTITA Carga Newton

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 1072.71 +/- 103.526 [969.188, 1176.24]

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [72.1325, 246.496]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de LUTITA Carga Newton. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza, que la media verdadera de LUTITA Carga Newton se encuentra en algún lugar entre 969.188 y 1176.24, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 72.1325 y 246.496.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza

para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

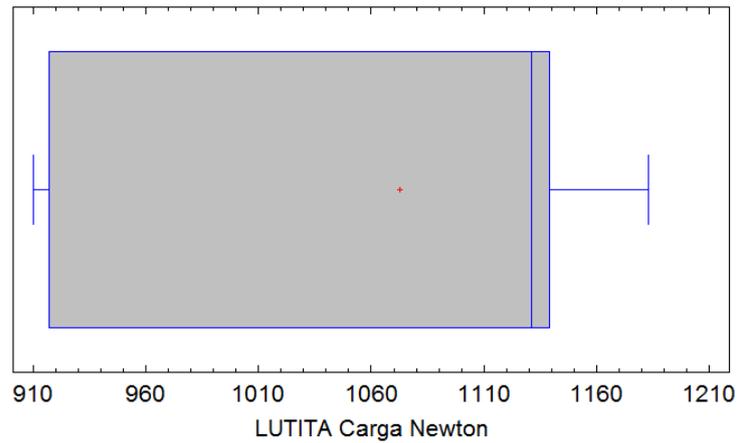


FIGURA 5. 23 Gráfica de Caja y Bigotes roca Lutita
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

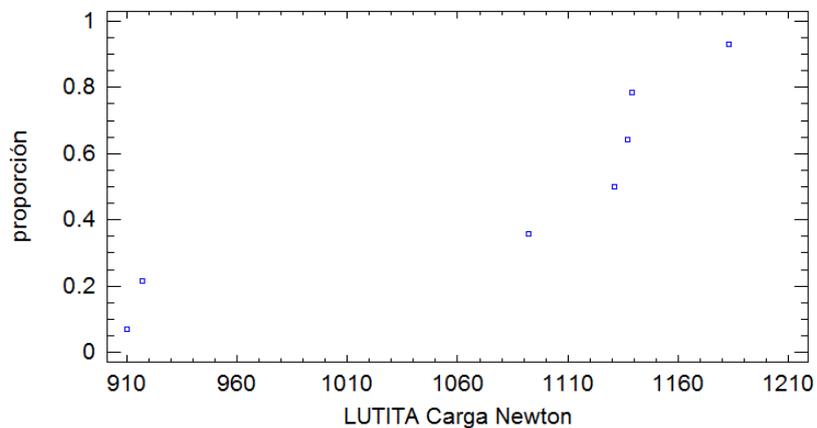


FIGURA 5. 24 Gráfica de Cuantiles roca Lutita
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

5.10. Resumen roca Pizarra

Tabla 5. 17 Resumen estadístico para roca Pizarra

Recuento	7
Promedio	976.143
Desviación Estándar	149.76
Coefficiente de Variación	15.342%
Mínimo	718.0
Máximo	1186.0
Rango	468.0
Sesgo Estandarizado	-0.429252
Curtosis Estandarizada	0.445932

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para PIZARRA Carga Newton. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Tabla 5. 18 Frecuencias para roca Pizarra

	Límite	Límite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	690.0		0	0.0000	0	0.0000
1	690.0	840.0	765.0	1	0.1429	1	0.1429
2	840.0	990.0	915.0	3	0.4286	4	0.5714
3	990.0	1140.0	1065.0	2	0.2857	6	0.8571
4	1140.0	1290.0	1215.0	1	0.1429	7	1.0000
	mayor de	1290.0		0	0.0000	7	1.0000

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Media = 976.143 Desviación Estándar = 149.76

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de PIZARRA Carga Newton en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de la lista de Opciones Gráficas.

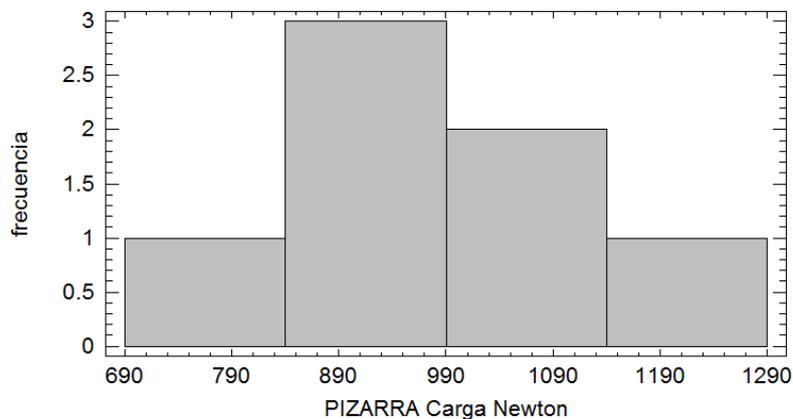


FIGURA 5. 25 Gráfica de Histograma roca Pizarra
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Intervalos de Confianza para PIZARRA Carga Newton

Intervalos de confianza del 95.0% para la media: 976.143 ± 138.506 [837.637, 1114.65]

Intervalos de confianza del 95.0% para la desviación estándar: [96.5045, 329.782]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95.0% para la media y la desviación estándar de PIZARRA Carga Newton. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95.0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95.0% de confianza, que la media verdadera de PIZARRA Carga Newton se encuentra en algún lugar entre 837.637 y 1114.65, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 96.5045 y 329.782.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, ó escoja Gráfico de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

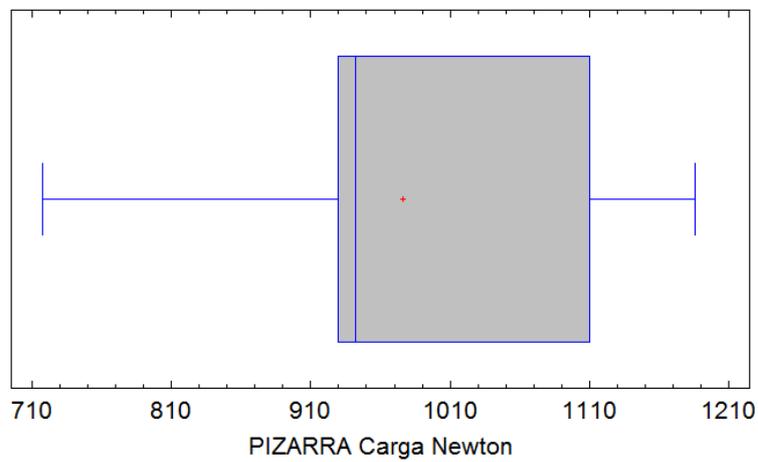


FIGURA 5. 26 Gráfica de Caja y Bigotes roca Pizarra
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

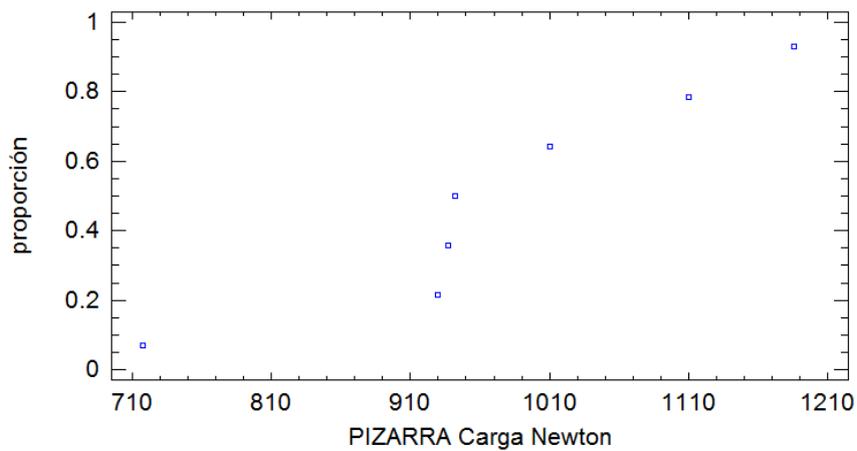


FIGURA 5. 27 Gráfica de Cuantiles roca Pizarra
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

CAPITULO VI

6.1. CONCLUSIONES

- a) Los resultados obtenidos por la carga sin inmersión en las 7 muestras de rocas cumplen estadísticamente los criterios de distribuciones normales, sin resultados aberrantes.
- b) A partir de las pruebas aplicando el procedimiento de PAP en las diferentes rocas, se aprecia una gran variabilidad en los valores promedio calculados para la resistencia a la ligadura tanto en las condiciones con y sin inmersión, lo que se conjuga en el daño en agua calculado a partir de la resistencia a la ligadura retenida.
- c) En las pruebas realizadas se observa que el mejor comportamiento en el agua lo presenta el Granito y los Depósitos Aluviales con 100% y 96,1% de porcentaje a la resistencia a la ligadura retenida. El peor comportamiento corresponde a la Lutita con 68,6%. considerando el porcentaje de reducción de la energía a la carga máxima los mejores resultados se presentan en las rocas Depósitos Aluviales y Granito con 0,7% y 8,5%
- d) Se aprecia para la prueba del pistón una fuerte incidencia del porcentaje de absorción en agua respecto al porcentaje de resistencia al despegue retenido. En general el porcentaje de absorciones menores que 1 implican una resistencia retenida alta (más del 90%)
- e) Con respecto al porcentaje de falla por adherencia, evaluada por la disminución del área (energía a carga máxima) bajo la curva en condiciones sin y con inmersión, se visualiza que el mejor comportamiento lo presentan las rocas Granito y Depósitos Aluviales, ambas con 0.7%. El peor comportamiento ocurre en las rocas Caliza 68.9% y Pizarra 53.3%.

6.2. RECOMENDACIONES

- a) Continuar con la investigación aplicando un mayor número de especímenes por cantera para los ensayos con inmersión en agua, que permita obtener mayor información estadística.
- b) Analizar la composición mineralógica de las diferentes rocas a utilizar en la investigación para poder tener una mejor caracterización de ellas.
- c) Ampliar el estudio de adherencia utilizando asfaltos con diferente origen o asfaltos mejorados con aditivos de adherencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, H. C. (2002). *NATURALEZA Y SOCIEDAD UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOGRAFÍA* (Primera ed.). (P. U. Perú, Ed.) Lima, Perú: Pontífica Universidad Católica Del Perú.
- apna. (2002). Recuperado el 2017, de <http://www.apnahouseoftrade.in/bitumen.htm>
- Asociados, N. H. (s.f.). *Nestor Huaman*. Obtenido de <http://www.nestorhuaman.pe/servicios>
- Asphalt Institute. (2002). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Lexington.
- Asphalt Machineries and Equipment*. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2017, de <http://www.e-asphalt.com/espectecnicas/esptecnica.htm>
- Aulestia, N., & Vila, R. (2007). *Criterios para mejorar los controles rutinarios de calidad a las mezclas asfálticas*. La Habana: CILA XV.
- Bahia, H., Kanitpong, K., & Wen, H. (2007). *Test Method to determine aggregate/asphalt adhesion properties and potential moisture damage*. Wisconsin.
- Barredo, S. (2012). *Introducción a la Geología y Geología General*. (M. G. Nieto, Ed.) Obtenido de <http://introgeo.gl.fcen.uba.ar/Introduccion/Tprocasyestrucsedim/TProcye strucsediment.PDF>
- Biológico, C. (Septiembre de 2012). *bierzobiologico.com*. Obtenido de <http://bierzobiologico.blogspot.com/>
- Botasso, G., & Segura, A. (26 de Agosto de 2013). *SCIELO*. Recuperado el Agosto de 2017, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132013000200003
- Botasso, H., Balige, M., González, R., Bisio, A., & Rebollo, O. (s.f.). *Nueva metodología para la valoración de la adherencia árido ligante*. Argentina.
- Carenas, M. B., Giner, J. L., González, J., & Pozo, M. (2014). *GEOLOGÍA*. (I. Cabal Ramos, & M. Eguiburu, Edits.) Madrid, España: Praninfo S.A.
- Cauca, U. d. (2007). (I. CIVIL, Editor) Obtenido de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-757-07.pdf
- CIVIL, I. (Junio de 2011). *INGENIERIA VICIL*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/estabilidad-quimica-de-los-agregados.html>

- CLEMSON. (2016). *CLEMSON COOPERATIVE EXTENSION*. Recuperado el Agosto de 2017, de <https://www.clemson.edu/extension/hgic/plants/pdf/hgic1650S.pdf>
- Correa, M. (29 de Febrero de 2016). *Apexperteam.com*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://apexperteam.blogspot.com/2016/02/InterfasesDeAdhesion.html>
- De la Vara, R., & Gutiérrez, H. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw Hill Interamericana.
- Díaz, K. (2014). *Mezclas Bituminosas*. Obtenido de https://www.google.com.ec/search?q=temperatura+asfalto&tbm=isch&tbis=rimg:CeilNoSM1Yrfljpp6y1TF9Mb3Y-0EMg_16m_10KcQTIFfgPgs6ZrTtZ_1MUklpvFxEUWk-WeJaHCiAzOHcVikDBzjbVKCoSCenrLVMX0xvdEcJplQWEMsUZKhIj7QQyD_1qb_1QRdYJeqf4hyzUqEgkpxBOUV-A-CxE41t9DMH-NEioSCTpmt
- DUOC. (17 de Junio de 2013). *SlideShare*. Recuperado el Agosto de 2017, de <https://www.google.com.ec/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiqkYPY7frVAhVosFQKHaksAokQjhwIBQ&url=https%3A%2F%2Fes.slideshare.net%2Fjacksblacks%2Fmateriales-ptreos-24326499&psig=AFQjCNFq3x5YDaVaaOHgFkqjcZVwwF7lfg&ust=1504041541942987>
- Escobar, S. C. (2010). *Materiales de Construcción para edificación y obra civil*. San Vicente, Alicante, España: Editorial Club Universitario.
- Gamba, G., & Merccado, J. (2004). *Concepción de un ensayo para establecer el efecto de la presión de poro en el deterioro por humedad de las mezclas asfálticas*. Bucaramanga.
- Garcia, J. A. (01 de Octubre de 2015). *Geología Artesano Garcia*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://geologiaartezanogarcia.blogspot.com/2015/10/semana-05.html>
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J. A., & Delgado, H. (2005). *INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE*. Recuperado el Agosto de 2017, de SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt267.pdf>
- Gerencia, I. d. (s.f.). *MTC*. Recuperado el Agosto de 2017, de https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/EM-2000/seccion-10/mtc1005.pdf
- Gonzalez Sandoval, F. (2004). *Manual de Supervisión de Obras de Concreto* (2^o ed.). (NORIEGA, Ed.) Distrito Federal, México: LIMUSA.
- Gutiérrez, A., & Ramírez, L. (Noviembre de 2008). *Como saber si nuestra mezcla asfáltica será resistente a la acción del agua*. Rosario.

- Gutierrez, Z. (2016). *tantaaguaypodemosmorirosdesed*. Recuperado el Agosto de 2017, de <https://sites.google.com/site/tantaaguaypodemosmorirnosdesed/tension-super>
- H, E. (Abriel de 2011). *Notas de Concreto*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/mecanismo-de-la-reaccion-alkali.html>
- Hefer, A., & Little, D. (2005). *Adhesion in bitumen-aggregate systems and quantification of the effects of water on the adhesive bond*. Texas.
- Hernandez, A. (24 de Abril de 2012). *SlideShare*. Recuperado el Agosto de 2017, de <https://es.slideshare.net/Alberkar/la-dinmica-interna-del-planeta-2012-ii>
- Hugo (Ed.). (Marzo de 2012). (Blogspot.com, Productor) Recuperado el Agosto de 2017, de <http://libro-pavimentos.blogspot.com/2012/03/cementos-asfalticos.html>
- imcyc. (Agosto de 2011). Agregados-Determinacion de la masa específica y absorción de agua del agregado fino Metodo de prueba. (I. M. CONCRETO, Ed.) *EL CONCRETO EN LA OBRA*, 76-77. Recuperado el Agosto de 2017, de Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto : <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas48.pdf>
- imcyc. (Abril de 2017). *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.* Recuperado el Agosto de 2017, de imcyc: <http://www.imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Reparacion%20de%20Estructuras/REACTIVIDAD%20ALCALI%20AGREGADO.pdf>
- INGENIERIA CIVIL*. (Junio de 2011). Recuperado el Agosto de 2017, de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/06/forma-textura-y-limpieza-del-agregado.html>
- IngenieroCivil. (Octubre de 2013). *Ingeniero Civil Dopedia*. Recuperado el Agosto de 2017, de Blogspot.com: <http://civilingeniero.blogspot.com/2013/10/asfalto-definicion-es-una-sustancia.html>
- Interactive, P. (2012). *pavement interactive*. Recuperado el Agosto de 2017, de pavement interactive: <http://www.pavementinteractive.org/fine-aggregate-angularity/>
- Kraemer, C., & del Val, M. (1993). *Firmes y pavimentos*. Madrid.
- Larrea, S. (2015). *Estado del arte en el estudio de la adherencia entre el asfalto y el agregado mineral*. Guayaquil.
- León, H., & Lozano, A. (s.f.). *Tecnología del cemento asfáltico*.
- López, S. (Ed.). (19 de Septiembre de 2012). *ClubEnsayos.com*. Recuperado el 24 de Junio de 2017, de Club Ensayos:

<https://www.clubensayos.com/Ciencia/ROCAS-%C3%8DGNEAS/299479.html>

losadhesivos.com. (2015). Obtenido de <http://www.losadhesivos.com/teorias-adhesion.html>

Lozano, G., & Alcivar, A. (2016). Guayaquil, Ecuador.

Madrid, M. (2010). *ULPGC*. Recuperado el Agosto de 2017, de Universidad de Las Palmas de Gran Canaria: https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/curso_de_adhesivos.pdf

McGennis, R., Anderson, M., Kennedy, T., & Solaimanian, M. (1994). *Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de Superpave*. Lexington: Asphalt Institute.

Melo Jimenez, L. J. (Junio de 2014). *Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/47230/1/leidyjohannamelojimenez.2014>

Mijas, I. S. (5 de Abril de 2016). *Ciencias de la Naturaleza 2ºA*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://cienciasnaturaleza2a.blogspot.com/2016/04/apuntes-de-clase-rocas-sedimentarias.html>

MOP-001F. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES*. Quito.

Moraes, R., Velasquez, R., & Bahia, H. (2011). *Measuring th effect of moisture on asphalt-aggregate bond with the bitumen bond strenght test*. Washington.

MTD. (2000). *MTD.GOB.PE*. Obtenido de https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/EM-2000/seccion-02/mtc212.pdf

NTE INEN, 2. E. (20 de Mayo de 2014). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de INEN: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13455/ANEXO%202-%20INEN%20TABLA%207.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Padilla, A. (2010). *UPC*. Recuperado el Agosto de 2017, de Universidad Politécnica de Cataluña: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-13.pdf?sequence=13>

Pardo, D. (2006). *Universidad Austral de Chile*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcp226p/doc/bmfcp226p.pdf>

- PARIS. (2005). *PARIS INGENIEROS S.A.S.* Recuperado el 2017, de <http://parisingenieros.blogspot.com/2015/04/disenio-de-pavimentos-iv-efecto-de.html>
- Parodi, P. (29 de Abril de 2009). *Zona Ingenieria*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://zonaingenieria.com/asfaltos-especificaciones-tecnicas/>
- Pasotti, D. P. (s.f.). *FCEIA*. (U. N. Rosario, Ed.) Obtenido de Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura: <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Rocas%20Sedimentarias.pdf>
- REPSOL. (2016). *REPSOL*. Recuperado el Agosto de 2017, de https://www.repsol.com/pe_es/peru/productos-servicios/asfaltos/fisico-quimica/composicion/
- Rocha, S. (2013). *CONSTRUAPRENDE*. Recuperado el Agosto de 2017, de <http://www.construaprende.com/docs/lab/335-practica-densidad-absorcion-agregados>
- Roco, V., Fuentes, C., & Valverde, S. (s.f.). *Universidad de Concepción CHILE*. (UDEC, Ed.) Recuperado el Agosto de 2017, de http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/33VictorRocoResistenciaDeslizamiento.pdf
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, H. A. (2015). *PAVIMENTOS Materiales, construcción y diseño* (Newcomlab S.L.L. ed.). Bogotá, Colombia: ECOE.
- Salazar Delgado, J. (Diciembre de 2011). Métodos y Materiales. *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano, 1*. (RTCA, Ed.)
- StatPoint Inc. (2006). *Statgraphics Centurion XV Manual del Usuario*. Estados Unidos.
- USOM. (2002). *Universidad de Sonora*. Recuperado el 2017, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>
- Vila. (2016). Clase 4. Agregados minerales para mezclas asfálticas. Tipos. Propiedades. Exigencias. *Pavimentos*. Guayaquil, Ecuador.
- Vila. (2016). Mezclas Asfálticas. Guayaquil, Ecuador.
- Vila, R. (Julio de 2016). Clase 3. Asfaltos. Tipos. Propiedades. Exigencias. *PAVIMENTOS*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

ANEXOS

ANEXO 1: Clasificación del cemento asfáltico por grado de viscosidad



Ensayo en viscosímetro Brookfield



Ensayo en viscosímetro Brookfield



Ensayo de penetración



Determinación de gravedad específica del cemento asfáltica



Envejecimiento primario en horno RTFOT



Ensayo de ductilidad

ANEXO 2: Clasificación por grado de desempeño PG

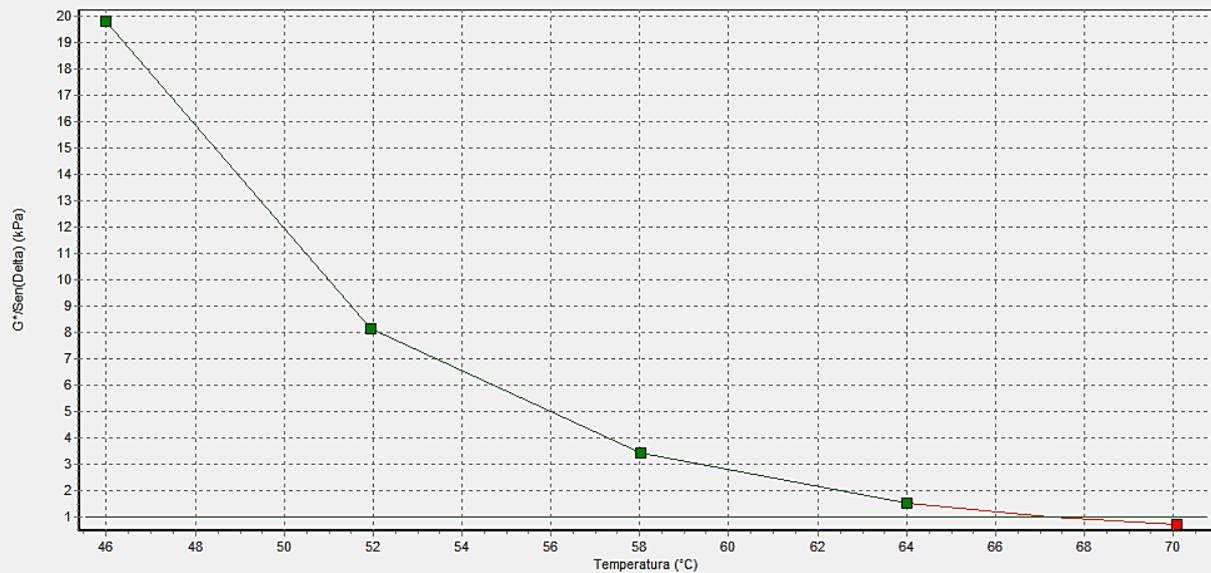
Grade Results					
PG64	Temperatura TruGrade = 67.23 °C				
	Cálculo exitoso				
	1	2	3	4	5
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*/Sen(Delta) (kPa)	19.8	8.13	3.42	1.5	0.699
Notas					
Angulo de fase (°)	71.8	75.4	78.8	81.6	83.3
Módulo complejo (kPa)	18.8	7.86	3.35	1.49	0.694
Temperatura (°C)	46.00	51.96	58.03	64.00	70.08
Deformación (%)	12.17	11.91	12.43	12.06	12.04
Esfuerzo cortante (Pa)	2286.97	935.562	415.875	178.6	83.0568
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	22/05/201	22/05/201	22/05/201	22/05/201	22/05/201

Salida de resultados del ensayo DSR en asfalto original

PG64

Temperatura TruGrade = 67.23 °C

Cálculo exitoso

**Gráfica de resultados del ensayo DSR en asfalto original****Grade Results****PG64**

Temperatura TruGrade = 69.03 °C

Cálculo exitoso

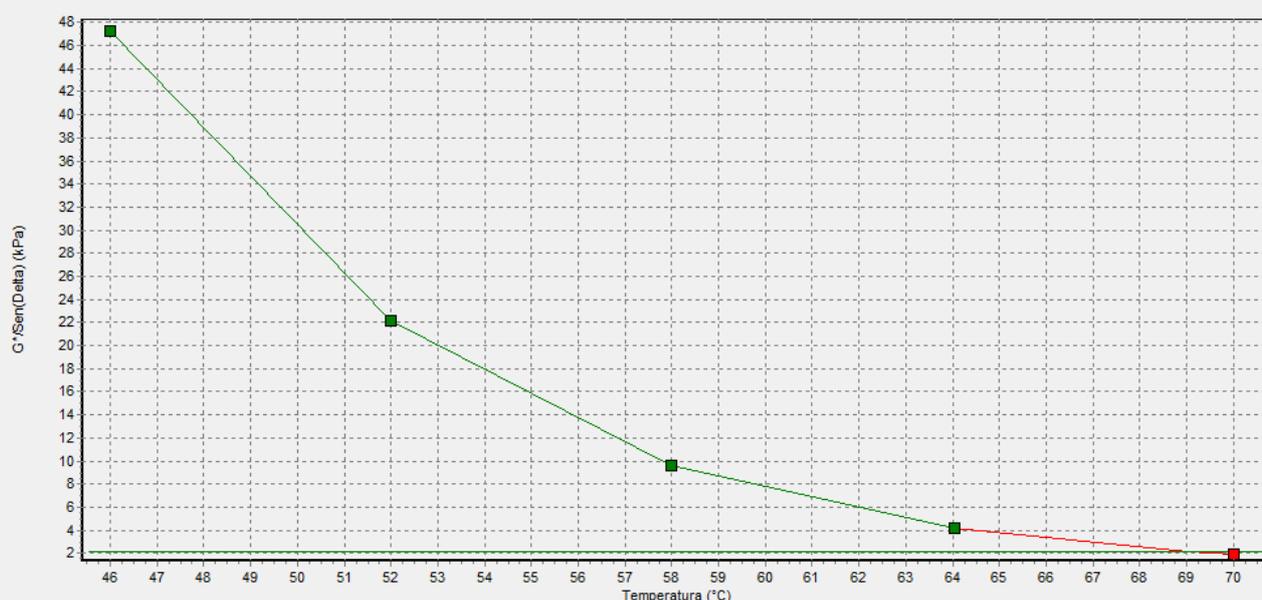
	1	2	3	4	5
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*/Sen(Delta) (kPa)	47.2	22.1	9.61	4.13	1.94
Notas	21		21	21	
Angulo de fase (°)	63.0	66.5	70.5	74.6	77.7
Módulo complejo (kPa)	42.1	20.3	9.06	3.98	1.9
Temperatura (°C)	46.01	51.99	58.00	64.05	70.01
Deformación (%)	7.74	10.08	9.34	3.11	9.82
Esfuerzo cortante (Pa)	3255.6	2042.77	844.764	123.603	185.567
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	25/05/201	25/05/201	25/05/201	25/05/201	25/05/201

Salida de resultados del ensayo DSR en asfalto con envejecimiento primario (RTFOT)

PG64

Temperatura TruGrade = 69.03 °C

Cálculo exitoso



Gráfica de resultados del ensayo DSR en asfalto con envejecimiento primario (RTFOT)

Grade Results

PAV

Temperatura TruGrade = 15.52 °C

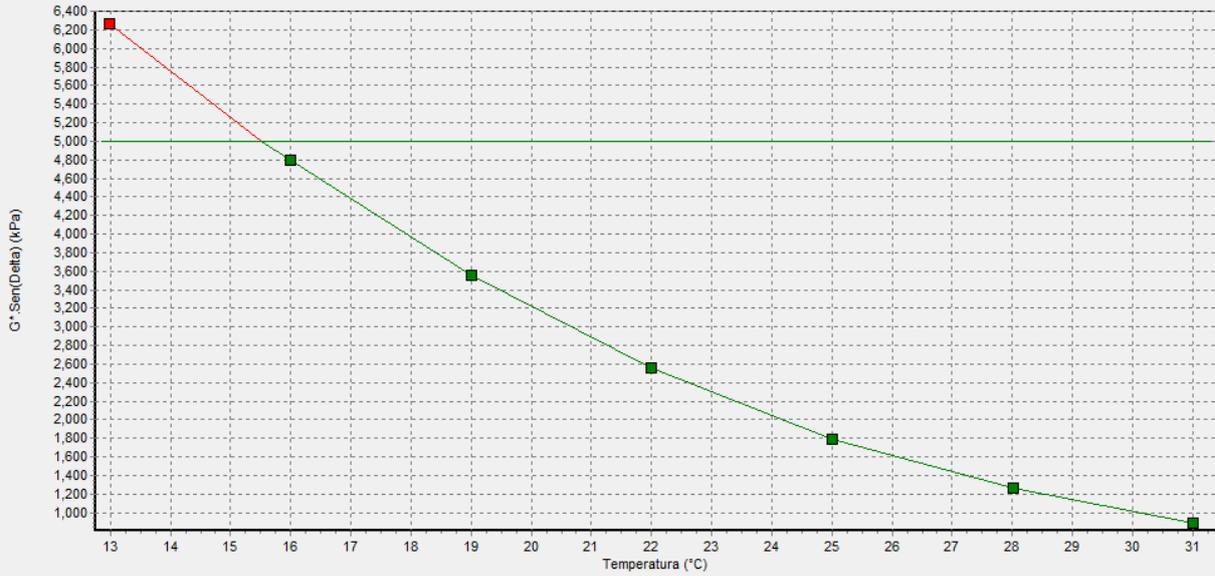
Cálculo exitoso

	1	2	3	4	5	6	7
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*.Sen(Delta) (kPa)	881	1.27E3	1.8E3	2.55E3	3.55E3	4.79E3	6.27E3
Notas							21
Angulo de fase (°)	44.8	42.9	41.0	39.2	37.2	35.4	33.6
Módulo complejo (kPa)	1.25E3	1.86E3	2.74E3	4.04E3	5.88E3	8.28E3	1.13E4
Temperatura (°C)	31.01	28.01	25.00	21.99	19.00	15.99	12.99
Deformación (%)	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02	0.88
Esfuerzo cortante (Pa)	12517.3	18727.7	27460.8	40684.8	59496.2	84174.1	99368.7
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	31/05/201	31/05/201	31/05/201	31/05/201	31/05/201	31/05/201	31/05/201

Salida de resultados del ensayo DSR en asfalto con envejecimiento secundario (PAV)

PAV

Temperatura TruGrade = 15.52 °C
Cálculo exitoso



Gráfica de resultados del ensayo DSR en asfalto con envejecimiento secundario (PAV)

Test Summary Report

```

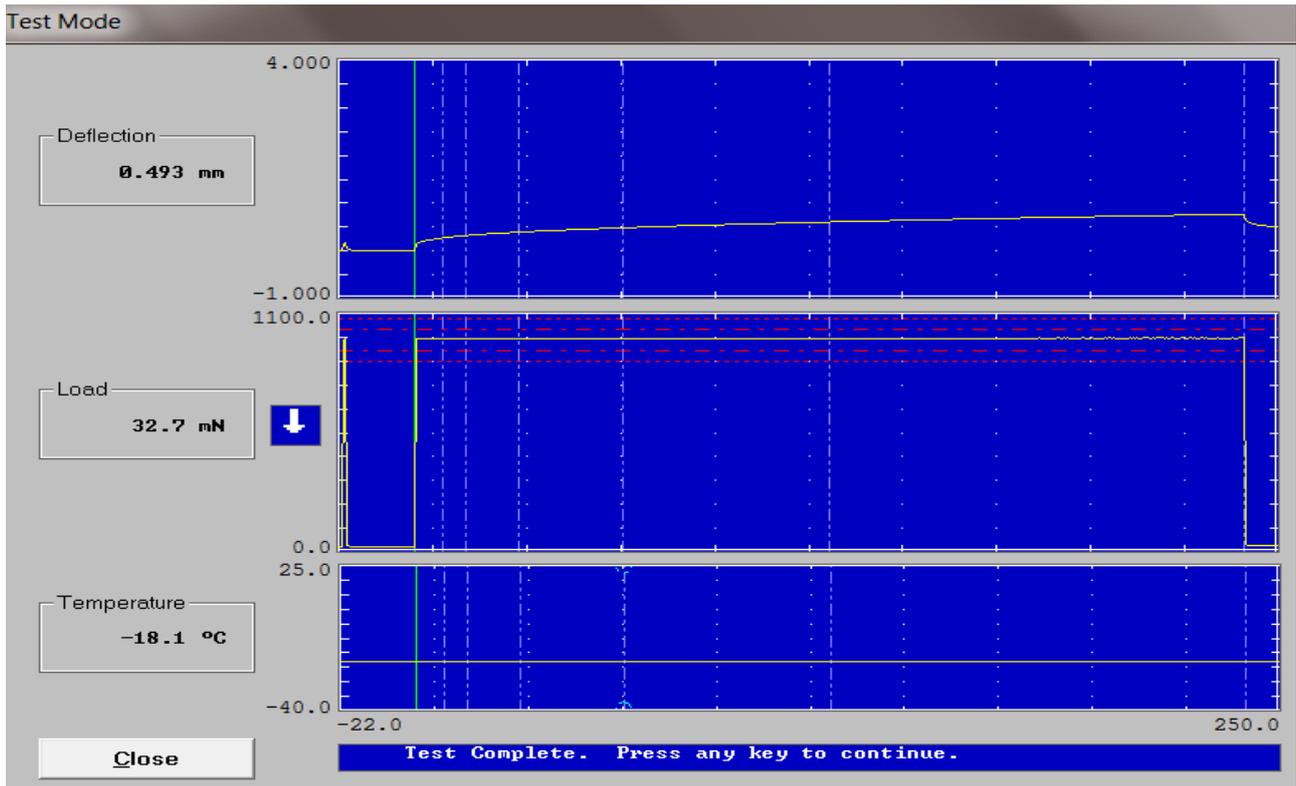
=====
                        Test Identification
=====
Operator: G-U-C
Start Time: 01-Jun-2017 at 14:12:40
Test Type: BBR Specimen Test
Project ID: TESIS
Specimen Number: 2D
Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.28 mm
File Name: TESIS.S2D
=====

                        Test Results
=====
t      P      d      Measured   Estimated   Difference   m-value
Time  Load  Defl  Stiffness  Stiffness   (%)
(sec) (nN)  (mm) (MPa)      (MPa)
-----
0.0   26.8   0.0040  --         --         --         --
0.5   980.6   0.1337  --         --         --         --
8.0   984.1   0.2742  303.9122  303.8077  -0.034369  0.254704
15.0  983.9   0.3237  257.3560  257.4162  0.023378  0.272495
30.0  984.4   0.3942  211.4757  211.6675  0.090698  0.292111
60.0  984.2   0.4850  171.8409  171.6988  -0.082693  0.311728 *
120.0 985.3   0.6071  137.4394  137.3964  -0.031338  0.331345
240.0 986.8   0.7707  108.4247  108.4621  0.034419  0.350962
250.0  32.7   0.4932  --         --         --         --
=====
Correlation Coefficient R^2 = 0.9999987
    
```

Print

Exit

Salida de resultados del ensayo BBR a -18°C



Gráfica de resultados del ensayo BBR a 18°C

Test Summary Report

=====
Test Identification
 =====

Operator: GABRIEL-UICT
 Start Time: 30-May-2017 at 15:25:51
 Test Type: BBR Specimen Test
 Project ID: TESIS GU
 Specimen Number: 2
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.35 mm
 File Name: TESIS GU.S2

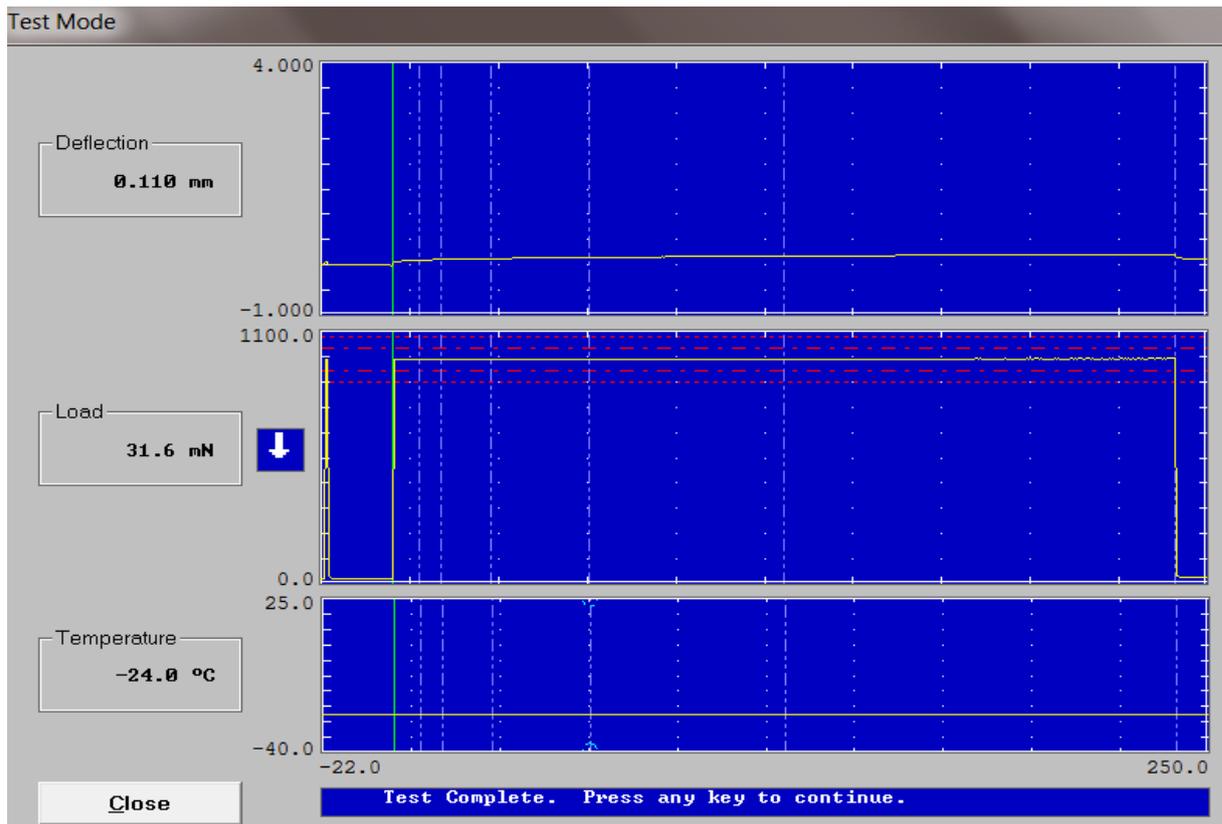
=====
Test Results
 =====

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	27.7	0.0068	--	--	--	--
0.5	976.2	0.0549	--	--	--	--
8.0	979.7	0.0955	839.9714	838.2365	-0.206537	0.191991
15.0	979.1	0.1090	735.6535	739.2143	0.484032	0.207979
30.0	979.2	0.1257	638.2291	636.0757	-0.337400	0.225609
60.0	979.0	0.1485	540.1475	540.6799	0.098547	0.243239 *
120.0	979.4	0.1765	454.4634	454.0090	-0.099992	0.260869
240.0	980.8	0.2134	376.3625	376.6011	0.063420	0.278498
250.0	31.6	0.1104	--	--	--	--

Correlation Coefficient R^2 = 0.9999544

Print Exit

Salida de resultados del ensayo BBR a -24°C



Gráfica de resultados del ensayo BBR a -24°C

Test Summary Report

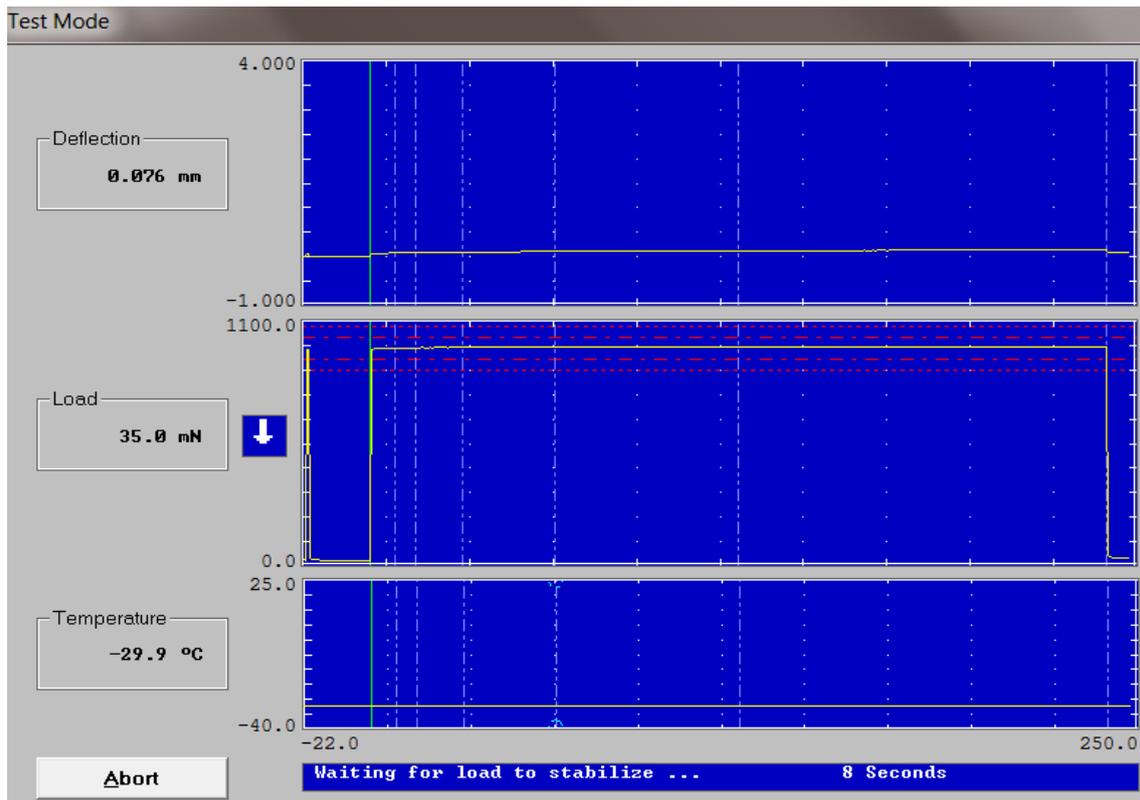
```

=====
                        Test Identification
=====
Operator: GABRIEL-UICT
Start Time: 05-Jun-2017 at 16:30:31
Test Type: BBR Specimen Test
Project ID: TESIS
Specimen Number: 5
Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.35 mm
File Name: TESIS.S5
=====
                        Test Results
=====
t      P      d      Measured  Estimated  Difference  m-value
Time  Load   Defl    Stiffness Stiffness  (%)         (MPa)
(sec) (mN)   (mm)   (MPa)     (MPa)
-----
0.0   27.5   0.0090  --         --         --         --
0.5   968.3  0.0583  --         --         --         --
8.0   979.2  0.0796  1007.9590  1005.3780  -0.256069  0.118193
15.0  980.3  0.0869  924.3041   927.3994   0.334873   0.138674
30.0  980.9  0.0964  833.5505   835.8384   0.274466   0.161259
60.0  981.7  0.1080  744.3688   741.6161  -0.369810  0.183844 *
120.0 983.2  0.1241  648.8347   647.7946  -0.160291  0.206428
240.0 986.1  0.1453  556.0577   557.0535  0.179069   0.229013
250.0 35.2   0.0743  --         --         --         --
=====
Correlation Coefficient R^2 = 0.99991
=====

```

Print Exit

Salida de resultados del ensayo BBR a -30°



Gráfica de resultados del ensayo BBR a -24°C

ANEXO 3: Caracterización de los agregados minerales



Trituración de roca Andesita



Verificación de peso de los agregados



Ensayo de desgaste ante los sulfatos



Tamizado de agregados minerales



Máquina de abrasión de Los Ángeles



Ensayo de desgaste de Los Ángeles

ANEXO 4: Proceso de preparación de muestras



Rocas Lutita y Pizarra



Fundición de rocas



Extracción de núcleos de rocas



Núcleos extraídos de rocas



Corte de núcleos de rocas



Sistema de unión de muestras



Proceso de colocación del asfalto



Sistema roca con pistón unido por capa asfalto



Muestras sumergidas en Baño María



Sistema de agarre para el ensayo PAP



Ensayo de tracción en prensa universal



Tipo de falla por cohesión



Tipo de falla por adherencia

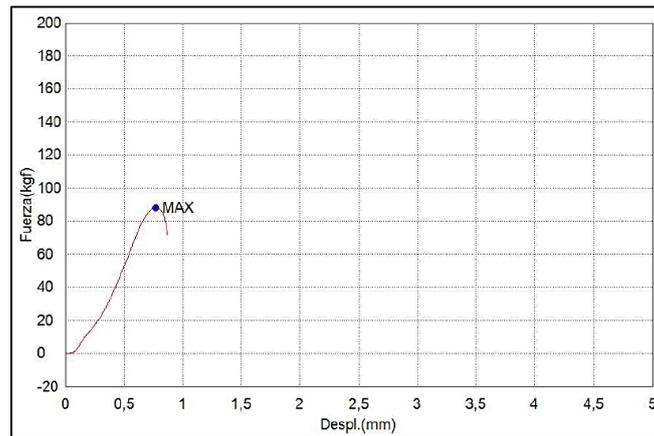


Tipo de falla por rotura de agregado

ANEXO 4: Resultados para la roca Andesita

Tabla 1: Tabla de ensayo #1, valores de carga, desplazamiento y área

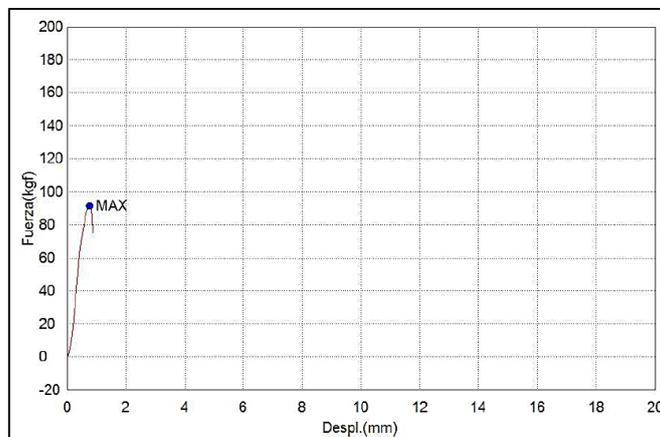
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
862	0,8	332



Gráfica de ensayo #1 (Roca Andesita, sin inmersión)

Tabla 2: Tabla de ensayo #2, valores de carga, desplazamiento y área

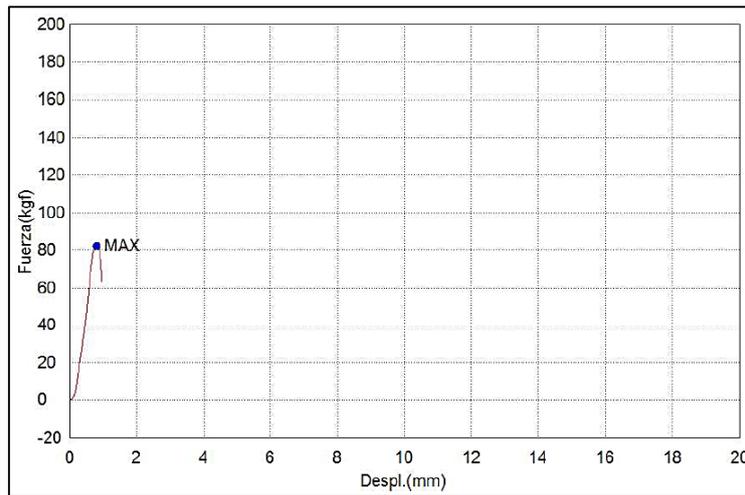
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
899	0,8	339



Gráfica de ensayo #2 (Roca Andesita, sin inmersión)

Tabla 3: Tabla de ensayo #3, valores de carga, desplazamiento y área

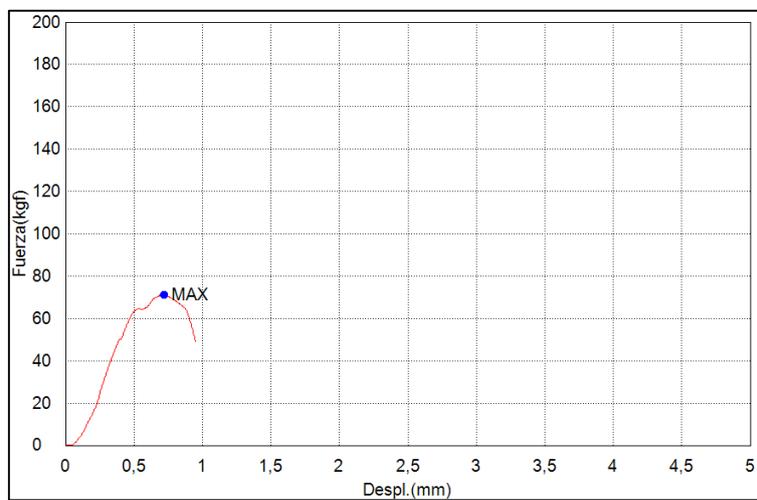
ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
804	0,8	324



Gráfica de ensayo #3 (Roca Andesita, sin inmersión)

Tabla 4: Tabla de ensayo #4, valores de carga, desplazamiento y área

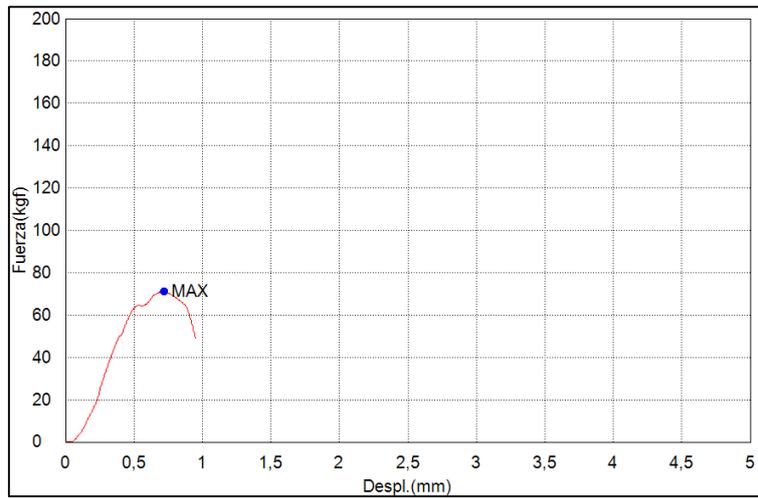
ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
842	1,0	409



Gráfica de ensayo #4 (Roca Andesita, sin inmersión)

Tabla 5: Tabla de ensayo #5, valores de carga, desplazamiento y área

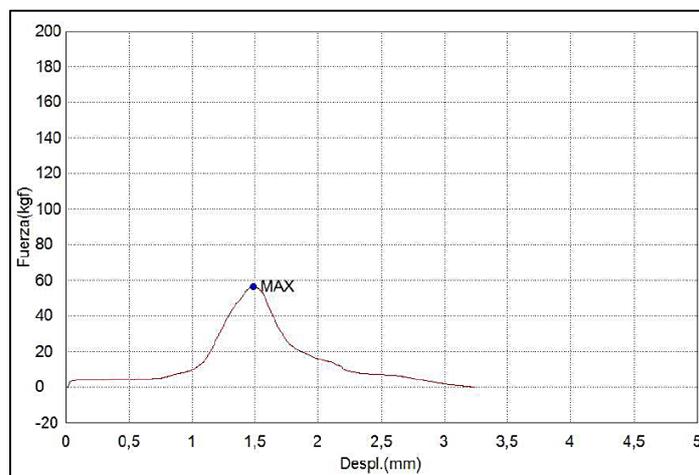
ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
698	0,7	404



Gráfica de ensayo #5 (Roca Andesita, sin inmersión)

Tabla 6: Tabla de ensayo #6, valores de carga, desplazamiento y área

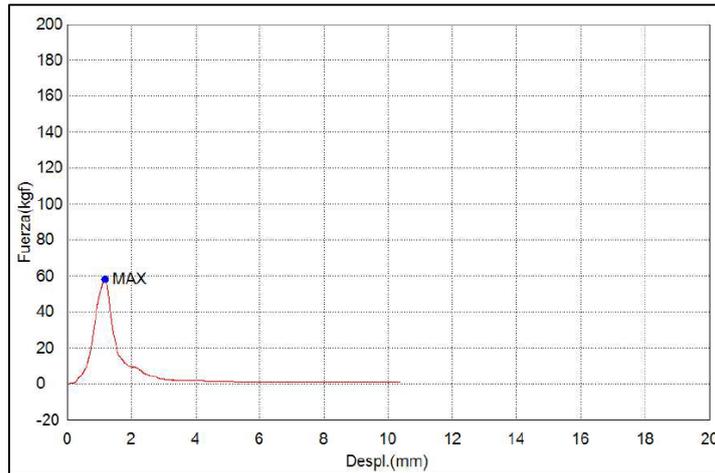
ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
552	1,5	220



Gráfica de ensayo #6 (Roca Andesita, sin inmersión)

Tabla 7: Tabla de ensayo #7, valores de carga, desplazamiento y área

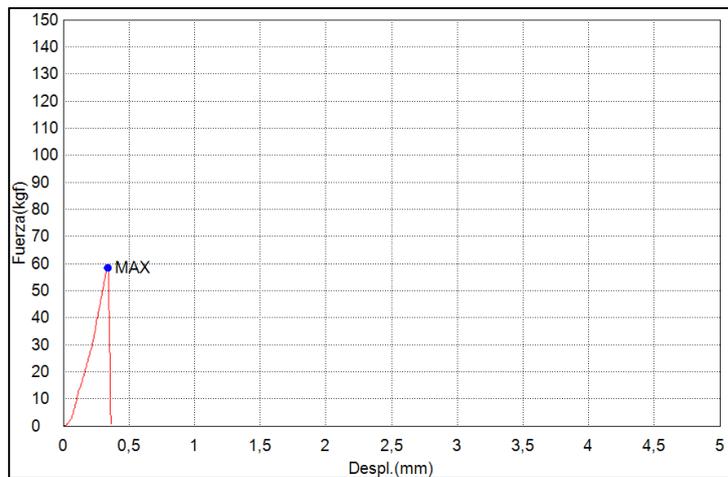
ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
568	1,2	279



Gráfica de ensayo #7 (Roca Andesita, sin inmersión)

Tabla 8: Tabla de ensayo #1, valores de carga, desplazamiento y área

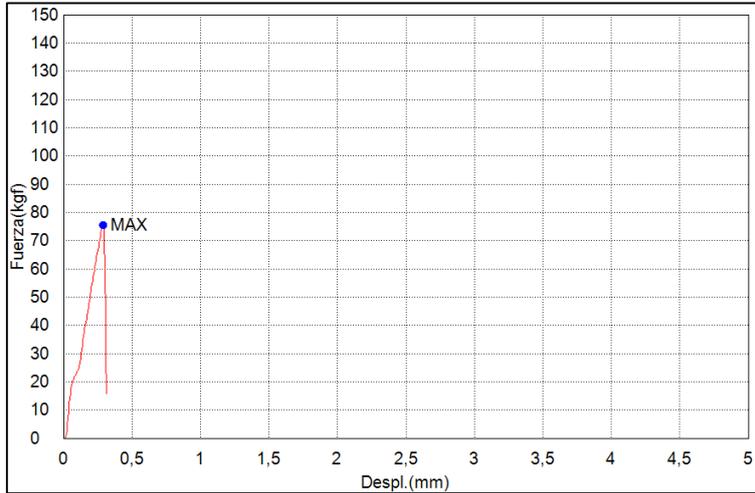
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
571	0,3	97



Gráfica de ensayo #1 (Roca Andesita, con inmersión)

Tabla 9: Tabla de ensayo #2, valores de carga, desplazamiento y área

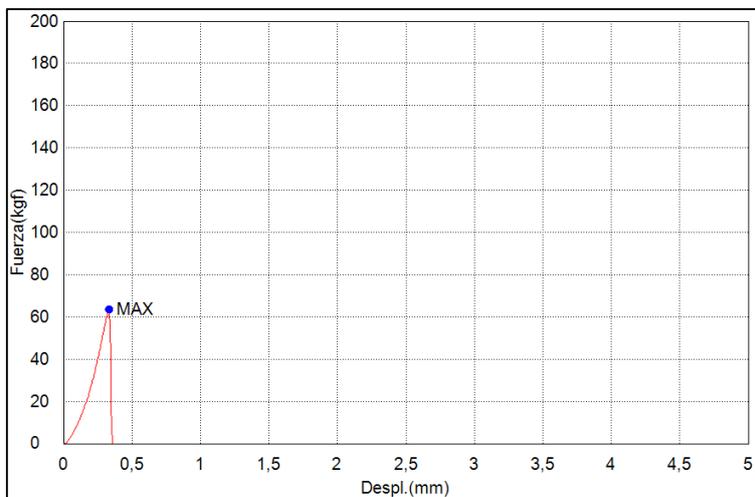
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
740	0,3	107



Gráfica de ensayo #2 (Roca Andesita, con inmersión)

Tabla 10: Tabla de ensayo #3, valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
624	0,3	103

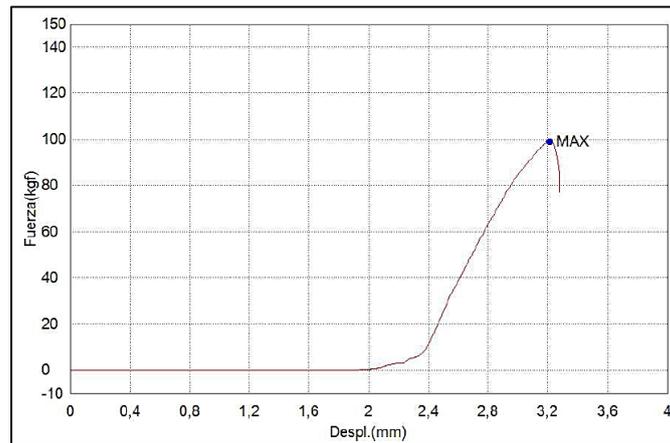


Gráfica de ensayo #3 (Roca Andesita, con inmersión)

ANEXO 5: Resultados para la roca Argilita

Tabla 11: Tabla de ensayo #1, valores de carga, desplazamiento y área

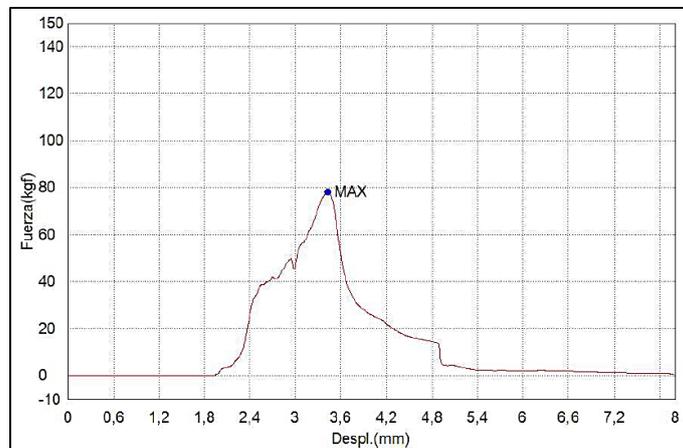
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
971	3,2	476



Gráfica de ensayo #1 (Roca Argilita, sin inmersión)

Tabla 12: Tabla de ensayo #2, valores de carga, desplazamiento y área

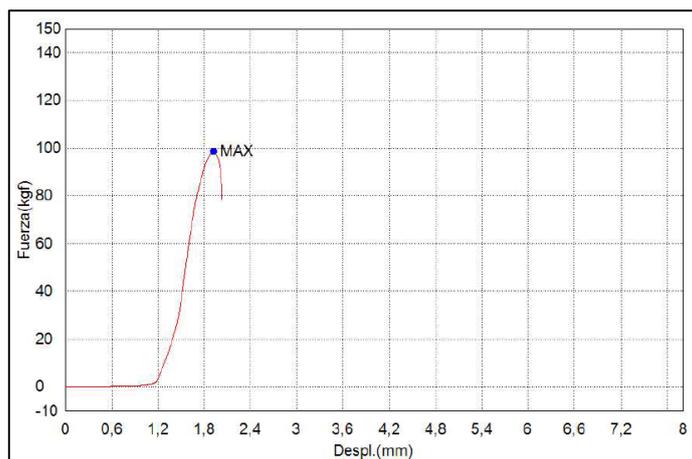
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
765	3,4	505



Gráfica de ensayo #2 (Roca Argilita, sin inmersión)

Tabla 13: Tabla de ensayo #3, valores de carga, desplazamiento y área

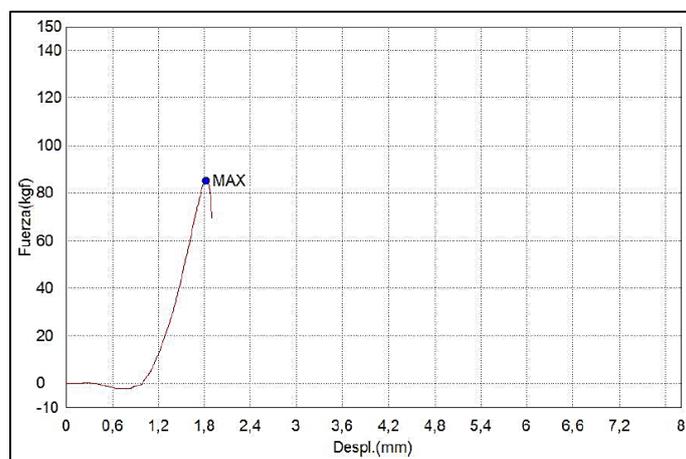
ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
966	1,9	398



Gráfica de ensayo #3 (Roca Argilita, sin inmersión)

Tabla 14: Tabla de ensayo #4, valores de carga, desplazamiento y área

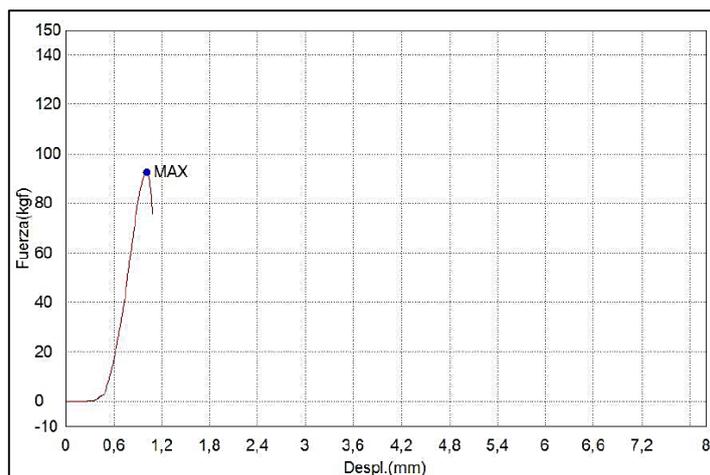
ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
835	1,8	441



Gráfica de ensayo #4 (Roca Argilita, sin inmersión)

Tabla 15: Tabla de ensayo #5, valores de carga, desplazamiento y área

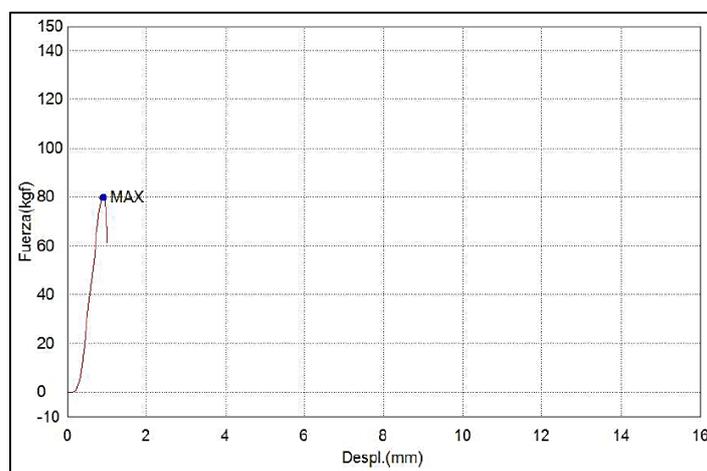
ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
908	1,0	270



Gráfica de ensayo #5 (Roca Argilita, sin inmersión)

Tabla 16: Tabla de ensayo #6, valores de carga, desplazamiento y área

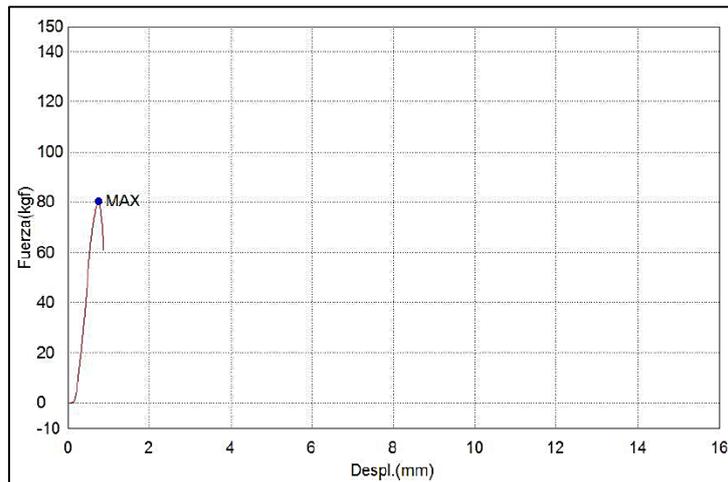
ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
782	0,9	274



Gráfica de ensayo #6 (Roca Argilita, sin inmersión)

Tabla 17: Tabla de ensayo #7, valores de carga, desplazamiento y área

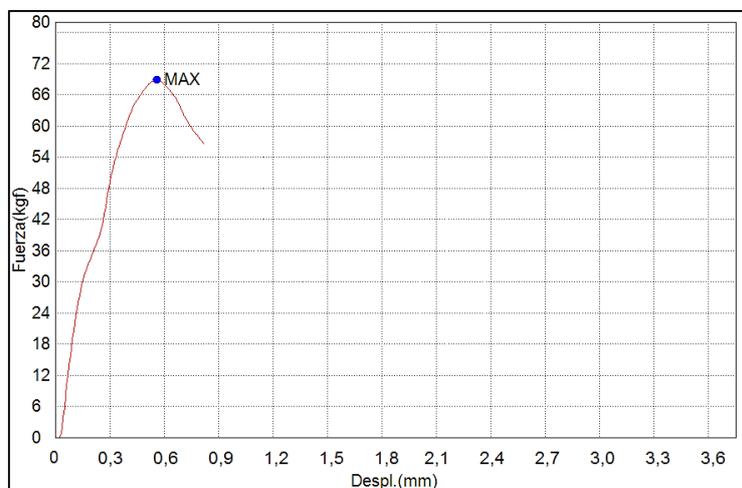
ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
787	0,7	297



Gráfica de ensayo #7 (Roca Argilita, sin inmersión)

Tabla 18: Tabla de ensayo #1, valores de carga, desplazamiento y área

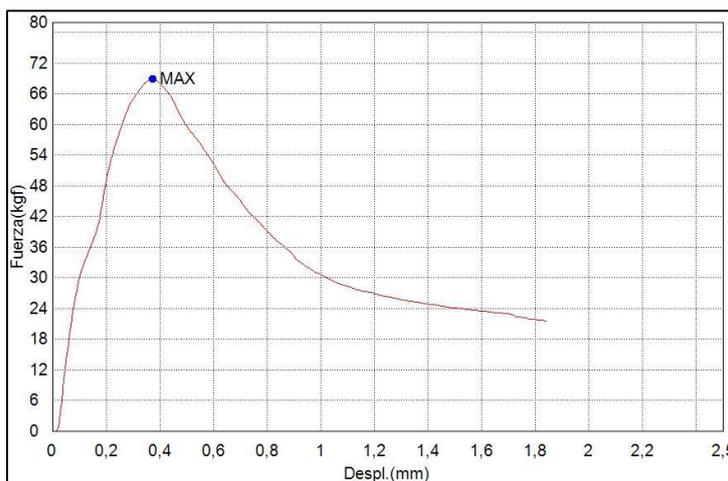
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
670	0,6	194



Gráfica de ensayo #1 (Roca Argilita, con inmersión)

Tabla 19: Tabla de ensayo #2, valores de carga, desplazamiento y área

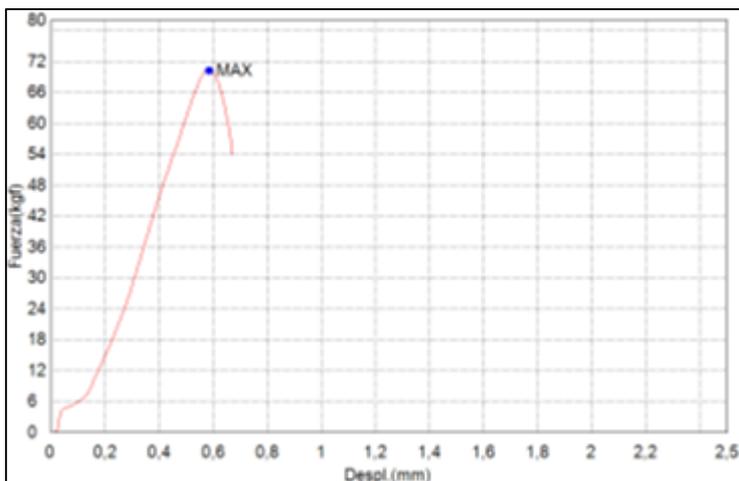
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
675	0,4	126



Gráfica de ensayo #2 (Roca Argilita, con inmersión)

Tabla 20: Tabla de ensayo #3, valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
688	0,6	166

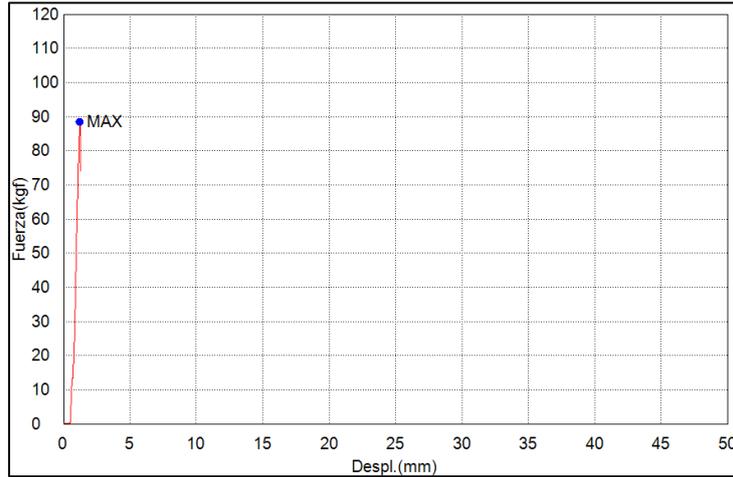


Gráfica de ensayo #3 (Roca Argilita, con inmersión)

ANEXO 6: Resultados para la roca Basalto 1

Tabla 21: Tabla de ensayo #1, valores de carga, desplazamiento y área

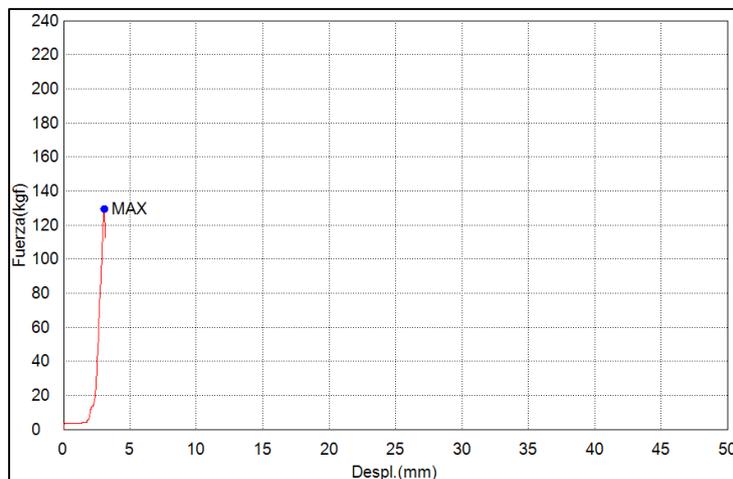
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
866	1,2	535



Gráfica de ensayo #1 (Roca Basalto 1, sin inmersión)

Tabla 22: Tabla de ensayo #2, valores de carga, desplazamiento y área

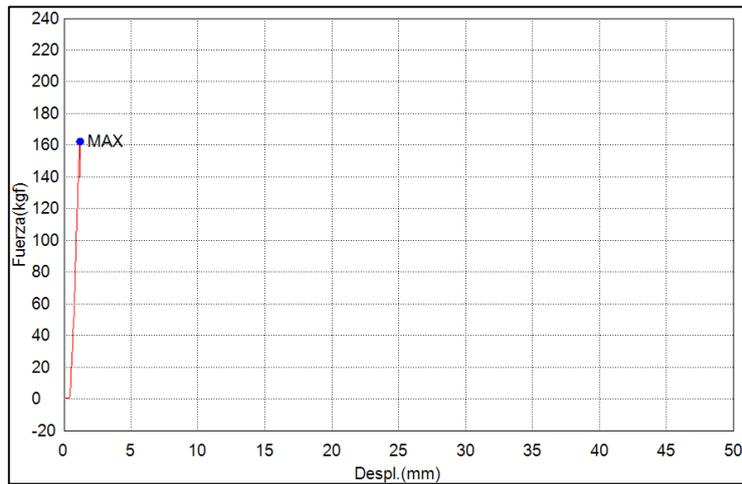
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1266	1,1	698



Gráfica de ensayo #2 (Roca Basalto 1, sin inmersión)

Tabla 23: Tabla de ensayo #3, valores de carga, desplazamiento y área

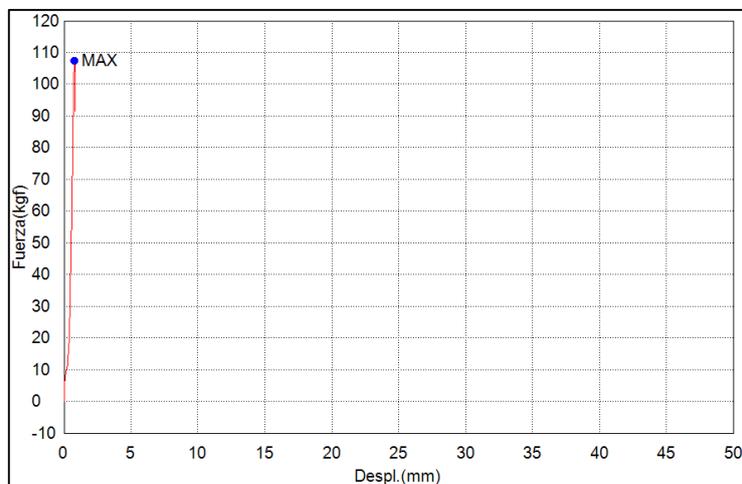
ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1592	1,2	671



Gráfica de ensayo #3 (Roca Basalto 1, sin inmersión)

Tabla 24: Tabla de ensayo #4, valores de carga, desplazamiento y área

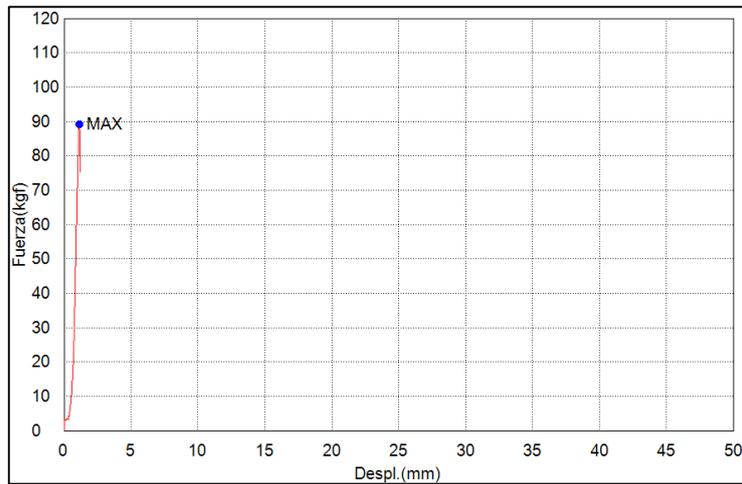
ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1052	0,8	413



Gráfica de ensayo #4 (Roca Basalto 1, sin inmersión)

Tabla 25: Tabla de ensayo #5, valores de carga, desplazamiento y área

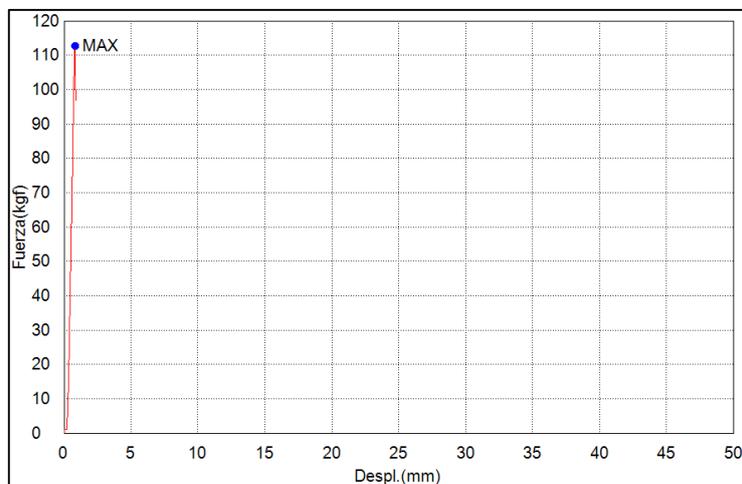
ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
874	1,2	503



Gráfica de ensayo #5 (Roca Basalto 1, sin inmersión)

Tabla 26: Tabla de ensayo #6, valores de carga, desplazamiento y área

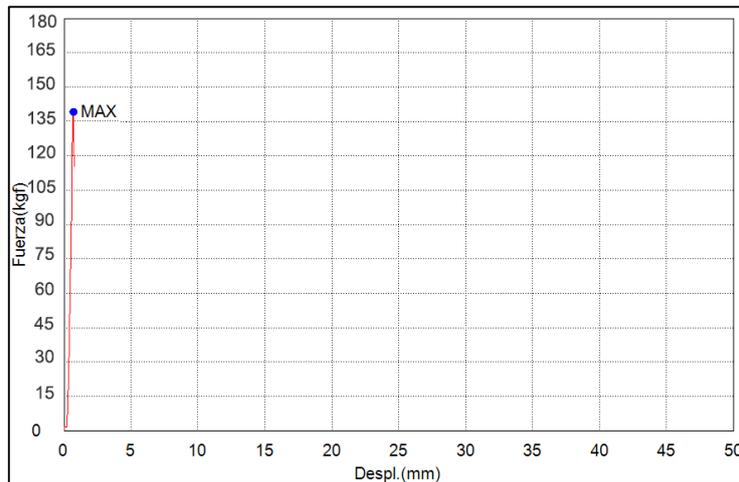
ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1103	0,8	449



Gráfica de ensayo #6 (Roca Basalto 1, sin inmersión)

Tabla 27: Tabla de ensayo #7, valores de carga, desplazamiento y área

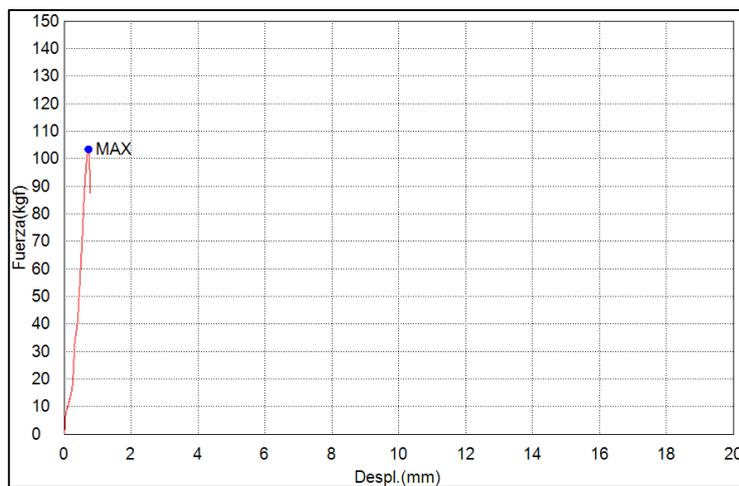
ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1396	0,6	447



Gráfica de ensayo #7 (Roca Basalto 1, sin inmersión)

Tabla 28: Tabla de ensayo #1, valores de carga, desplazamiento y área

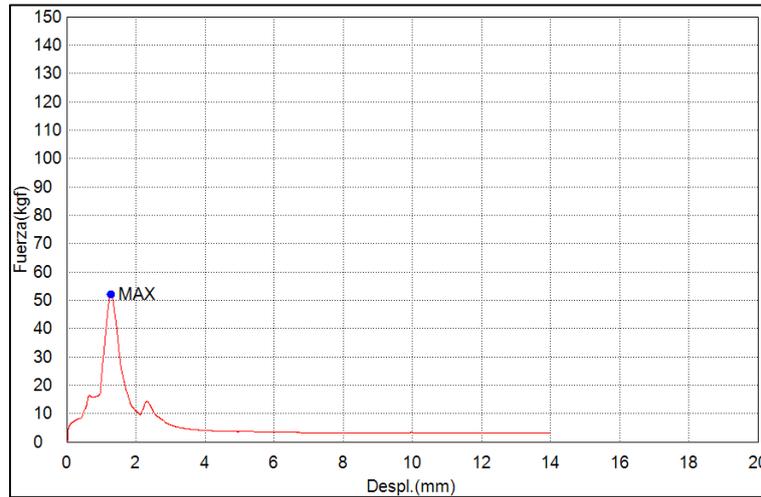
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1013	0,7	370



Gráfica de ensayo #1 (Roca Basalto 1, con inmersión)

Tabla 29: Tabla de ensayo #2, valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
511	1,3	267



Gráfica de ensayo #2 (Roca Basalto 1, con inmersión)

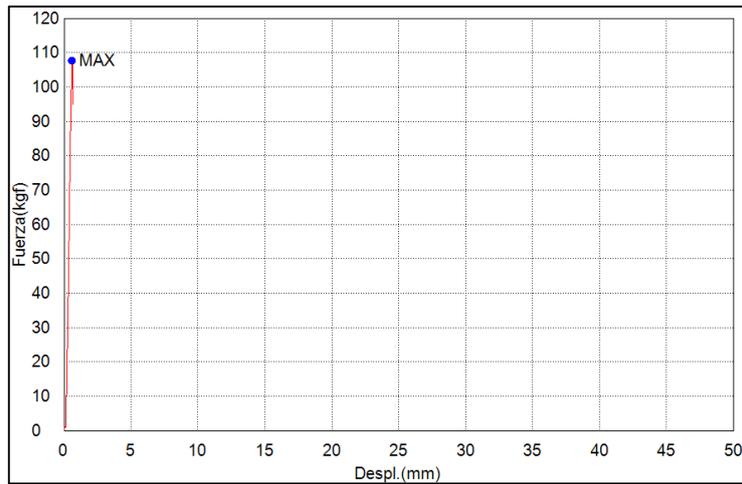
Tabla 30: Tabla de ensayo #3, valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1242	1,0	517

ANEXO 7: Resultados para la roca Basalto 2

Tabla 31: Tabla de ensayo #1, valores de carga, desplazamiento y área

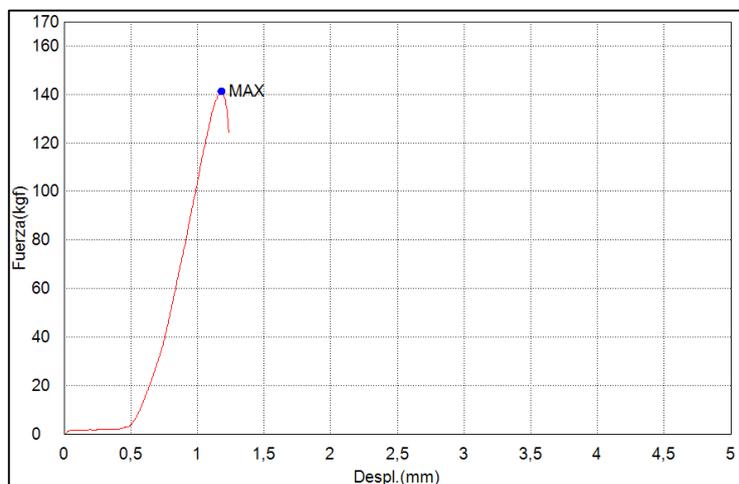
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1056	0,6	324



Gráfica de ensayo #1 (Roca Basalto 2, sin inmersión)

Tabla 32: Tabla de ensayo #2, valores de carga, desplazamiento y área

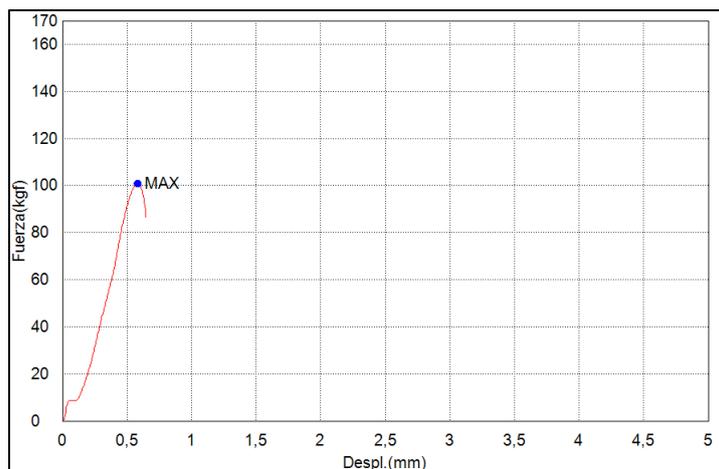
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1385	1,2	484



Gráfica de ensayo #2 (Roca Basalto 2, sin inmersión)

Tabla 33: Tabla de ensayo #3, valores de carga, desplazamiento y área

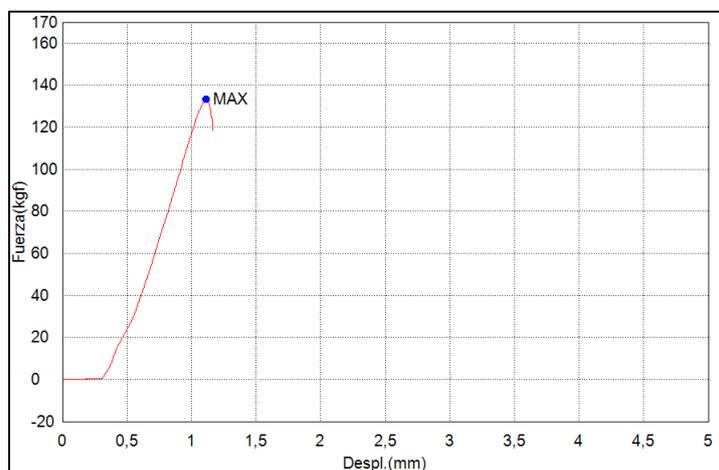
ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
989	0,6	263



Gráfica de ensayo #3 (Roca Basalto 2, sin inmersión)

Tabla 34: Tabla de ensayo #4, valores de carga, desplazamiento y área

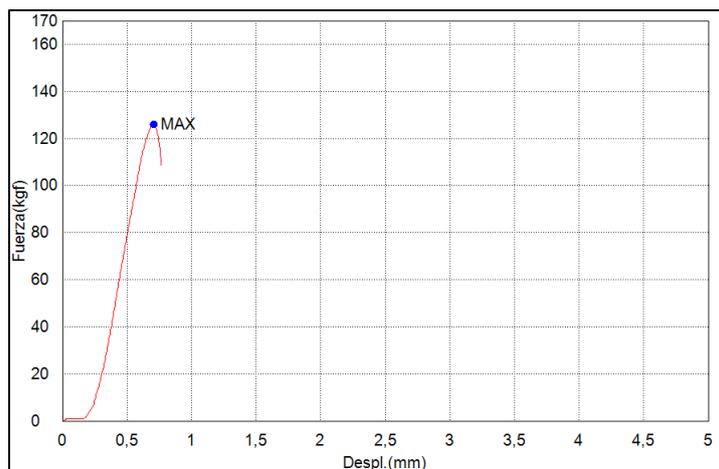
ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1306	1,1	453



Gráfica de ensayo #4 (Roca Basalto 2, sin inmersión)

Tabla 35: Tabla de ensayo #5, valores de carga, desplazamiento y área

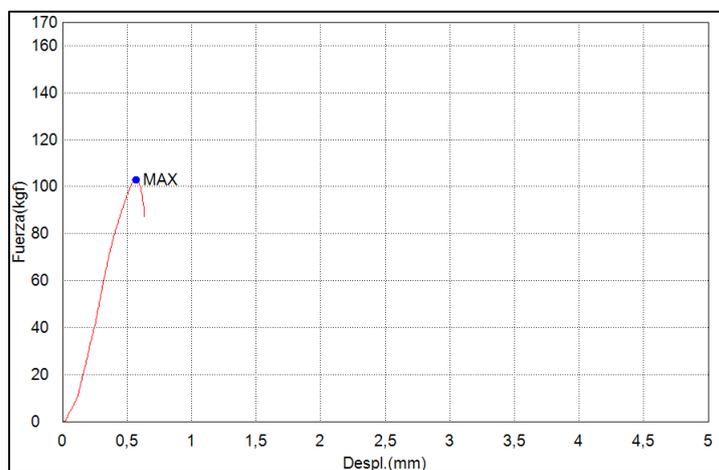
ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1233	0,7	331



Gráfica de ensayo #5 (Roca Basalto 2, sin inmersión)

Tabla 36: Tabla de ensayo #6, valores de carga, desplazamiento y área

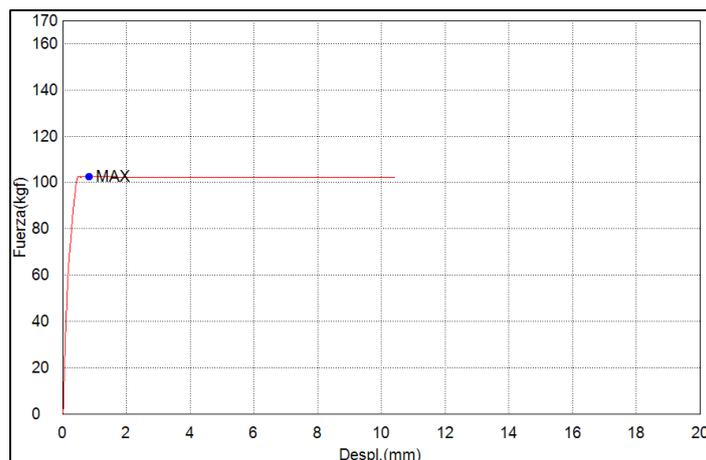
ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1008	0,6	288



Gráfica de ensayo #6 (Roca Basalto 2, sin inmersión)

Tabla 37: Tabla de ensayo #7 valores de carga, desplazamiento y área

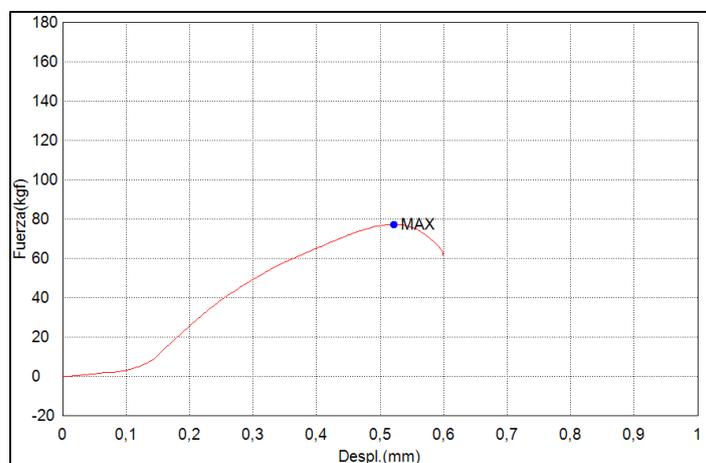
ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1006	0,8	489



Gráfica de ensayo #7 (Roca Basalto 2, sin inmersión)

Tabla 38: Tabla de ensayo #1, valores de carga, desplazamiento y área

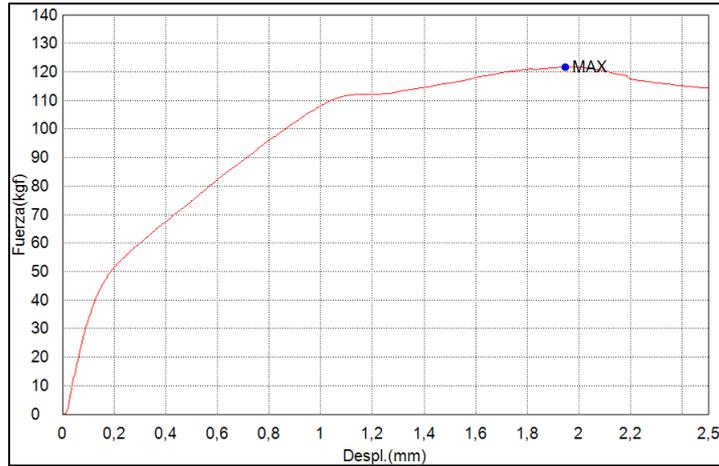
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
756	0,9	340



Gráfica de ensayo #1 (Roca Basalto 2, con inmersión)

Tabla 39: Tabla de ensayo #2, valores de carga, desplazamiento y área

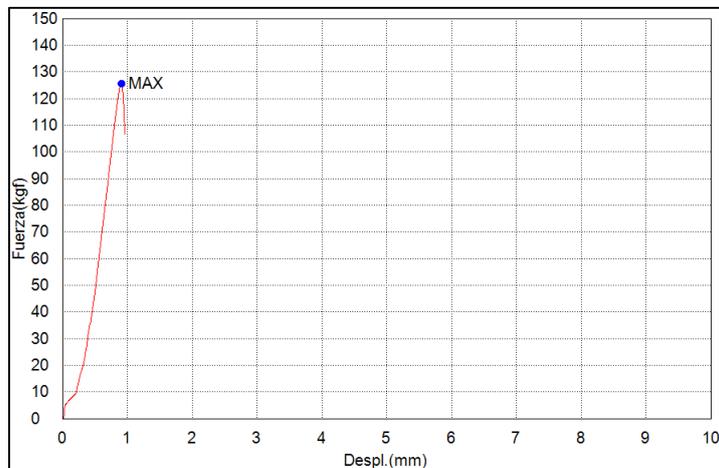
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1192	1,1	656



Gráfica de ensayo #2 (Roca Basalto 2, con inmersión)

Tabla 40: Tabla de ensayo #3, valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1229	0,9	559

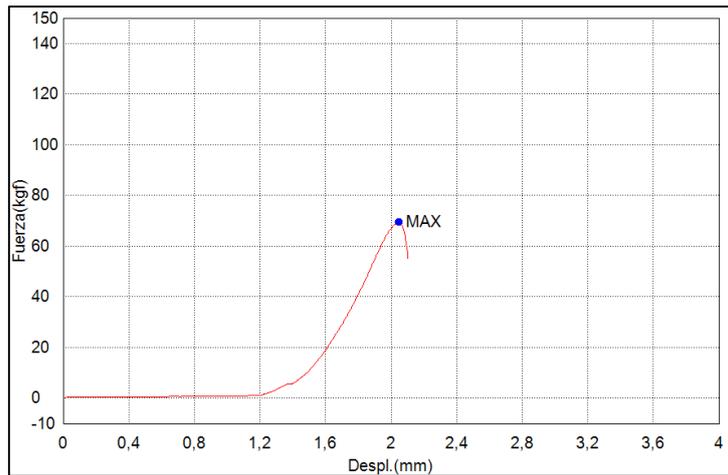


Gráfica de ensayo #3 (Roca Basalto 2, con inmersión)

ANEXO 8: Resultados para la roca Caliza

Tabla 41: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área

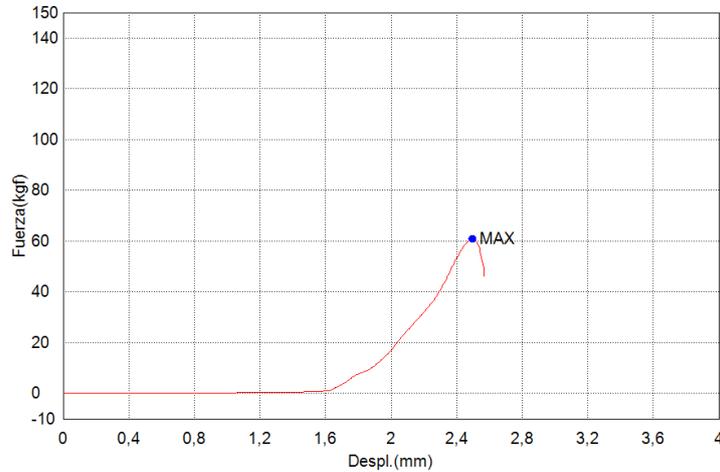
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
680	2,0	245



Gráfica de ensayo #1 (Caliza, sin inmersión)

Tabla 42: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
596	2,5	217



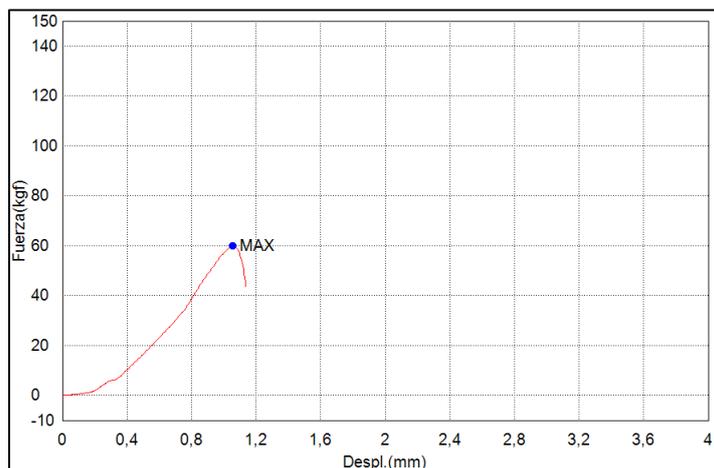
Gráfica de ensayo #2 (Caliza, sin inmersión)

Tabla 43: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
588	1,3	111

Tabla 44: Tabla de ensayo #4 valores de carga, desplazamiento y área

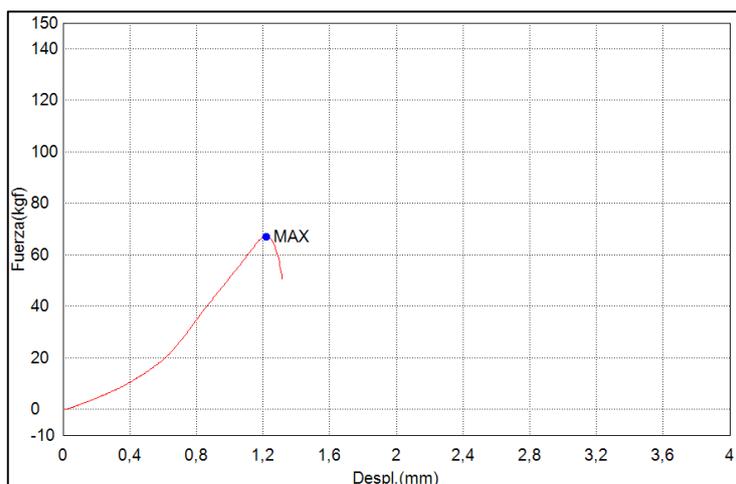
ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
586	1,1	224



Gráfica de ensayo #4 (Caliza, sin inmersión)

Tabla 45: Tabla de ensayo #5 valores de carga, desplazamiento y área

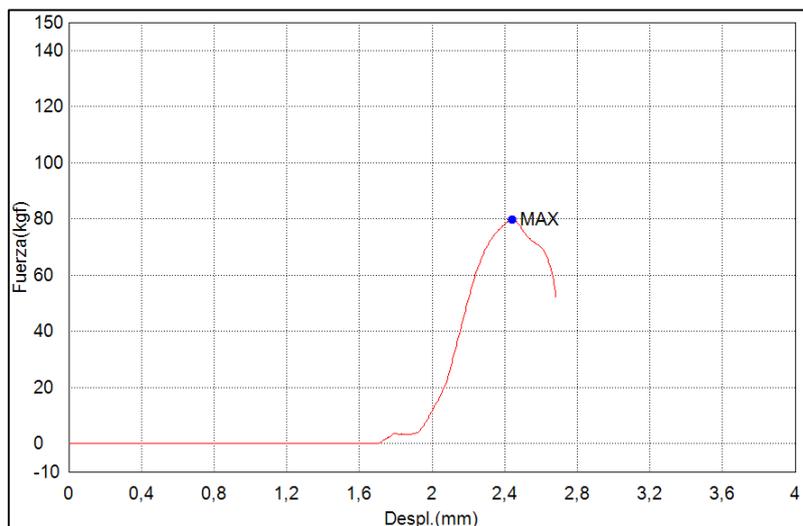
ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
656	1,2	294



Gráfica de ensayo #5 (Caliza, sin inmersión)

Tabla 46: Tabla de ensayo #6 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
781	2,4	261



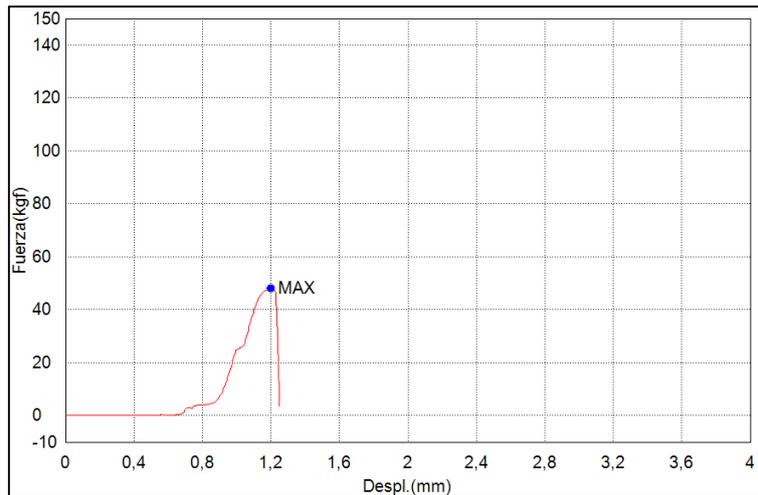
Gráfica de ensayo #6 (Caliza, sin inmersión)

Tabla 47: Tabla de ensayo #7 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
668	0,7	215

Tabla 48: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área

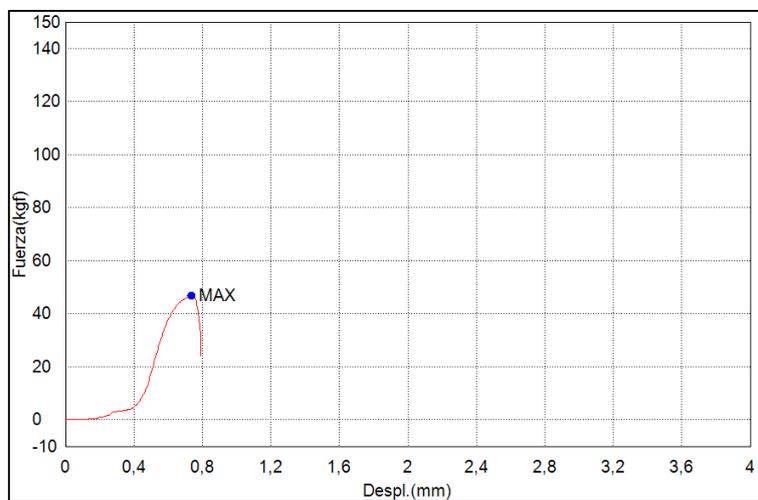
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
471	1,2	89



Gráfica de ensayo #1 (Roca Caliza, con inmersión)

Tabla 49: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área

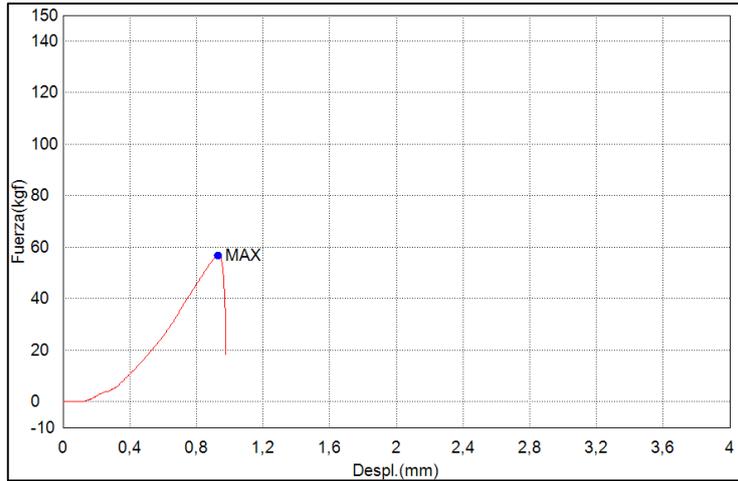
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
460	0,7	84



Gráfica de ensayo #2 (Roca Caliza, con inmersión)

Tabla 50: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
555	0,9	161

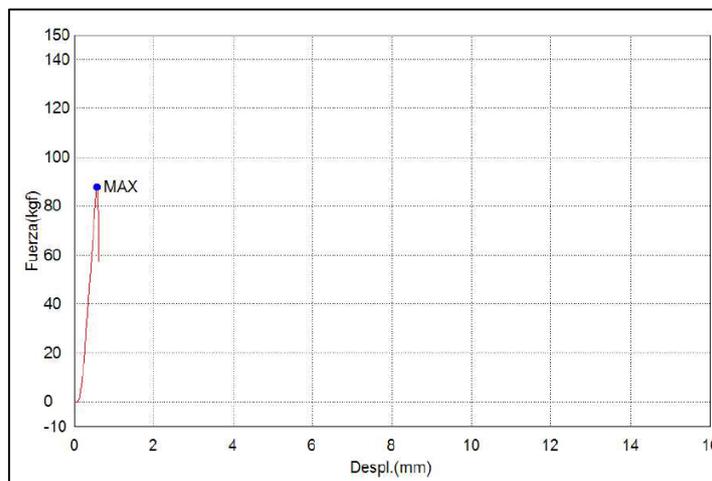


Gráfica de ensayo #3 (Roca Caliza, con inmersión)

ANEXO 9: Resultados para la roca Depósitos Aluviales

Tabla 51: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área

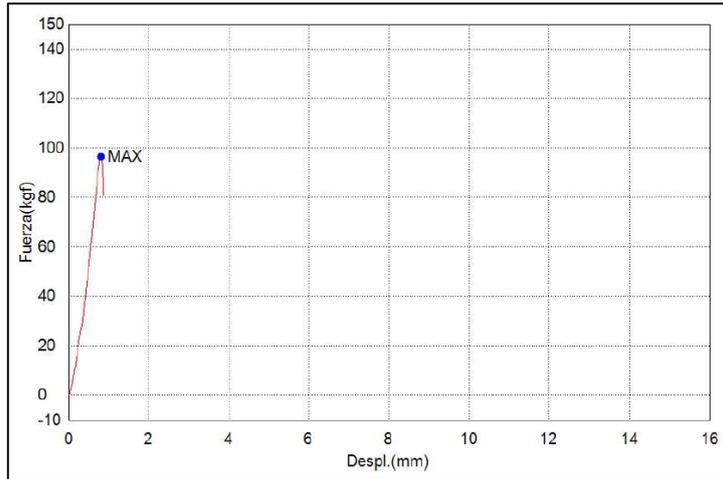
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
860	0,6	244



Gráfica de ensayo #1 (Depósitos Aluviales, sin inmersión)

Tabla 52: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área

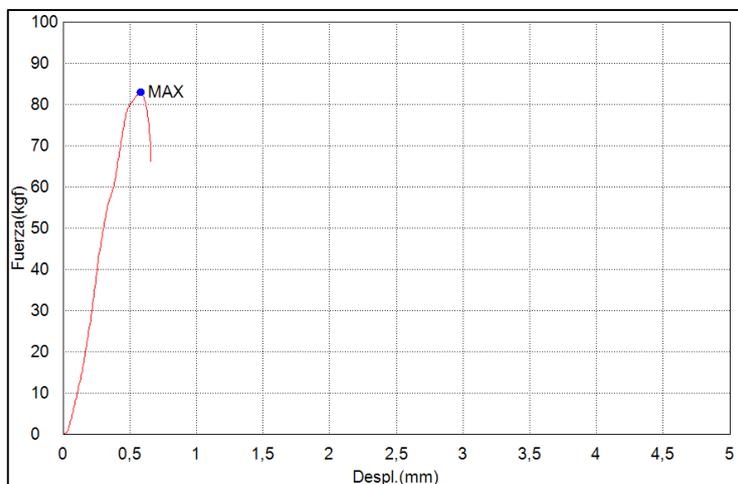
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
945	0,8	379



Gráfica de ensayo #2 (Depósitos Aluviales, sin inmersión)

Tabla 53: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área

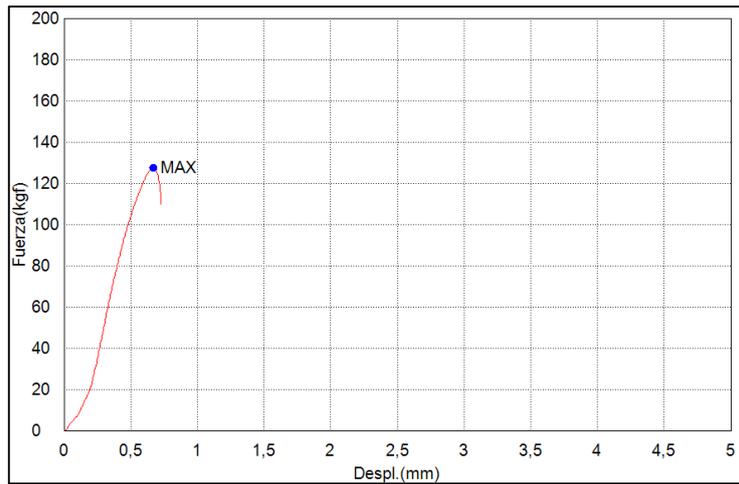
ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
812	0,6	264



Gráfica de ensayo #3 (Depósitos Aluviales, sin inmersión)

Tabla 54: Tabla de ensayo #4 valores de carga, desplazamiento y área

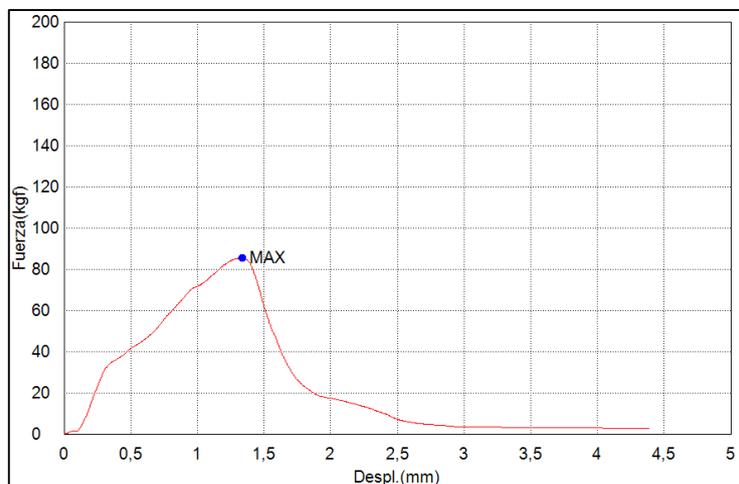
ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1248	0,7	420



Gráfica de ensayo #4 (Depósitos Aluviales, sin inmersión)

Tabla 55: Tabla de ensayo #5 valores de carga, desplazamiento y área

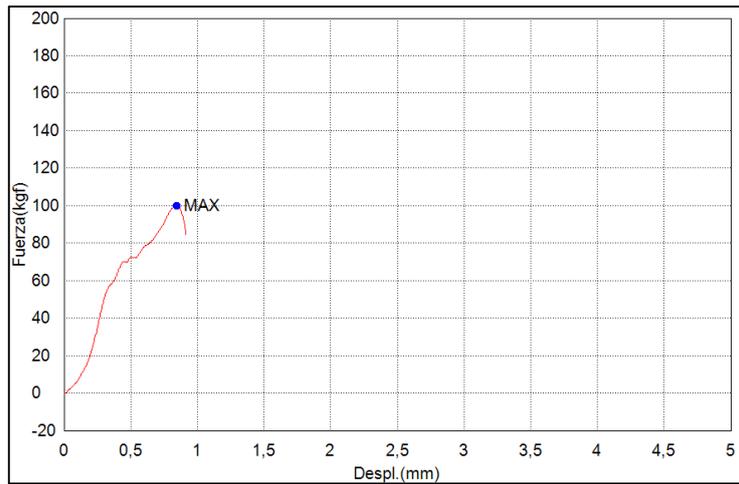
ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
837	1,3	674



Gráfica de ensayo #5 (Depósitos Aluviales, sin inmersión)

Tabla 56: Tabla de ensayo #6 valores de carga, desplazamiento y área

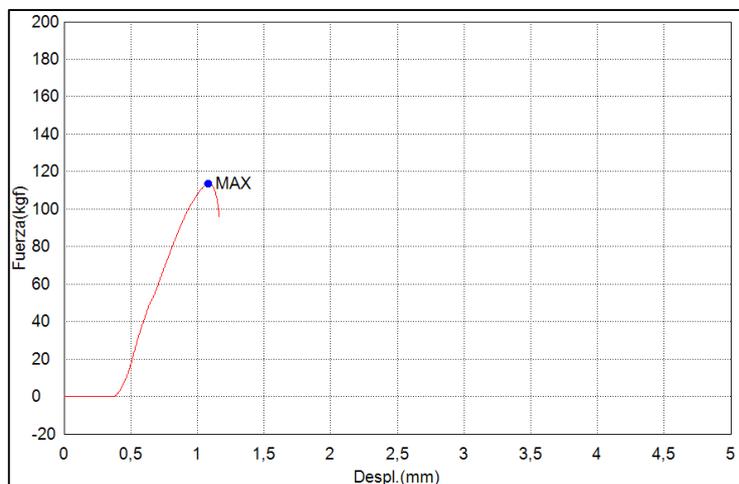
ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
978	0,8	427



Gráfica de ensayo #6 (Depósitos Aluviales, sin inmersión)

Tabla 57: Tabla de ensayo #7 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1112	1,1	586



Gráfica de ensayo #7 (Depósitos Aluviales, sin inmersión)

Tabla 58: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1010	1,9	530

Tabla 59: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1034	1,3	481

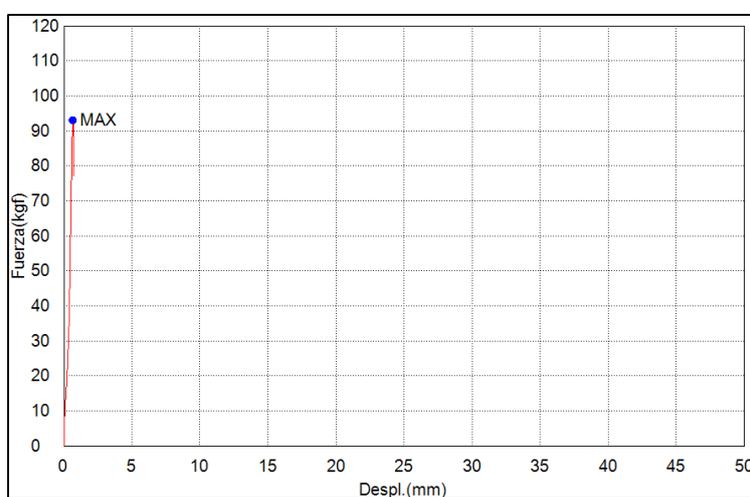
Tabla 60: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
751	0,7	263

ANEXO 10: Resultados para la roca Granito

Tabla 61: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área

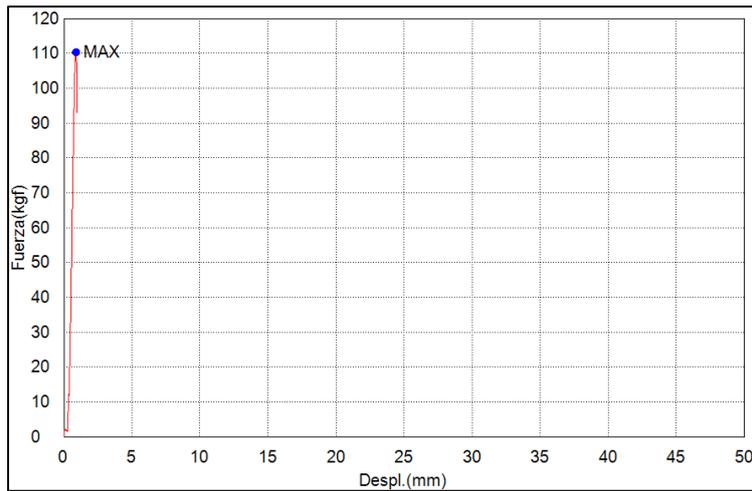
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
912	0,7	307



Gráfica de ensayo #1 (Granito, sin inmersión)

Tabla 62: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área

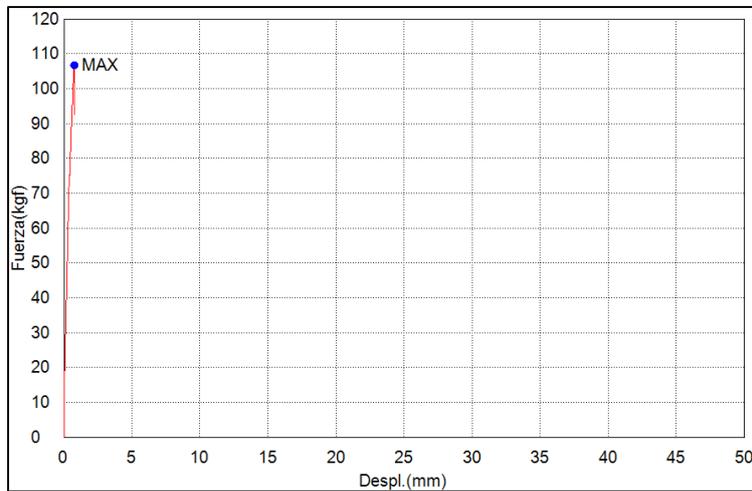
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1081	0,5	487



Gráfica de ensayo #2 (Granito, sin inmersión)

Tabla 63: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área

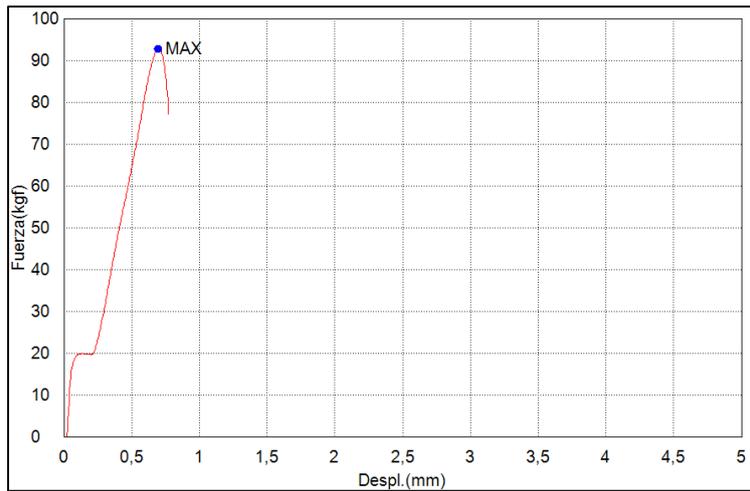
ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1045	0,9	393



Gráfica de ensayo #3 (Granito, sin inmersión)

Tabla 64: Tabla de ensayo #4 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1248	0,7	420



Gráfica de ensayo #4 (Granito, sin inmersión)

Tabla 65: Tabla de ensayo #5 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
837	1,3	674

Tabla 66: Tabla de ensayo #6 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
978	0,8	427

Tabla 67: Tabla de ensayo #7 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1112	1,1	586

Tabla 68: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área (con inmersión)

ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1243	0,9	408

Tabla 69: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área (con inmersión)

ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1234	0,7	413

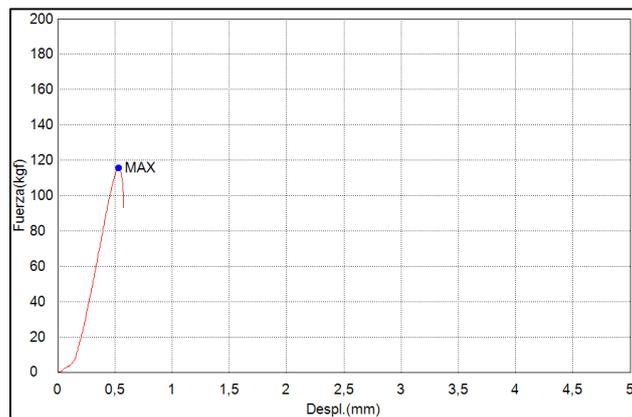
Tabla 70: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área (con inmersión)

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1310	1,0	513

ANEXO 11: Resultados para la roca Lutita

Tabla 71: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área

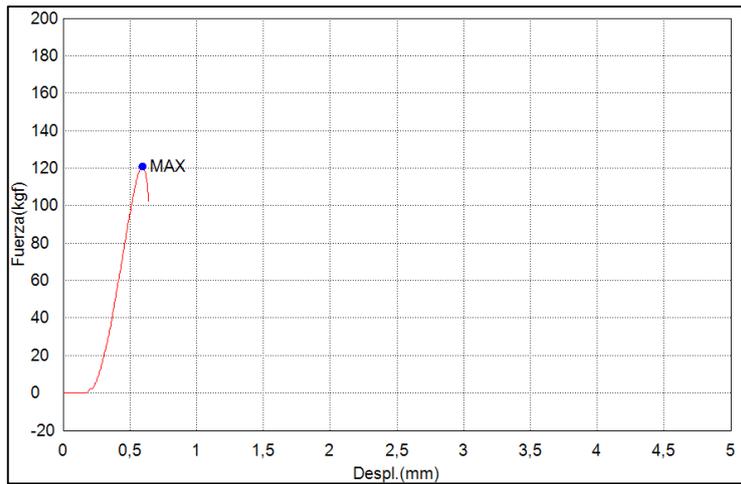
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1131	0,5	238



Gráfica de ensayo #1 (Lutita, sin inmersión)

Tabla 72: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área

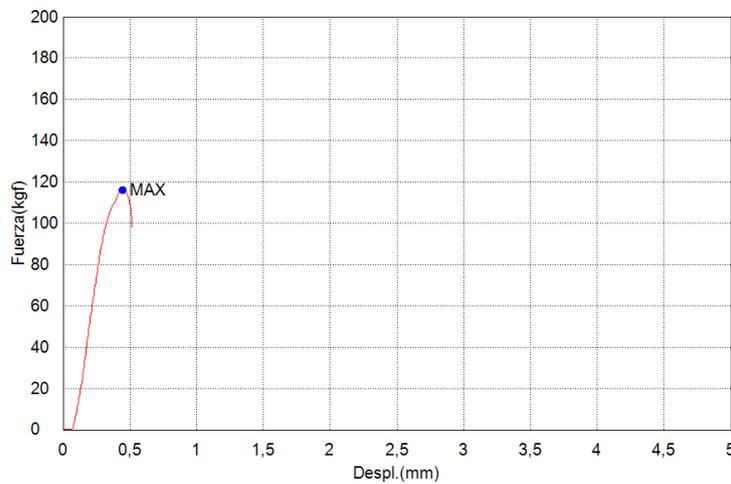
ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1183	0,6	232



Gráfica de ensayo #2 (Lutita, sin inmersión)

Tabla 73: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área

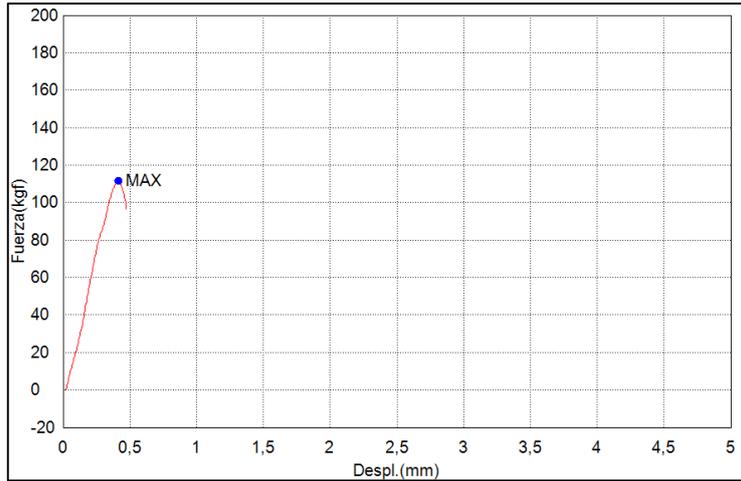
ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1139	0,5	255



Gráfica de ensayo #3 (Lutita, sin inmersión)

Tabla 74: Tabla de ensayo #4 valores de carga, desplazamiento y área

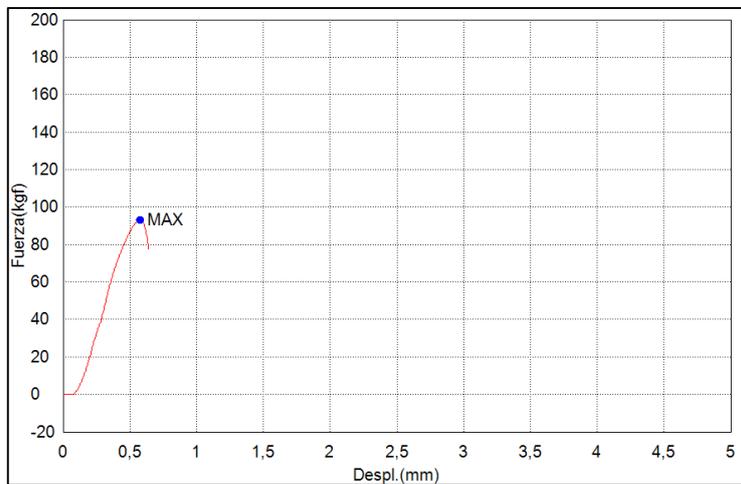
ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1092	0,4	226



Gráfica de ensayo #4 (Lutita, sin inmersión)

Tabla 75: Tabla de ensayo #5 valores de carga, desplazamiento y área

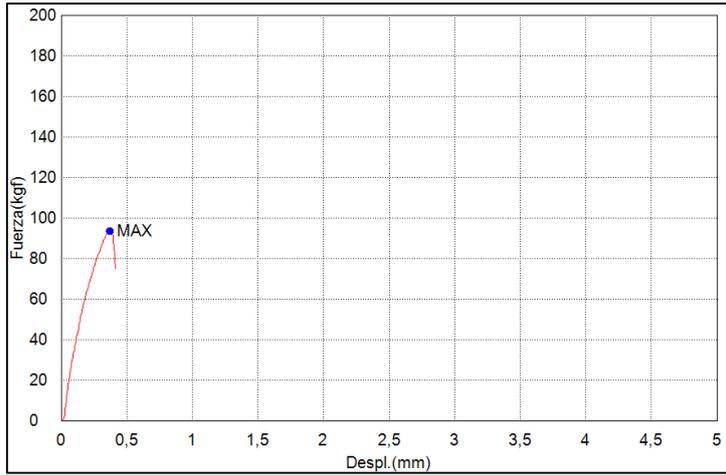
ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
910	0,6	228



Gráfica de ensayo #5 (Lutita, sin inmersión)

Tabla 76: Tabla de ensayo #6 valores de carga, desplazamiento y área

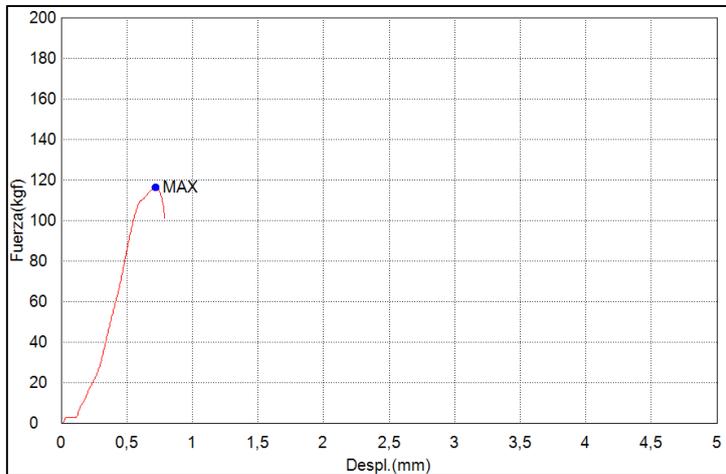
ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
917	0,4	189



Gráfica de ensayo #6 (Lutita, sin inmersión)

Tabla 77: Tabla de ensayo #7 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1137	0,7	281



Gráfica de ensayo #7 (Lutita, sin inmersión)

Tabla 78: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
638	0,7	241

Tabla 79: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
833	0,8	333

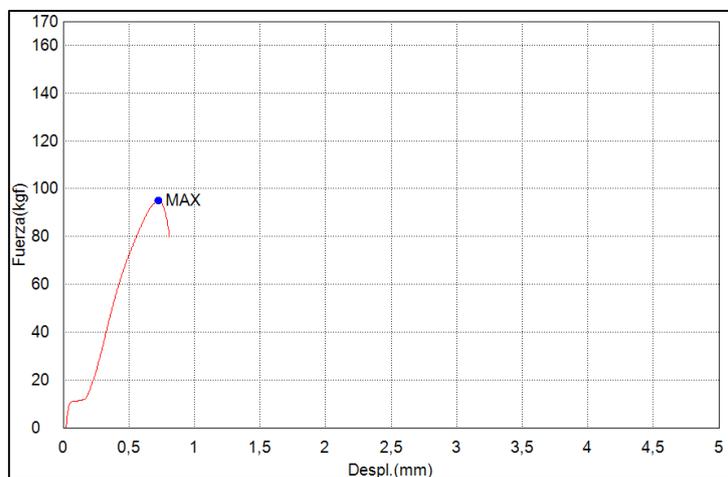
Tabla 80: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1032	0,6	310

ANEXO 12: Resultados para la roca Pizarra Tobácea

Tabla 81: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área

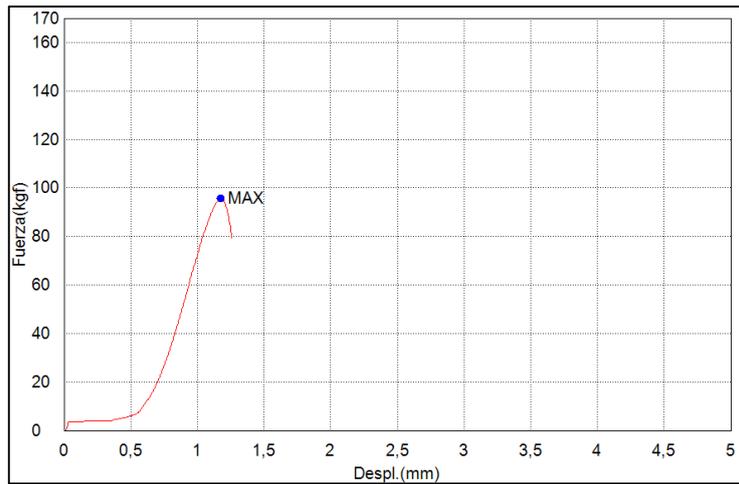
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
930	0,7	329



Gráfica de ensayo #1 (Pizarra Tobácea, sin inmersión)

Tabla 82: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
937	1,2	343



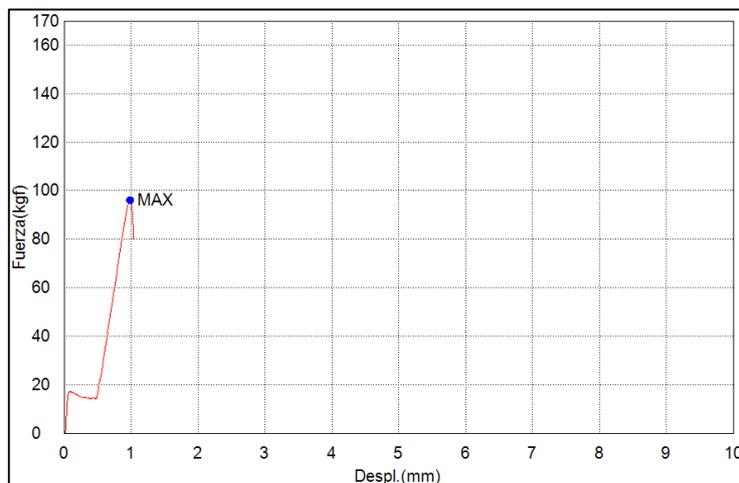
Gráfica de ensayo #2 (Pizarra Tobácea, sin inmersión)

Tabla 83: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
718	0,4	128

Tabla 84: Tabla de ensayo #4 valores de carga, desplazamiento y área

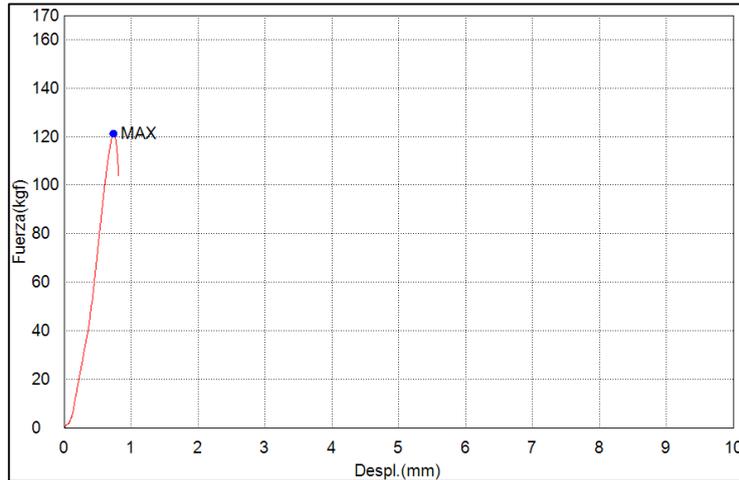
ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
942	1,0	366



Gráfica de ensayo #4 (Pizarra Tobácea, sin inmersión)

Tabla 85: Tabla de ensayo #5 valores de carga, desplazamiento y área

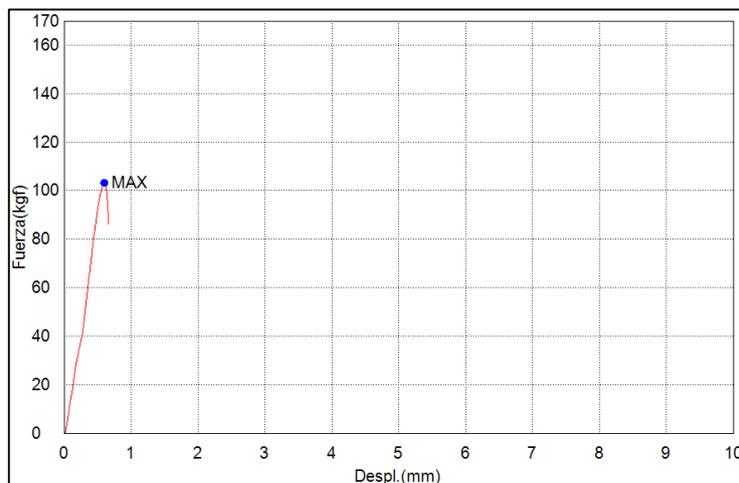
ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1186	0,7	360



Gráfica de ensayo #5 (Pizarra Tobácea, sin inmersión)

Tabla 86: Tabla de ensayo #6 valores de carga, desplazamiento y área

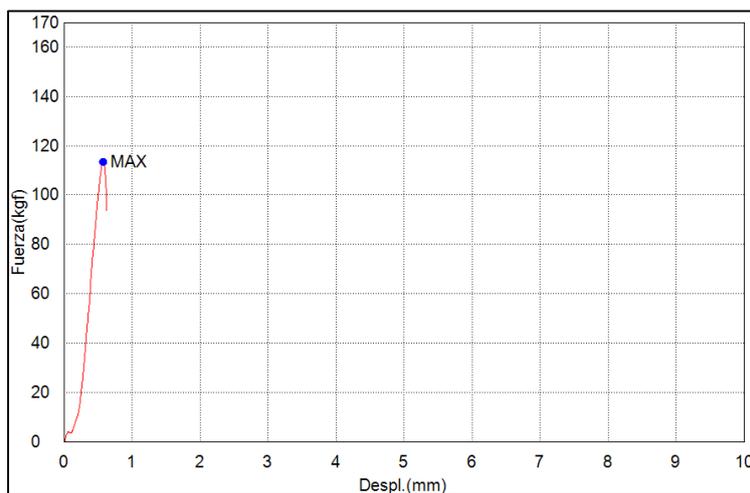
ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1010	0,6	302



Gráfica de ensayo #6 (Pizarra Tobácea, sin inmersión)

Tabla 87: Tabla de ensayo #7 valores de carga, desplazamiento y área

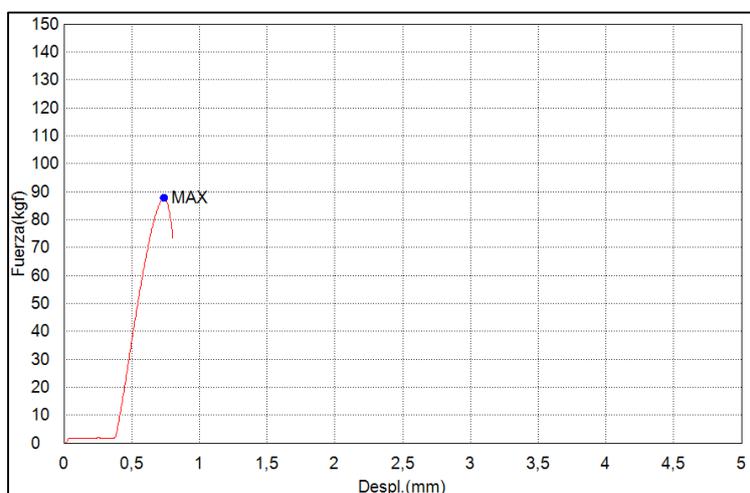
ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1110	0,6	281



Gráfica de ensayo #7 (Pizarra Tobácea, sin inmersión)

Tabla 88: Tabla de ensayo #1 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
860	0,7	202



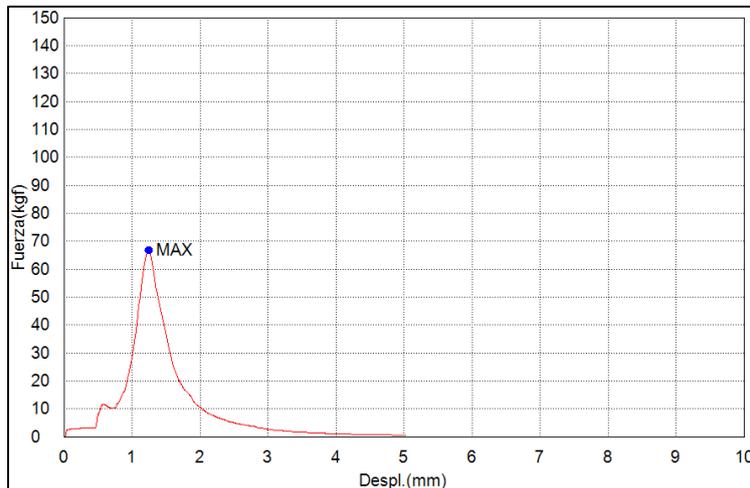
Gráfica de ensayo #1 (Pizarra Tobácea, con inmersión)

Tabla 89: Tabla de ensayo #2 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
710	0,6	180

Tabla 90: Tabla de ensayo #3 valores de carga, desplazamiento y área

ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
654	1,2	200



Gráfica de ensayo #3 (Pizarra Tobácea, con inmersión)



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Fabre Castillo, Gabriel Eduardo**, con C.C: # **0925660110** y **Rosero Monserrate, Víctor Hugo**, con C.C: # **0925789950** autores del trabajo de titulación: **Empleo de la prueba de adherencia con pistón en muestras de rocas procedentes de seis canteras**, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 20 de septiembre de 2017

f. _____

Fabre Castillo Gabriel Eduardo

C.C: 0925660110

f. _____

Rosero Monserrate Víctor Hugo

C.C: 0925789950

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	EMPLEO DE LA PRUEBA DE ADHERENCIA CON PISTÓN EN MUESTRAS DE ROCAS PROCEDENTES DE SEIS CANTERAS		
AUTOR(ES)	FABRE CASTILLO GABRIEL EDUARDO Y ROSERO MONSERRATE VÍCTOR HUGO		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	VILA ROMANÍ ROLANDO		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
FACULTAD:	FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA:	INGENIERÍA CIVIL		
TÍTULO OBTENIDO:	INGENIERO CIVIL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 DE SEPTIEMBRE DE 2017	No. DE PÁGINAS:	158
ÁREAS TEMÁTICAS:	PAVIMENTOS		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	ADHERENCIA, CEMENTO ASFÁLTICO, AGREGADO MINERAL, ENSAYO DE TRACCIÓN, DISEÑO EXPERIMENTAL		
<p>RESUMEN/ABSTRACT: En el presente trabajo se aplica un procedimiento experimental para evaluar la adherencia entre el agregado mineral y el cemento asfáltico, que constituye uno de los aspectos clave para el buen comportamiento de la mezcla asfáltica en un pavimento, principalmente en época de lluvias.</p> <p>Este procedimiento que ha sido ajustado en el Laboratorio de Carreteras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, consiste en aplicar una fuerza de tracción a un sistema conformado entre una pastilla de roca y un pistón metálico de dimensión estándar unidos por una capa de asfalto con espesor de 0.5mm.</p> <p>El mismo se aplicó en rocas procedentes de diferentes canteras del país, bajo condiciones con y sin inmersión en agua. Luego de preparar las muestras y realizar los ensayos en la prensa universal, los resultados son examinados en el programa estadístico Statgraphics Centurion XV, 2006, con cuyos resultados se definen las condiciones de ensayo óptimas, las cuales fueron: temperatura a 25°C, razón de deformación de 25mm/min y espesor de película de asfalto de 500 µm.</p> <p>Con las condiciones determinadas se realizaron nuevos ensayos a 7 muestras de cada roca con el objetivo de evaluar estadísticamente la variabilidad entre ellos. Los resultados mantuvieron la tendencia de una mayor resistencia al despegue por parte de la roca basáltica a pesar de la aparente mejor adherencia de la roca caliza con el asfalto..</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	TELÉFONO: (+593)-991060482 – (+593)- 994380128	E-mail: gabrielfc19@hotmail.com, vh_rmonse@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: ING. CLARA GLAS CEVALLOS		
	Teléfono: +593-4-206950		
	E-mail: claglas@hotmail.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			