

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA EN EL SISTEMA ASFALTO –
AGREGADO MINERAL MEDIANTE PRUEBAS DE TRACCIÓN

AUTORES:

Alcívar Bastidas, Alfredo Gregorio
Lozano Urgilés, Gonzalo Omar

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

TUTOR:

Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.

Guayaquil, Ecuador

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 **Alfredo Gregorio Alcívar Bastidas** y **Gonzalo Omar Lozano Urgilés**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

Ing. Vila Romani, Rolando. PhD.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther. MSc.

Guayaquil, a los 15 días del mes de marzo del año 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Alfredo Gregorio Alcívar Bastidas** y
Gonzalo Omar Lozano Urgilés

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación **Evaluación de la Adherencia en el Sistema Asfalto – Agregado Mineral mediante Pruebas de Tracción** 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 mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 15 días del mes de marzo del año 2017

AUTORES

Alfredo Gregorio Alcívar Bastidas

Gonzalo Omar Lozano Urgilés



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Alfredo Gregorio Alcívar Bastidas** y
Gonzalo Omar Lozano Urgilés

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Evaluación de la Adherencia en el Sistema Asfalto – Agregado Mineral mediante Pruebas de Tracción**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 15 días del mes de marzo del año 2017

AUTORES

Alfredo Gregorio Alcívar Bastidas

Gonzalo Omar Lozano Urgilés

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis 1.docx (D26003193)
Submitted: 2017-02-24 18:07:00
Submitted By: iifiuc.ucatolica@cu.ucsg.edu.ec
Significance: 6 %

Sources included in the report:

completa - Copyact.docx (D14607362)
CAPITULO II.corregido lourdes torres.docx (D12141954)
Tesis final Sebastián Gonzalez Larrea..docx (D15242178)
TESIS MARÍA ELENA RAMÓN MESONES.pdf (D19804036)
<https://secure.arkund.com/repository/ucr/75a9acd8-846f-4847-9674-12c581d32eed>
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-13.pdf?sequence=13>

Instances where selected sources appear:

31

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por terminar con éxitos mi carrera y que me siga cobijando en su manto. A mis padres por sus consejos de vida, ya que esto no hubiese sido posible sin su ayuda. A mi hermana por ser mi guía, esa segunda madre y que sabe lo mucho que la quiero. Al Dr. Rolando Vila por ese apoyo incondicional, preocupación y consejos brindados a lo largo de este trabajo. Al Ing. José Jaramillo Briceño por la ayuda brindada y por la amistad sincera que surgió durante este trabajo. A mi compañero, amigo y hermano Gonzalo Lozano, que Dios nos mantenga con salud y permita seguir conservando esta amistad.

Alfredo Alcívar

A Dios, por haberme guiado espiritualmente y darme la fuerza necesaria para poder culminar exitosamente una nueva etapa estudiantil. A mis padres, por el esfuerzo realizado al brindarme una educación de calidad, el cariño brindado, los valores inculcados y su apoyo constante en cada decisión tomada. A mis amigos por su confianza y apoyo incondicional mostrado a lo largo de este camino. Al Ingeniero Rolando Vila por sus valiosos conocimientos impartidos en la realización de esta tesis, así como su paciencia, responsabilidad y consejos de vida compartidos. Al Ingeniero José Jaramillo por su gran orientación en la preparación del trabajo y su amistad brindada desinteresadamente. A mi gran amigo y compañero de tesis Alfredo Alcívar por haberme brindado su amistad durante todo este tiempo y culminar otra etapa más juntos exitosamente.

Gonzalo Lozano

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios porque gracias a su presencia y a las fuerzas que me brindaba cuando ya no sabía a donde ir o simplemente me sentía solo, me cobijaba con su manto; a mis padres por ser ese refugio lleno de alegría y paz, donde cada palabra era de superación y de éxito; a mi familia, mis tíos y tías, que siempre me tenían en sus oraciones y sea éste el momento de agradecerles por ese apoyo.

Alfredo Alcívar

A mis familiares, amigos y en especial a las generaciones que se preparan, y a todos aquellos que me otorgaron su aporte para obtener una de las más grandes metas durante el transcurso de mi formación profesional.

Gonzalo Lozano



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

Ing. Rolando Vila Romaní. Phd.

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas. MSc.

DIRECTORA DE CARRERA

Ing. Gustavo García Caputi.

OPONENTE

Ing. Federico Von Buchwald.

COORDINADOR DE AREA

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	19
1.1. Antecedentes.....	19
1.2. Razones que motivaron el estudio.....	20
1.3. Justificación del tema	20
1.4. Objetivos	21
1.4.1. Objetivo General.....	21
1.4.2. Objetivos Específicos	21
1.5. Alcance.....	21
1.6. Metodología.....	22
CAPÍTULO II. OBSERVACIONES SOBRE EL FENÓMENO DE LA ADHERENCIA	23
2.1. Agregado Mineral	23
2.1.1. Generalidades	23
2.1.2. Tipos de agregado mineral según su origen	23
2.1.3. Características principales de los agregados en mezclas asfálticas ..	28
2.1.4. Clasificación del agregado de acuerdo a su composición química....	32
2.1.4.1. Agregados Básicos	32
2.1.4.2. Agregados Ácidos.....	32
2.1.5. Exigencias de calidad de los agregados minerales en el Ecuador	33
2.2. Cemento asfáltico.....	34
2.2.1. Generalidades	34
2.2.2. Propiedades físicas y químicas del cemento asfáltico	35
2.2.2.1. Propiedades químicas.....	35
2.2.2.2. Propiedades físicas.....	35
2.2.3. Exigencias de calidad del cemento asfáltico en el Ecuador	37
2.3. Adherencia entre el cemento asfáltico y el agregado mineral	38
2.3.1. Generalidades	38
2.3.2. Mecanismo de la Adherencia.....	39
2.3.3. Efectos del cemento asfáltico y agregado mineral sobre adherencia	40
2.3.3.1. Efecto del Agregado Mineral	40
<i>Propiedades que influyen en la adherencia</i>	41
2.3.3.2. Efecto del Cemento Asfáltico	43
<i>Propiedades que influyen en la adherencia</i>	44
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE TRABAJO	47

3.1.	Introducción.....	47
3.2.	Características de los materiales utilizados en el proceso	48
3.2.1.	Agregados minerales.....	48
3.2.1.1.	Caliza.....	48
3.2.1.2.	Basalto.....	48
3.3.	Procedimiento de elaboración de “sánduches” y prueba de tracción	48
3.3.1.	Propiedades del cemento asfáltico	55
3.4.	Diseño de experimento	55
3.4.1.	Generalidades	55
3.4.2.	Diseño factorial 2k.....	56
3.4.2.1.	ANOVA del diseño factorial 2k.....	56
3.4.2.2.	Número de réplicas en los factoriales 2k.....	56
3.4.2.	Programa Estadístico para el Análisis	57
3.5.	Resultados de los ensayos experimentales	57
3.5.1.	Ejemplo de procedimiento de los datos obtenidos en un ensayo.	57
3.5.2.	Resumen de resultados.....	59
CAPÍTULO IV. RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL OBTENIDOS DEL SOFTWARE STATGRAPHICS.....		60
4.1.	Análisis de varianza para Carga (N) en el experimento	60
4.1.1.	Gráficas de efectos principales para Carga (N)	63
4.1.2.	Gráfica de cubo para Cargas (N).....	65
4.2.	Análisis de varianza para Carga (N) con espesores independientes.....	65
4.2.1.	ANOVA para espesor de 500 μ m	65
	<i>Coefficientes de regresión para Carga (N)</i>	67
4.2.1.1.	Gráficas de efectos principales para Carga (N).....	68
4.2.1.2.	Gráfica de cubo para Cargas (N)	70
4.2.2.	ANOVA para contacto total.....	70
4.3.	Resultados del diseño experimental aplicado al procedimiento ajustado .	72
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		73
5.1.	Conclusiones.....	73
5.2.	Recomendaciones.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....		75
ANEXOS		77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Clasificación general de los agregados	27
Tabla 2.2: Tamaño de muestra agregado grueso	31
Tabla 2.3: Requisitos de calidad del material mineral para carpetas.....	34
Tabla 2.4: Requisitos para la clasificación por viscosidad (60°C) de los cementos asfálticos en el Ecuador.....	38
Tabla 3.1: Características de piedra caliza	48
Tabla 3.2: Características de piedra basalto	48
Tabla 3.3: Propiedades del asfalto utilizado.....	55
Tabla 3.4: Variables y niveles para el Diseño de Experimento.....	55
Tabla 3.5: Réplicas o Corridas en la familia de diseños 2k	57
Tabla 3.6: Resultados del Diseño de Experimento.....	59
Tabla 4.1: Análisis de varianza para Carga.....	60
Tabla 4.2: Análisis de varianza ajustado para Carga	62
Tabla 4.3: Análisis de varianza para espesor 500 μm	66
Tabla 4.4: Coeficiente de regresión para carga	67
Tabla 4.5: Análisis de varianza para espesor contacto total.....	71
Tabla 4.6: Resultados del diseño experimental ajustado	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Rocas Intrusivas	24
Figura 2.2: Rocas Extrusivas	24
Figura 2.3: Rocas Sedimentarias	25
Figura 2.4: Rocas Metamórficas Foliadas	26
Figura 2.5: Rocas Metamórficas No Foliadas	26
Figura 2.6: Ensayo de Sulfatos	29
Figura 2.7: Macrotextura y Microtextura	30
Figura 2.8: Ensayo de mancha de arena	30
Figura 2.9: Clasificación de agregados de acuerdo a su composición química	32
Figura 2.10: Falla por adhesión entre el asfalto y el agregado	36
Figura 2.11: Falla por cohesión entre el asfalto y el agregado	36
Figura 2.12: Esquema de la influencia de la tensión superficial.	45
Figura 2.13: Representación del cubrimiento del agregado mineral realizado por el asfalto	45
Figura 3.1: Limpieza de pastilla	49
Figura 3.2: Proceso de lijado de muestras	49
Figura 3.3: Lavado con agua destilada	50
Figura 3.4: Protección con papel aluminio	50
Figura 3.5: Secado de pastillas en el horno	51
Figura 3.6: Incremento de temperatura	51
Figura 3.7: Colocación de asfalto en pastillas	51
Figura 3.8: Proceso de envejecimiento	52
Figura 3.9: Formación de “sánduches”	52
Figura 3.10: Retiro de papel aluminio	53
Figura 3.11: Temperatura de ensayo	53
Figura 3.12: Ensayo de la muestra	54
Figura 3.13: Gráfica resultante del ensayo a tracción	54
Figura 3.14: Gráfica Carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm).....	40
Figura 4.1: Diagrama de Pareto Estandarizada para Carga	61
Figura 4.2: Diagrama de Pareto estandarizada ajustado para Carga	62
Figura 4.3: Gráfica de efectos principales para Carga	63
Figura 4.4: Gráfica de efectos principales para Carga vs Agregado.....	63

Figura 4.5: Gráfica de efectos principales para Carga vs Espesor	64
Figura 4.6: Gráfica de efectos principales para Carga vs Temperatura	64
Figura 4.7: Gráfica de interacción para Carga	64
Figura 4.8: Gráfica de cubo para Carga con Velocidad 25 mm/min	65
Figura 4.9: Diagrama de Pareto Estandarizada para Carga.....	67
Figura 4.10: Gráfica de efectos principales para Carga	50
Figura 4.11: Gráfica de efectos principales para Carga	50
Figura 4.12: Gráfica de efectos principales para Carga	51
Figura 4.13: Gráfica de efectos principales para Carga	69
Figura 4.14: Gráfica de interacción para Carga.....	69
Figura 4.15: Gráfica de interacción para Carga.....	70
Figura 4.16: Gráfica de cubo para Carga con Velocidad 25 mm/min	70

ÍNDICE DE ANEXOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	77
Foto 1: Limpieza de pastillas con agua destilada.....	77
Foto 2: Proceso de secado durante 24 horas.....	77
Foto 3: Pintado de cada pastilla.....	77
Foto 4: Ensayo a tracción.....	78
TABLAS Y GRÁFICAS DE ENSAYOS GENERALES.....	78
Tabla 1: Tabla de ensayo #1 con carga, desplazamiento y área.....	78
Gráfica 1: Gráfica ensayo #1 (Caliza 25°C, 5 mm/min, contacto total).....	78
Tabla 2: Tabla de ensayo #2 con carga, desplazamiento y área.....	79
Gráfica 2: Gráfica ensayo #2 (Caliza 25°C, 5 mm/min, contacto total).....	79
Tabla 3: Tabla de ensayo #3 con carga, desplazamiento y área.....	79
Gráfica 3: Gráfica ensayo #3 (Caliza 10°C, 5 mm/min, contacto total).....	79
Tabla 4: Tabla de ensayo #4 con carga, desplazamiento y área.....	80
Gráfica 4: Gráfica ensayo #4 (Caliza 25°C, 5 mm/min, 500 µm).....	80
Tabla 5: Tabla de ensayo #5 con carga, desplazamiento y área.....	80
Gráfica 5: Gráfica ensayo #5 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm).....	80
Tabla 6: Tabla de ensayo #6 con carga, desplazamiento y área.....	81
Gráfica 6: Gráfica ensayo #6 (Caliza 10°C, 5 mm/min, 500 µm).....	81
Tabla 7: Tabla de ensayo #7 con carga, desplazamiento y área.....	81
Gráfica 7: Gráfica ensayo #7 (Caliza 10°C, 25 mm/min, contacto total).....	81
Tabla 8: Tabla de ensayo #8 con carga, desplazamiento y área.....	82
Gráfica 8: Gráfica ensayo #8 (Caliza 25°C, 5 mm/min, contacto total).....	82
Tabla 9: Tabla de ensayo #9 con carga, desplazamiento y área.....	82
Gráfica 9: Gráfica ensayo #9 (Caliza 25°C, 25 mm/min, contacto total).....	82
Tabla 10: Tabla de ensayo #10 con carga, desplazamiento y área.....	83
Gráfica 10: Gráfica ensayo #10 (Caliza 10°C, 25 mm/min, 500 µm).....	83
Tabla 11: Tabla de ensayo #11 con carga, desplazamiento y área.....	83
Gráfica 11: Gráfica ensayo #11 (Caliza 25°C, 5 mm/min, 500 µm).....	83
Tabla 12: Tabla de ensayo #12 con carga, desplazamiento y área.....	84
Gráfica 12: Gráfica ensayo #12 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm).....	84
Tabla 13: Tabla de ensayo #13 con carga, desplazamiento y área.....	84
Gráfica 13: Gráfica ensayo #13 (Caliza 10°C, 5 mm/min, contacto total).....	84
Tabla 14: Tabla de ensayo #14 con carga, desplazamiento y área.....	85

Gráfica 14: Gráfica ensayo #14 (Caliza 10°C, 25 mm/min, contacto total)	85
Tabla 15: Tabla de ensayo #15 con carga, desplazamiento y área	85
Gráfica 15: Gráfica ensayo #15 (Caliza 25°C, 5 mm/min, contacto total)	85
Tabla 16: Tabla de ensayo #16 con carga, desplazamiento y área	86
Gráfica 16: Gráfica ensayo #16 (Caliza 10°C, 5 mm/min, 500 µm)	86
Tabla 17: Tabla de ensayo #17 con carga, desplazamiento y área	86
Gráfica 17: Gráfica ensayo #17 (Caliza 10°C, 25 mm/min, 500 µm)	86
Tabla 18: Tabla de ensayo #18 con carga, desplazamiento y área	87
Gráfica 18: Gráfica ensayo #18 (Caliza 25°C, 5 mm/min, 500 µm)	87
Tabla 19: Tabla de ensayo #19 con carga, desplazamiento y área	87
Gráfica 19: Gráfica ensayo #19 (Caliza 25°C, 25 mm/min, contacto total)	87
Tabla 20: Tabla de ensayo #20 con carga, desplazamiento y área	88
Gráfica 20: Gráfica ensayo #20 (Caliza 10°C, 5 mm/min, contacto total)	88
Tabla 21: Tabla de ensayo #21 con carga, desplazamiento y área	88
Gráfica 21: Gráfica ensayo #21 (Caliza 10°C, 25 mm/min, contacto total)	88
Tabla 22: Tabla de ensayo #22 con carga, desplazamiento y área	89
Gráfica 22: Gráfica ensayo #22 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm)	89
Tabla 23: Tabla de ensayo #23 con carga, desplazamiento y área	89
Gráfica 23: Gráfica ensayo #23 (Caliza 10°C, 5 mm/min, 500 µm)	89
Tabla 24: Tabla de ensayo #24 con carga, desplazamiento y área	90
Gráfica 24: Gráfica ensayo #24 (Caliza 10°C, 25 mm/min, 500 µm)	90
Tabla 25: Tabla de ensayo #25 con carga, desplazamiento y área	90
Gráfica 25: Gráfica ensayo #25 (Basalto 25°C, 5 mm/min, contacto total)	90
Tabla 26: Tabla de ensayo #26 con carga, desplazamiento y área	91
Gráfica 26: Gráfica ensayo #26 (Basalto 25°C, 25 mm/min, contacto total)	91
Tabla 27: Tabla de ensayo #27 con carga, desplazamiento y área	91
Gráfica 27: Gráfica ensayo #27 (Basalto 10°C, 5 mm/min, contacto total)	91
Tabla 28: Tabla de ensayo #28 con carga, desplazamiento y área	92
Gráfica 28: Gráfica ensayo #28 (Basalto 25°C, 5 mm/min, 500 µm)	92
Tabla 29: Tabla de ensayo #29 con carga, desplazamiento y área	92
Gráfica 29: Gráfica ensayo #29 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 µm)	92
Tabla 30: Tabla de ensayo #30 con carga, desplazamiento y área	93
Gráfica 30: Gráfica ensayo #30 (Basalto 10°C, 5 mm/min, 500 µm)	93
Tabla 31: Tabla de ensayo #31 con carga, desplazamiento y área	93
Gráfica 31: Gráfica ensayo #31 (Basalto 10°C, 25 mm/min, contacto total)	93
Tabla 32: Tabla de ensayo #32 con carga, desplazamiento y área	94

Gráfica 32: Gráfica ensayo #32 (Basalto 10°C, 25 mm/min, contacto total)	94
Tabla 33: Tabla de ensayo #33 con carga, desplazamiento y área	94
Gráfica 33: Gráfica ensayo #33 (Basalto 25°C, 25 mm/min, contacto total)	94
Tabla 34: Tabla de ensayo #34 con carga, desplazamiento y área	95
Gráfica 34: Gráfica ensayo #34 (Basalto 10°C, 25 mm/min, 500 µm)	95
Tabla 35: Tabla de ensayo #35 con carga, desplazamiento y área	95
Gráfica 35: Gráfica ensayo #35 (Basalto 25°C, 5 mm/min, 500 µm)	95
Tabla 36: Tabla de ensayo #36 con carga, desplazamiento y área	96
Gráfica 36: Gráfica ensayo #36 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 µm)	96
Tabla 37: Tabla de ensayo #37 con carga, desplazamiento y área	96
Gráfica 37: Gráfica ensayo #37 (Basalto 10°C, 5 mm/min, contacto total)	96
Tabla 38: Tabla de ensayo #38 con carga, desplazamiento y área	97
Gráfica 38: Gráfica ensayo #38 (Basalto 10°C, 25 mm/min, contacto total)	97
Tabla 39: Tabla de ensayo #39 con carga, desplazamiento y área	97
Gráfica 39: Gráfica ensayo #39 (Basalto 25°C, 5 mm/min, contacto total)	97
Tabla 40: Tabla de ensayo #40 con carga, desplazamiento y área	98
Gráfica 40: Gráfica ensayo #40 (Basalto 10°C, 5 mm/min, 500 µm)	98
Tabla 41: Tabla de ensayo #41 con carga, desplazamiento y área	98
Gráfica 41: Gráfica ensayo #41 (Basalto 10°C, 25 mm/min, 500 µm)	98
Tabla 42: Tabla de ensayo #42 con carga, desplazamiento y área	99
Gráfica 42: Gráfica ensayo #42 (Basalto 25°C, 5 mm/min, 500 µm)	99
Tabla 43: Tabla de ensayo #43 con carga, desplazamiento y área	99
Gráfica 43: Gráfica ensayo #43 (Basalto 25°C, 25 mm/min, contacto total)	99
Tabla 44: Tabla de ensayo #44 con carga, desplazamiento y área	100
Gráfica 44: Gráfica ensayo #44 (Basalto 10°C, 5 mm/min, contacto total)	100
Tabla 45: Tabla de ensayo #45 con carga, desplazamiento y área	100
Gráfica 45: Gráfica ensayo #45 (Basalto 10°C, 25 mm/min, contacto total)	100
Tabla 46: Tabla de ensayo #46 con carga, desplazamiento y área	101
Gráfica 46: Gráfica ensayo #46 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 µm)	101
Tabla 47: Tabla de ensayo #47 con carga, desplazamiento y área	101
Gráfica 47: Gráfica ensayo #47 (Basalto 10°C, 5 mm/min, 500 µm)	101
Tabla 48: Tabla de ensayo #48 con carga, desplazamiento y área	102
Gráfica 48: Gráfica ensayo #48 (Basalto 10°C, 25 mm/min, 500 µm)	102
TABLAS Y GRÁFICAS DE ENSAYOS FINALES	102
Tabla 1: Tabla de ensayo final #1 con carga, desplazamiento y área	102
Gráfica 1: Gráfica ensayo final #1 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm)	102

Tabla 2: Tabla de ensayo final #2 con carga, desplazamiento y área	103
Gráfica 2: Gráfica ensayo final #2 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm).....	103
Tabla 3: Tabla de ensayo final #3 con carga, desplazamiento y área	103
Gráfica 3: Gráfica ensayo final #3 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm).....	103
Tabla 4: Tabla de ensayo final #4 con carga, desplazamiento y área	104
Gráfica 4: Gráfica ensayo final #4 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm).....	104
Tabla 5: Tabla de ensayo final #5 con carga, desplazamiento y área	104
Gráfica 5: Gráfica ensayo final #5 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 µm).....	104
Tabla 6: Tabla de ensayo final #6 con carga, desplazamiento y área	105
Gráfica 6: Gráfica ensayo final #6 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 µm).....	105
Tabla 7: Tabla de ensayo final #7 con carga, desplazamiento y área	105
Gráfica 7: Gráfica ensayo final #7 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 µm).....	105

RESUMEN

El Ecuador, a través del tiempo, ha desarrollado obras viales, que al poco tiempo han tenido que ser reparadas lo cual conlleva a un mayor enfoque a los factores que inciden de manera directa al deterioro en las carpetas asfálticas, como es el caso de la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral.

El presente trabajo de titulación realiza una investigación aplicando un procedimiento experimental con pruebas a tracción a pastillas de rocas pegadas con cemento asfáltico previamente tratadas.

El diseño experimental consideró varios factores como el tipo de roca, la temperatura, la razón de deformación y el espesor de película de asfalto. Los dos tipos de rocas empleados en este trabajo investigativo fueron la roca caliza y la roca basáltica.

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

En el país, el diseño y control de calidad rutinario a las mezclas asfálticas elaboradas en planta, se basa en los criterios del método de diseño Marshall (Asphalt Institute, 1997), de acuerdo a las normativas de nuestro Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). Normalmente se cumplen con los diseños y controles establecidos a las mezclas asfálticas, sin embargo es muy frecuente observar en las vías del territorio nacional pavimentos dañados o deteriorados a los pocos años de su construcción, rehabilitación o reconstrucción, lo cual demuestra la poca durabilidad de los mismos. Esta situación se puede observar con mayor frecuencia en la temporada invernal y aún más con la ocurrencia del fenómeno de El Niño.

A nuestro juicio el componente principal para evaluar el funcionamiento de la mezcla se encuentra en el sistema agregado mineral – ligante asfáltico, primordialmente en la calidad y posterior conservación de la adherencia que se produce entre ambos.

Los agregados minerales y el asfalto deben cumplir ciertos requisitos y parámetros de calidad de manera individual según las especificaciones del MTO (Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, MOP Quito – Ecuador, 2002). Las propiedades a evaluarse en los agregados minerales comprende: forma, dureza, limpieza y adherencia. Ellas determinan la aptitud del agregado para la producción de mezclas asfálticas, pero en el caso de la adherencia esta se determina de manera indirecta a nivel de la mezcla propiamente.

Es decir, para el estudio de la adherencia entre el agregado y el cemento asfáltico actualmente se realizan ensayos que están enfocados a analizar las mezclas asfálticas en su interacción con el agua, lo cual conlleva a un 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, es decir, sin la presencia de agua. Actualmente no se emplean en el país una prueba “directa” de adherencia.

1.2. Razones que motivaron el estudio

Las vías de comunicación contribuyen al continuo movimiento y crecimiento de la economía de un país, por lo que es fundamental incentivar el constante desarrollo de nuevos estudios o ensayos para lograr una mayor durabilidad en nuestras carreteras.

En el Ecuador durante mucho tiempo se han visto carreteras que al poco tiempo de su inauguración han tenido que ser reparadas o rehabilitadas. La construcción y mantenimiento de las principales vías del país son supervisadas por el MTOP, entidad que realiza inversiones para tener carreteras que proporcionen un adecuado servicio durante su período de diseño, lo que muchas veces no se cumple.

Debido a la importancia de la evaluación de la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral así como su papel en la capacidad estructural de las capas asfálticas, el Laboratorio de Pavimentos de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil realiza una investigación al respecto, empleándose en este estudio en particular un ensayo a tracción en el cual se consideran diferentes variables: el tipo de agregado mineral, la temperatura y el espesor de película de asfalto.

1.3. Justificación del tema

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 capacidad estructural, poca durabilidad y acelerar el efecto negativo del agua.

Para la satisfactoria realización de esta investigación se consultó un Trabajo de Titulación previo, el cual trata sobre la “Evaluación de la adherencia en el sistema asfalto – agregado mineral mediante una prueba de corte directo” elaborada por la Ing. Helen Carrión Baste y el Ing. Wagner Velásquez Solórzano, el mismo que ha sido de gran ayuda para la estructuración de esta investigación.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Valorar la resistencia a la ligadura del sistema ligante asfáltico - agregado mineral a través del ajuste de un procedimiento de ensayo con pruebas de tracción, utilizando núcleos extraídos de rocas y cemento asfáltico AC-20, a partir de un diseño experimental tipo 2^k con 3 réplicas, teniendo como factores: el tipo de roca, la temperatura y la velocidad de carga, con dos niveles en cada caso.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar las características y propiedades de los dos tipos de rocas que se van a utilizar en la investigación y el cemento asfáltico AC-20 procedente de la Refinería de Esmeraldas.
- Determinar una metodología de ensayo mediante pruebas de tracción a partir de un diseño de experimentos factorial con el fin de evaluar la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado mineral.
- Utilizar el procedimiento ajustado al menos a 7 muestras de ambas rocas estudiadas para evaluar estadísticamente la variabilidad de los resultados.

1.5. Alcance

El presente trabajo pretende implementar y aplicar un procedimiento simple que permita caracterizar de manera “pura” la adherencia en el sistema ligante asfáltico - agregado mineral mediante una prueba de tracción, evitando obstrucciones como las generadas en las mezclas asfálticas con la trabazón de los distintos agregados. Este sistema para caracterizar la adherencia se basa en la obtención de la resistencia a la ligadura con una prueba de tracción realizada a una muestra compuesta por dos pastillas cilíndricas de la misma roca pegadas con cemento asfáltico bajo ciertos requisitos. De esta forma se podrá comparar la potencial variabilidad de esta

resistencia en rocas con diferentes constituciones mineralógicas y determinar los parámetros adecuados que permitan ofrecer un mejor comportamiento. La información obtenida permitirá realizar comparaciones y hacer recomendaciones sobre la prueba aplicada y el tema en general.

1.6. Metodología

El presente trabajo de investigación se caracteriza por contener una parte experimental y otra cuantitativa, reflejándose mediante la medición de la resistencia a la ligadura entre los cilindros de roca caliza y basalto, los cuales estarán unidos por una capa de ligante asfáltico.

La investigación estará constituida de tres etapas, las cuales son:

1. Marco teórico.
2. Desarrollo experimental.
3. Análisis de resultados.

Todas las etapas se dividen en trabajos concretos, dentro de los cuales tenemos los siguientes:

- Marco teórico conceptual:
 - Estudio bibliográfico.

- Desarrollo experimental:
 - Preparación de muestras eliminando residuos de asfalto de pruebas anteriores.
 - Elaboración del diseño de experimentos factorial para ajuste del procedimiento de ensayo.
 - Realización de las pruebas de tracción a diferentes muestras de roca.

- Análisis de resultados:
 - Comparación de los resultados conseguidos.
 - Conclusiones.
 - Recomendaciones.

CAPÍTULO II

2. OBSERVACIONES SOBRE EL FENÓMENO DE LA ADHERENCIA

2.1. Agregado Mineral

2.1.1. Generalidades

Los agregados tienen una influencia notable en las mezclas asfálticas ya que estos forman parte de su composición en un gran porcentaje. El agregado es un material granular, generalmente inerte, resultante de la desintegración natural, desgaste o trituración de rocas, usado en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria, y polvo de roca.

El agregado dentro de las mezclas asfálticas constituye entre el 90 – 95% en peso, y entre el 75 – 85 % en volumen. En general, el comportamiento de un pavimento se ve influenciado por la selección correcta del agregado, debido a que éste proporciona gran parte de las características de capacidad portante.

2.1.2. Tipos de agregado mineral según su origen

Los agregados minerales de acuerdo su origen se clasifican en:

- **Rocas Ígneas:** Las rocas ígneas o consideradas también eruptivas, constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Esta clase de roca se divide en 2 tipos: rocas extrusivas, rocas intrusivas.
 - **Rocas Extrusivas:** Estas rocas son de grano fino y se forman en base al material que se ha vertido afuera, en la superficie terrestre producto de las erupciones o cualquier otra actividad geológica similar. El resultado de este tipo de roca tiene una apariencia vidriosa, dado que el

material se enfría muy rápido al estar expuesto a la atmósfera. La riolita, la obsidiana, la andesita y el basalto son ejemplos de este tipo de rocas.

- **Rocas Intrusivas:** Estas rocas son de gran grueso y se forman por el magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. El resultado de este tipo de roca tiene una apariencia cristalina, dado que está atrapada por lo que se enfría y se endurece de manera muy lenta permitiendo dicha formación. La diorita, el granito y el gabro son ejemplos de este tipo de rocas.



Figura 2.1: Rocas Intrusivas

Fuente: Universidad de Castilla-La Mancha



Figura 2.2: Rocas Extrusivas

Fuente: Universidad Complutense de Madrid

- **Rocas Sedimentarias:** La disgregación de las formaciones litológicas por procesos de degradación física y/o alteración química, da lugar a la formación de este tipo de roca. Las rocas sedimentarias pueden tener diversas clasificaciones, las cuales son:

- **Clásticas o Detríticas:** Estas son formadas por clastos o detritus de otras rocas.
- **Químicas:** Estas son formadas en la fase evaporítica de la sedimentación.
- **Organógenas:** Estas se forman cuando el elemento cementado es básicamente de origen orgánico o restos fósiles.

Dentro de esta clasificación se considera a su vez la granulometría o distribución por tamaños y la composición de los mismos, con gran influencia en las características constructivas del material. De entre ellas destacamos por su aplicación en construcción las calizas y las areniscas.



Figura 2.3: Rocas Sedimentarias

Fuente: Maruja Ruiz, 2016

- **Rocas Metamórficas:** Estas rocas son generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos intensos de presión y calor dentro de la tierra, y a su vez por reacciones químicas. Resulta complicado determinar el origen de una roca metamórfica, debido a que los procesos de formación son demasiados complejos. Estas rocas se dividen en 2 tipos:
 - **Foliadas**
 - **No Foliadas**



Figura 2.4: Rocas Metamórficas Foliadas

Fuente: Merche Pérez



Figura 2.5: Rocas Metamórficas No Foliadas

Fuente: Merche Pérez

Las rocas metamórficas presentan un rasgo característico, los minerales se encuentran alineados en capas o planos paralelos (partir la roca en el sentido de sus planos es mucho más fácil que partirla en sus otras direcciones). Ese tipo de rocas que exhiben esa estructura se denominan “foliadas”. Los esquistos, los gneises y las pizarras son ejemplos de este tipo de roca. Por otra parte, no todas las rocas metamórficas son foliadas, entre las cuales tenemos el mármol formado de las calizas y la cuarzita formada de las areniscas, éstas son muy comunes de rocas metamórficas no foliadas.

En la siguiente tabla se presenta la clasificación general de las rocas:

Tabla 2.1: Clasificación general de los agregados

CLASE	TIPO	FAMILIA
SEDIMENTARIA	CALCÁREAS	CALIZA
		DOLOMITA
	SILÍCEAS	ARCILLA ESQUISTOSA ARENISCA HORSTENO CONGLOMERADO BRECCIA
METAMÓRFICAS	FOLIADAS	GNEIS ESQUISTO ANFIBOLITA PIZARRA
	NO FOLIADAS	CUARCITA MÁRMOL SERPENTINA
ÍGNEAS	INTRUSIVAS (DE GRANO GRUESO)	GRANITO SIENITA DIORITA GABBRO PERIODOTITA PIROXENITA HORNABLENDITA
	EXTRUSIVAS (DE GRANO FINO)	OBSIDIANA PÓMEZ TUFA RIOLITA TRAQUITA ANDESITA BASALTO DIABASA

Fuente: Asphalt Institute (MS – 22)

2.1.3. Características principales de los agregados en mezclas asfálticas

Los agregados deben tener ciertas características principales en las mezclas asfálticas, las cuales son:

- **Tamaño:** En las mezclas asfálticas las partículas de los agregados deben presentar ciertos tamaños y distribuciones con la finalidad de cumplir con las normativas de trabajo. Según su tamaño, los agregados se dividen en 3 tipos:
 - **Agregado Grueso:** Para este tipo de agregado las partículas tienen un tamaño mayor o igual a la abertura del tamiz N°4, es decir, 4.75 mm.
 - **Agregado Fino:** En este tipo de agregado las partículas tienen un tamaño menor a la abertura del tamiz N°4.
 - **Filler:** Las partículas en este tipo corresponden al pasante por el tamiz N°200, es decir, 0.0074 mm.

Hay que tener en cuenta que la frontera del tamiz N°4 es usada frecuentemente en Mecánica de Suelos. Sin embargo, el Instituto de Asfalto emplea el tamiz N°8 (Instituto de Asfalto MS-22).

- **Forma:** Los agregados pueden tener diversas formas que podrían afectar o favorecer a los pavimentos, las formas más usuales son: angulares, redondeadas, irregulares y alargadas. Es por eso que el proceso de trituración de los agregados es importante ya que es el que controla la forma de los mismos. Las partículas irregulares y angulares resisten el desplazamiento en el pavimento, debido a que se entrelazan cuando son compactadas. La forma de la partícula afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

La forma usualmente se evalúa a través de la determinación de caras fracturadas en el agregado grueso (ASTM D 5821) y el porcentaje de partículas planas y alargadas (ASTM D 4791).

- **Dureza:** La ausencia de conglomerantes en las capas granulares, origina que las partículas soporten esfuerzos puntuales mayores que en una capa, por lo que es importante que los agregados tengan una apreciable dureza. Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante su producción, colocación y durante su vida de servicio. El ensayo de desgaste de Los Ángeles (AASHTO T96) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión. El ensayo de sulfatos en áridos se basa en someter una muestra a la acción de ciclos de exposición y secado en una solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio y determinar los efectos de esta acción sobre las partículas del agregado (INEN 863:2011).



Figura 2.6: Ensayo de Sulfatos

Fuente: Guanín, 2009

- **Textura Superficial:** La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no sólo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Para evaluar la textura superficial se debe analizar la microtextura y macrotextura. La microtextura concierne a la textura superficial propia de la superficie en los agregados mientras que la macrotextura analiza la textura superficial del pavimento.

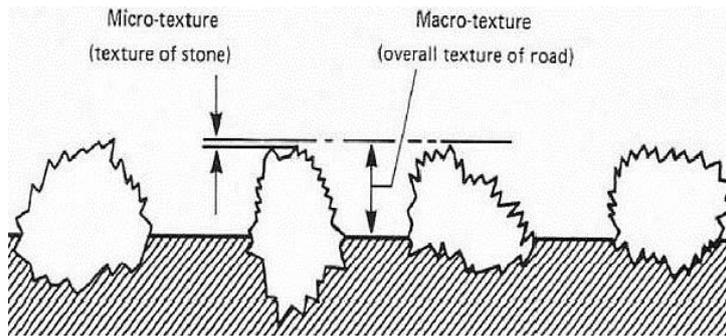


Figura 2.7: Macrotextura y Microtextura

Fuente: Autores

El ensayo de mancha de arena es una prueba clásica para analizar la macrotextura, el cual consiste en la utilización de un volumen conocido de arena distribuido en forma de mancha circular y al dividir el volumen de dicho material esparcido entre el área cubierta se obtiene la "profundidad media de textura". Para evaluar la microtextura existen varios ensayos entre ellos el péndulo de fricción TRRL, que es uno de los empleados en el Ecuador (ASTM E 965).



Figura 2.8: Ensayo de mancha de arena

Fuente: Palha, 2010

En ciertos libros se muestra a la textura superficial como un factor más importante que la forma de la partícula, debido a la evaluación de la resistencia al deslizamiento.

- **Limpieza:** La limpieza de los agregados se puede determinar de manera visual; este factor es importante porque de eso depende el comportamiento del material. Para su uso debe estar libre de polvo, y sobre todo de partículas que

puedan alterar su funcionamiento. El ensayo de equivalente de arena (AASHTO T176) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción de agregado que pasa el tamiz de 4.75mm. (Asphalt Institute MS – 22)

El ensayo de deletéreos permite obtener el contenido de partículas no rocosas presentes en los materiales granulares; para agregado fino debe consistir de partículas retenidas en el tamiz N° 16 y no deberá pesar menos de 25g y para el ensayo de agregado grueso debe separarse en diferentes tamaños, empleando los siguientes tamices: 4.75 mm, 9.5 mm, 19 mm, 37.5 mm y no deberán pesar menos de lo que indica la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Tamaño de muestra agregado grueso

Tamiz ASTM		Masa mínima de la muestra de ensayo
Pasa	Retiene	gramos
Mayores a 1 ½"	1 ½"	5000
1 ½"	¾"	3000
¾"	3/8"	2000
3/8"	N°4	1000

Fuente: ASTM C 142-85

- **Capacidad de Absorción en Agua:** Los agregados por su naturaleza son porosos, unos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado pueda absorber cuando se lo sumerge en agua lo determina su porosidad, es por eso que si un agregado es altamente absorbente, éste seguirá absorbiendo asfalto después de su mezclado. De esa manera es que los agregados altamente porosos y absorbentes no son usados a menos que tengan otras características que haga importante su uso.
- **Adherencia:** Esta es una propiedad muy importante que no se resume en esta sección ya que será tratada ampliamente en capítulos posteriores.

2.1.4. Clasificación del agregado de acuerdo a su composición química

2.1.4.1. Agregados Básicos

Los agregados básicos están compuestos en su mayoría por carbonatos como por ejemplo la caliza. Esto se puede observar mediante el porcentaje de cuarzo u óxido de silicio (SiO_2) que tienen los agregados, el cual debe ser menor al 55% para ser considerados básicos.

La superficie de los agregados básicos está cargada positivamente cuando ésta se encuentra en presencia de agua. Estos agregados muestran atracción a los ácidos libres en ligantes por lo que se genera una excelente adhesividad con los mismos y no con el agua. Son llamados agregados hidrofóbicos.

2.1.4.2. Agregados Ácidos

Los agregados ácidos por su composición poseen 55% o más de cuarzo. Dado a su acidez, la superficie está cargada negativamente cuando se encuentra en presencia de agua. Estos agregados muestran una gran afinidad con el agua por lo que se los conoce como agregados hidrofílicos, pero la adhesividad que existe entre éstos agregados y el ligante es de poca calidad dado que con el agua puede desplazar al ligante.



Figura 2.9: Clasificación de agregados de acuerdo a su composición química

Fuente: Interacción Química del Asfalto y el Agregado, 2002

2.1.5. Exigencias de calidad de los agregados minerales en el Ecuador

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.

En las Especificaciones Generales del MOP-001F-2002, Sección 811, están orientadas las siguientes pruebas y entre paréntesis se encuentran los valores exigidos.

Tabla 2.3: Requisitos de calidad del material mineral para carpetas

PRUEBAS	AGREGADOS MINERALES	
	GRUESOS	FINOS
FORMA	CARAS FRACTURADAS (>80% - 2) PLANAS Y ALARGADAS (<10%)	ANGULARIDAD (>45%)
DUREZA	ABRASIÓN LOS ANGELES (<40%) SULFATOS (<12%)	SULFATOS (<12%)
LIMPIEZA	DELETÉREOS (<1%)	DELETÉREOS (<1%) EQUIVALENTE DE ARENA (>50%) ÍNDICE DE PLASTICIDAD (<4)
ADHERENCIA	RESISTENCIA RETENIDA ANTE EL AGUA EN PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA (>80%) PELADURA DE LA MEZCLA EN AGUA HIRVIENDO (>95%)	

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), 2002

2.2. Cemento asfáltico

2.2.1. Generalidades

El asfalto es un material negro, cementante, que variará ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente. (Asphalt Institute MS-22)

Es un material bituminoso que posee propiedades adhesivas y aglomerantes, manifestando además, un comportamiento reológico en el que están basadas sus aplicaciones tecnológicas, principalmente las mezclas asfálticas.

Los asfaltos más utilizados en el mundo actualmente son los derivados del petróleo, los cuales son obtenidos a través de un proceso de destilación industrial del crudo. El crudo de petróleo se lo puede definir como una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto.

Para producir asfaltos con características específicas, se utiliza el crudo de petróleo o mezclas de crudos de petróleo. El asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de la destilación por vacío o extracción con solventes.

El asfalto utilizado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, se caracteriza por ser un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado mineral y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente.

El cemento asfáltico es en general un material visco-elástico, porque exhibe simultáneamente características viscosas y elásticas. A altas temperaturas, el cemento asfáltico actúa casi como un fluido viscoso mientras que a muy bajas temperaturas se comporta casi como un sólido elástico. (Asphalt Institute)

2.2.2. Propiedades físicas y químicas del cemento asfáltico

2.2.2.1. Propiedades químicas

El asfalto posee propiedades químicas únicas que lo convierten en un material muy versátil para la construcción de carreteras. Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos.

El asfalto, cuando es disuelto en n-Heptano puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza mientras que los maltenos le proporcionan cualidades adhesivas y actúan como medio de transporte para los asfaltenos.

2.2.2.2. Propiedades físicas

Las propiedades físicas más relevantes del asfalto son las siguientes: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

- **Durabilidad:** Es la medida de qué tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente por el comportamiento del pavimento. (Asphalt Institute MS-22)

- **Adhesión:** Es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla asfáltica y se la puede definir como la medida de los esfuerzos necesarios para romper los enlaces entre el cemento asfáltico y el agregado mineral.



Figura 2.10: Falla por adhesión entre el asfalto y el agregado

Fuente: Gutiérrez y Ramírez, 2008

- **Cohesión:** Es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su lugar, las partículas de agregado en el pavimento terminado y se la puede definir como la medida del esfuerzo de tracción necesaria para romper el enlace entre las moléculas del material bituminoso.



Figura 2.11: Falla por cohesión entre el asfalto y el agregado

Fuente: Gutiérrez y Ramírez, 2008

- **Susceptibilidad a la temperatura:** Es una de las propiedades más importantes de los asfaltos y se caracteriza por calificarlos como termoplásticos, es decir se vuelven más duros a medida que su temperatura disminuye y más blandos a medida que su temperatura aumenta.

Es fundamental conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura adecuada de compactación. (Asphalt Institute)

- **Endurecimiento y Envejecimiento:** Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción y en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación, el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto. (Asphalt Institute)

El severo envejecimiento de la mezcla asfáltica cerca de la superficie provoca en ella una alta rigidez, que cuando se combina con una elevada presión de contacto de las llantas, causa el inicio de las grietas y su propagación.

Los cementos asfálticos están sometidos a diferentes procesos de envejecimiento, como por ejemplo el producido durante el transporte por los tanqueros y el almacenamiento en los tanques de la planta donde el factor principal es la temperatura, en la fabricación de la mezcla bituminosa en caliente el ligante está sometido a altas temperaturas en presencia del oxígeno atmosférico en donde la temperatura y el oxígeno son los factores más importantes y en el período de servicio está expuesto a los agentes ambientales como la radiación solar, el oxígeno, el agua, la temperatura, y a contaminaciones por los lubricantes y carburantes que arrojan los vehículos a su paso por el firme.

2.2.3. Exigencias de calidad del cemento asfáltico en el Ecuador

El asfalto utilizado en el país normalmente clasifica como AC-20, el cual es producido en la Refinería de Esmeraldas.

Tabla 2.4: 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 ^b		-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 homo 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 2515 Enmienda 1, 2014

2.3. Adherencia entre el cemento asfáltico y el agregado mineral

2.3.1. Generalidades

La adhesividad se la define como la capacidad que posee un ligante para quedar fijo en el agregado mineral, al que recubre sin peligro de desplazamiento, incluso en presencia de agua y cambios bruscos de temperatura.

Este fenómeno se produce en la superficie límite entre dos fases, por lo que de existir algún problema, éste ocurrirá en la interfaz. El nitrógeno que se encuentra presente en el asfalto favorece la adhesión con los agregados minerales, mientras que los grupos funcionales controlan sus propiedades, ya que determinan la estabilidad de permanecer unidas las superficies para formar una red, con capacidad de resistir tensiones y esfuerzos. (Gamba, Mercado, 2004)

2.3.2. Mecanismo de la Adherencia

La adherencia se produce por medio de las fuerzas adhesivas, entre un líquido y la superficie de un cuerpo sólido. Estas solo ejercen su función cuando el líquido envuelve el sólido, por lo que supone la envoltura del material pétreo por el asfalto.

Las causas del fenómeno de la adherencia se describen de diferentes formas y para lo cual se han desarrollado varias teorías:

- **Teoría de la Adhesión Específica:** Dentro de este concepto se reúnen varios fenómenos de atracción de fuerzas intermoleculares. (Gamba, Mercado, 2004)
- **Teoría de la Polarización:** Se fundamenta en la idea de que las moléculas con distribución de carga asimétrica o dipolos, se influyen entre sí. La polaridad ocupa un papel importante en los procesos que se desarrollan en superficies de contacto. (Gamba, Mercado, 2004)
- **Teoría de la Difusión:** Explica la adherencia por medio del movimiento de las moléculas, del asfalto a un material sólido y viceversa. Existe una dependencia entre la estructura molecular y el peso molecular. (Gamba, Mercado, 2004)
- **Teoría de la Adsorción:** Parte de que la energía superficial de la fase líquida o su ángulo de cubrimiento, determina la adhesión del asfalto a la superficie de un sólido. La energía superficial de un sólido debe ser mayor a la del asfalto. (Gamba, Mercado, 2004)
- **Teoría Mecánica:** Manifiesta que la unión existente entre el cemento asfáltico y el agregado mineral se ve afectada por una variación de las propiedades físicas de los áridos tales como la porosidad, la textura y el recubrimiento superficial. (Moraes, et al., 2010)

Las teorías y mecanismos presentados no son totalmente independientes debido a que podría llevarse a cabo una combinación de los mismos. En resumen algunos factores afectan la adherencia del cemento asfáltico y el agregado entre los cuales se

encuentran la composición química, viscosidad del ligante, textura superficial del agregado, porosidad, limpieza y contenido de humedad.

2.3.3. Efectos del cemento asfáltico y agregado mineral sobre la adherencia

La adherencia es una propiedad compleja de evaluar y en donde es necesario involucrar de manera directa al agregado. La adhesividad depende del tipo y cantidad del cemento asfáltico, la naturaleza del ligante bituminoso y la mineralogía del agregado.

La adhesión es una característica del agregado y no únicamente del ligante asfáltico, que sólo contribuye parcialmente al efecto de la adherencia. A fines de analizar la adherencia árido - ligante, existen innumerables métodos, en la gran mayoría de ellos la evaluación se efectúa a partir de una valoración visual del desprendimiento.

La adhesión de los ligantes asfálticos con la superficie de los áridos es un fenómeno complejo en el cual influyen diversos factores físicos (textura del árido y porosidad del mismo, viscosidad y tensión superficial del ligante, espesor de película del ligante) y factores químicos (relativos al ligante y al árido).

2.3.3.1. Efecto del Agregado Mineral

La adhesión con los ligantes hidrocarbonados tiene una gran importancia dentro de los fenómenos fisicoquímicos que se producen en la superficie de los agregados minerales.

Los áridos totalmente secos se dejan “mojar” fácilmente por los ligantes asfálticos, sin embargo, con algo de humedad, que siempre puede existir, sus superficies presentan una cierta polaridad cuyo signo está relacionado con la naturaleza de los agregados, que atendiendo a este criterio se dividen en ácidos y básicos.

La adhesividad entre los agregados silíceos o ácidos y el ligante asfáltico es mala, teniendo que recurrir a disminuir la tensión superficial del ligante y a activarlo, es decir

cargarlo electropolarmente para crear la adhesividad química. (Kraemer & del Val, 1993)

Los áridos básicos con altos contenidos en óxidos alcalinos y alcalinotérreos y bajos contenidos en sílice 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 betunes y mejor adhesividad con los mismos.

Una gran preocupación es la posibilidad de que el agua combinada con la acción de los vehículos perjudique esta adhesividad, desplazando el ligante de la superficie del árido (stripping), que quedará de nuevo descubierta o lavada.

La adhesividad pasiva o resistencia al desplazamiento del ligante dependerá de diversos factores químicos y físicos tales como la afinidad polar por el ligante, espesor de película, viscosidad, tensión superficial (ángulo de contacto) y textura superficial.

Las acciones químicas o quimicofísicas en las partículas de menor tamaño son más complejas en los áridos finos. La mayor superficie específica, facilidad para acumular y gran heterogeneidad de su naturaleza determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad. (Kraemer & del Val, 1993)

Propiedades que influyen en la adherencia

- **Mineralogía**

La composición mineralógica adquiere una importancia relevante dentro del estudio del fenómeno de la adherencia. Los agregados minerales presentan cargas superficiales descompensadas que originan una tensión superficial. Cuando los agregados minerales son cubiertos por líquidos de polaridad contraria, cubren completamente su necesidad de energía y forman un enlace adhesivo.

El líquido que posea la capacidad de compensar la máxima necesidad de energía se convertirá en el de mayor capacidad adhesiva y por lo tanto podría desplazar a otro líquido. Este fenómeno, conocido como desvestimiento o

stripping, que en los ligantes asfálticos consiste en que el agua es capaz de desplazar la película de asfalto presente en la superficie de los agregados minerales.

Diversos componentes minerales de los agregados muestran una gran afinidad con los materiales asfálticos. Cuando un agregado está siendo cubierto con asfalto, el agregado selectivamente adsorbe algunos componentes del asfalto tales como los sulfóxidos y ácidos carboxílicos, ya que estos componentes poseen gran afinidad con los agregados. Algunos hidrocarburos aromáticos tienen menor afinidad con las superficies de los agregados que los grupos polares. Por lo tanto, el tipo y las cantidades de los componentes adsorbidos afectan el grado de adhesión, y varios agregados desarrollan relaciones de diferente fuerza. (Moraes et al., 2011)

La clasificación de las rocas en ácidas y básicas es de tipo geológico y no existe algún indicador sobre el efecto bilateral entre el ligante asfáltico y el agregado mineral. En algunos minerales básicos, se ha podido comprobar que los asfaltos se adhieren mejor que en los ácidos.

- ***Rugosidad Superficial***

La influencia de esta propiedad se ve reflejada tanto en la envoltura como en la resistencia adhesiva. La envoltura puede ser limitada por el aire y la humedad contenida en las diversas grietas de la superficie del agregado mientras que la rugosidad superficial es considerada como un factor influyente para la adherencia, con el condicionante de que exista una verdadera unión entre los componentes del pavimento.

La rugosidad superficial se caracteriza por ser una magnitud fundamental para poder valorar la calidad de la adherencia con respecto a la superficie y determinar las características de textura del agregado. El agregado rugoso incrementa la resistencia al desprendimiento del asfalto al presentar mayor área específica, por lo tanto soporta mayor tensión superficial. La desventaja es que retiene mayor humedad y además desarrolla más fricción entre las partículas consiguiendo estabilidad.

- **Porosidad**

Esta propiedad está relacionada directamente a la mayor o menor cantidad de capilares, que admiten la penetración de los asfaltos para proporcionar una mejor adhesión. Las mezclas asfálticas realizadas en caliente permitirán la expulsión del aire contenido mediante el calor proporcionado y al enfriarse los poros absorben el asfalto.

La porosidad influye sobre la adherencia y facilita el anclaje del ligante con el agregado mineral debido a la existencia de poros, grietas o capilares de cierto grado de importancia obteniendo finalmente una unión física con ellos.

- **Pureza**

La pureza está relacionada con la presencia de humedad o una capa de polvo en los agregados minerales usados en la construcción de carreteras, lo que dificulta el recubrimiento y penetración del ligante asfáltico, generando una adherencia deficiente entre los materiales.

2.3.3.2. Efecto del Cemento Asfáltico

Las características del cemento asfáltico pueden influenciar tanto en la adhesión del asfalto y agregado mineral tanto como en la cohesión del ligante. Las propiedades del cemento asfáltico que pueden influir en la unión entre el asfalto y el agregado son: química del asfalto (polaridad y constitución del asfalto), la viscosidad, espesor de la película y la energía superficial. La fuerza cohesiva de la matriz del asfalto, en presencia de humedad, también se encuentra influenciada por la naturaleza química del ligante asfáltico y de las técnicas de procesamiento. (Moraes, et al., 2011)

El espesor de película de asfalto presenta una relación directa con la fuerza de unión, por lo que, cuando la película es gruesa, el asfalto tiende a fallar por cohesión mientras que para una película delgada la falla sucede por adhesión.

Propiedades que influyen en la adherencia

- **Interacción química**

La interacción química entre el ligante asfáltico y el agregado mineral es crítica en la comprensión de la capacidad de las mezclas bituminosas compactadas para resistir el daño por humedad.

El asfalto está compuesto por dos grupos principales: asfaltenos y maltenos.

- **Asfaltenos:** Son compuestos solubles que se precipitan del petróleo crudo, cuyo color va desde el café oscuro hasta el negro, sin un punto de fusión establecido y con un peso molecular establecido entre 103 a 105 unidades de Masa Atómica. Los asfaltenos contienen compuestos indeseables de los asfaltos tales como los metales pesados y el azufre. El contenido de asfaltenos en un cemento asfáltico varía aproximadamente entre un 15% y 20%. Los asfaltenos son los responsables de la dureza de los asfaltos.
- **Maltenos:** Son los compuestos de fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición y se lo puede describir como dispersante coloidal de partículas de asfaltina disueltas en un material similar al aceite. La naturaleza química de los maltenos es la que regula en gran parte las propiedades químicas de los asfaltos. Los maltenos se dividen, por métodos físicos, en resinas y aceites; las resinas son más pesadas que los aceites y tienen un punto de ebullición más elevado y un mayor poder de adsorción. Las resinas le proporcionan sus características cementantes o aglutinantes a los asfaltos, mientras que los aceites la consistencia necesaria para hacerlos trabajables.

- **Tensión superficial**

Se encuentra establecida por el desequilibrio de las fuerzas de atracción que se presentan entre las moléculas de la superficie. Las moléculas interiores son atraídas de manera uniforme en todas las direcciones, mientras que en el caso de las moléculas superficiales sólo son atraídas hacia el interior, lo cual provoca una tensión en la superficie.

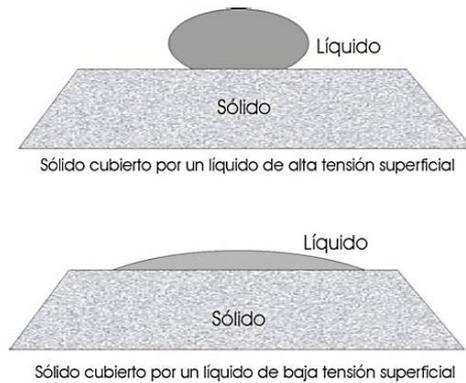


Figura 2.12: Esquema de la influencia de la tensión superficial.

Fuente: Gamba, et al., 2004

- **Envoltura y Cubrimiento**

La capacidad de envoltura y cubrimiento de los ligantes asfálticos se encuentra condicionada por la tensión superficial. El cubrimiento está influenciado por la atracción entre las moléculas del ligante y del agregado mineral. La capacidad de envoltura del cemento asfáltico aumenta a medida la tensión superficial va disminuyendo. (Gamba, et al., 2004)

La envoltura está relacionada con la extensión espontánea de un líquido sobre una superficie líquida o sólida. Para que se realice esta extensión, es necesario que la adhesión del líquido aplicado sea mayor que la cohesión.

El cubrimiento del agregado mineral por el asfalto está afectado por el ángulo de contacto entre el árido y el ligante asfáltico. Mientras mayor sea éste, se obtendrá un mejor cubrimiento del agregado por el ligante, debido a la falta de atracción entre las moléculas del asfalto, obteniendo así una mejor adherencia.

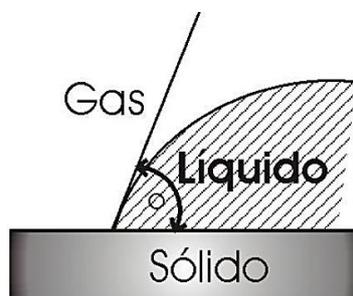


Figura 2.13: Representación del cubrimiento del agregado mineral realizado por el asfalto

Fuente: Gamba, et al., 2004.

- ***Viscosidad***

La temperatura influye en la viscosidad e indica el grado de movilidad molecular así como la magnitud de las fuerzas de atracción en los líquidos. Si la temperatura aumenta las fuerzas intermoleculares y la tensión superficial del líquido disminuyen, otorgando una mayor capacidad de envoltura. De acuerdo al desplazamiento del ligante del agregado, a una mayor viscosidad su resistencia al agua será mayor.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Introducción

En el presente trabajo se emplea una metodología ya desarrollada previamente en el Laboratorio de Carreteras, Suelos y Asfaltos de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, para evaluar la adherencia del cemento asfáltico y el agregado mineral mediante el empleo de “sánduches” formados por dos pastillas de agregados pegados con cemento asfáltico bajo ciertos parámetros.

Para el análisis de los agregados minerales se utilizarán dos tipos de rocas: basalto y caliza. A dichos “sánduches” se le aplicará en este caso una prueba de tracción directa para producir el despegue de las pastillas procedentes de las canteras de Chivería (basalto) y Huayco (caliza) respectivamente, ubicadas en la provincia del Guayas. El asfalto que se emplea es el producido en la Refinería de Esmeraldas, y en todo momento corresponde a una única muestra.

La información del trabajo experimental realizado en la prensa universal marca SHIMADZU Modelo AGS-X de capacidad 10KN, será examinada en el programa estadístico Statgraphics Centurión XV, 2006, con cuyos resultados se podrán definir las condiciones óptimas de ensayo.

3.2. Características de los materiales utilizados en el proceso

3.2.1. Agregados minerales

3.2.1.1. Caliza

Tabla 3.1: Características de piedra caliza

Gravedad específica de masa	2.597
Gravedad específica de s.s.s.	2.630
Gravedad específica aparente	2.686
Absorción (%)	1.280
Durabilidad ante sulfato de sodio (%)	1.200
Abrasión de Los Ángeles (%)	22.500

Fuente: Tutor del Trabajo de Titulación

3.2.1.2. Basalto

Tabla 3.2: Características de piedra basalto

Gravedad específica de masa	2.931
Gravedad específica de s.s.s.	2.941
Gravedad específica aparente	2.961
Absorción (%)	0.340
Durabilidad ante sulfato de sodio (%)	0.700
Abrasión de Los Ángeles (%)	19.500

Fuente: Tutor del Trabajo de Titulación

Comparando ambas piedras, se puede observar que la gravedad específica es similar en ambas piedras y pese a tener una baja absorción el basalto, es una piedra muy dura; por otra parte, en la Abrasión de Los Ángeles son prácticamente iguales.

3.3. Procedimiento de elaboración de “sánduches” y prueba de tracción

Se procederá a explicar el procedimiento de elaboración de las muestras y el posterior ensayo a tracción:

1. Preparar las muestras realizando un corte superficial para eliminar cualquier residuo generado por la absorción de asfalto de pruebas anteriores, ya que se reutilizan las mismas dado a que no pudieron comprarse las brocas de $2\frac{1}{4}$ ". Esta preparación incluyó diferentes procedimientos, estableciéndose una limpieza previa con espátula caliente y corte en un torno mecánico. (Figura 3.1)



Figura 3.1: Limpieza de pastilla

Fuente: Autores

2. Proporcionar una buena terminación y uniformidad a la superficie de las piedras basalto y caliza que estarán en contacto con el asfalto, mediante un procedimiento de lijado con lija de grano 120. (Figura 3.2)



Figura 3.2: Proceso de lijado de muestras

Fuente: Autores

3. Lavar las muestras de roca con agua destilada y un cepillo para eliminar cualquier impureza sobrante. (Figura 3.3)



Figura 3.3: Lavado con agua destilada

Fuente: Autores

4. Colocar papel aluminio en el contorno de las pastillas de roca para prevenir que éstas se ensucien durante la colocación del asfalto en la superficie de contacto. El papel se lo aseguró mediante un alambre fino. (Figura 3.4)



Figura 3.4: Protección con papel aluminio

Fuente: Autores

5. Secar las muestras durante 24 horas a 110°C en el horno de convección forzada. (Figura 3.5)



Figura 3.5: Secado de pastillas en el horno

Fuente: Autores

6. Calentar las muestras durante 2 horas a 150°C en el horno.



Figura 3.6: Incremento de temperatura

Fuente: Autores

7. Colocar el asfalto, previamente calentado a 150°C, en la superficie de las muestras. Esta superficie debe estar cubierta de manera bondadosa y para la aplicación del asfalto se utilizó una brocha de $\frac{3}{4}$ ". (Figura 3.7)



Figura 3.7: Colocación de asfalto en pastillas

Fuente: Autores

- Colocar las muestras en el horno de convección forzada a 135°C durante 2 horas, de esa manera se permite que exista una absorción de asfalto por parte de la roca y que el asfalto adquiera un envejecimiento parecido al realizado en la planta en caliente. (Figura 3.8)



Figura 3.8: Proceso de envejecimiento

Fuente: Autores

- Pegar cuidadosamente las dos pastillas del mismo tipo de roca, ejerciéndole una presión a la muestra en una prensa mecánica, de esta manera el exceso de asfalto escurrirá. Las dos pastillas forman un “sánduche”, el cual debe mantener una forma cilíndrica. Para garantizar el espesor de 500 μm en algunos juegos se utilizaron espaciadores. (Figura 3.9)



Figura 3.9: Formación de “sánduches”

Fuente: Autores

10. Retirar los “sánduches” de la prensa mecánica 24 horas después de confeccionados a la temperatura ambiente para proceder a remover el papel aluminio colocado en cada muestra. Lijar cuidadosamente los residuos de asfalto presentes en el contorno de los “sánduches” de contacto total. (Figura 3.10)

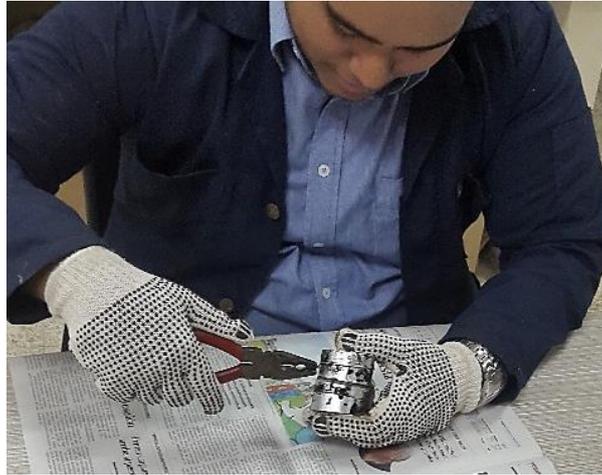


Figura 3.10: Retiro de papel aluminio

Fuente: Autores

11. Climatizar las muestras previo a su ensayo durante un mínimo de dos horas, de acuerdo a sus respectivas temperaturas las cuales son 10°C y 25°C. (Figura 3.11)



Figura 3.11: Temperatura de ensayo

Fuente: Autores

12. Proceder a ensayar los “sándwiches” en una prensa universal, para lo cual se utilizaron mordazas de agarre, las cuales fueron diseñadas y probadas con antelación, para facilitar el agarre en las pastillas adaptándose también al mecanismo existente en las tenazas de la prensa. (Figura 3.12)



Figura 3.12: Ensayo de la muestra

Fuente: Autores

13. Obtener mediante el software Trapezium instalado en la prensa, la fuerza de rotura máxima con su respectiva deformación y gráfica correspondiente. (Figura 3.13)

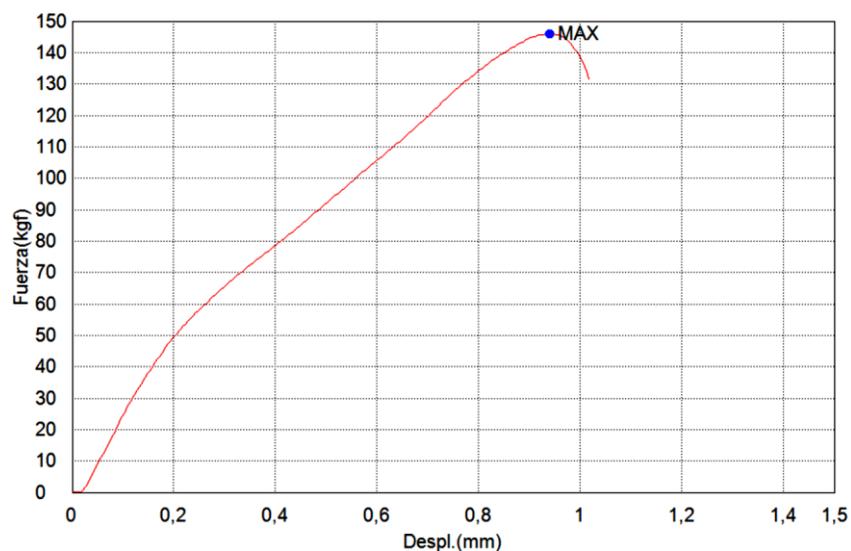


Figura 3.13: Gráfica resultante del ensayo a tracción

Fuente: Software Trapezium

3.3.1. Propiedades del cemento asfáltico

Tabla 3.3: Propiedades del asfalto utilizado

PROPIEDADES	UNIDAD	ESMERALDAS	NTE INEN 2515:2010 / Enmienda 1			
			AC 20		AC 30	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Penetración, 25°C, 100g.,5s	0,1 mm	66				
Punto de Ablandamiento	°C	49.5				
Índice de Penetración	-	-0.7	-1.5	1.5	-1.5	1.5
Gravedad Específica, 25°C/25°C	-	1.022	Informe		Informe	
Flash Point, Copa Cleveland	°C	295	232		232	
Viscosidad Dinámica 60°C	Pa.s	238	160	240	240	360
Viscosidad Cinemática, 135°C	mm ² /s	346	300		350	
Solubilidad en Tricloroetileno	%w	99.9	99		99	
ENVEJECIMIENTO RTFOT						
Cambio de masa	%w/w	-0.6		1		1
Ductilidad, 25°C,5cm/min	cm	41	50		40	
Viscosidad Dinámica 60°C	Pa.s	1126		800		1200

Fuente: Tutor del Trabajo de Titulación

Observando las propiedades del asfalto, por su viscosidad 238 calificaría como AC 20, pero si se observa en su envejecimiento, la ductilidad y su viscosidad están en 41 y 1126 respectivamente, por lo que calificaría como AC 30.

3.4. Diseño de experimento

3.4.1. Generalidades

Para este trabajo se utilizó un diseño experimental factorial 2^k , el cual considera dos niveles de variación un mínimo y un máximo con cuatro variables, de esta manera es 2^4 , a continuación se muestra estructurado el análisis.

Tabla 3.4: Variables y niveles para el Diseño de Experimento

VARIABLES	NIVELES	
	-1	+1
A – Tipo de agregado	Caliza	Basalto
B – Temperatura	10°C	25°C
C – Razón de deformación	5mm/min	25mm/min
D – Espesor de película	Contacto total	500 µm

Fuente: Autores

3.4.2. Diseño factorial 2^k

El objetivo de un diseño factorial consiste en estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores. En otras palabras un diseño factorial tiene como objetivo determinar una combinación de niveles de los factores en la que el desempeño del proceso sea mejor.

Los factores pueden ser de tipo cualitativo (máquinas, tipos de material, etc.) o de tipo cuantitativo (temperatura, humedad, velocidad, etc.). Para estudiar la manera en que influye cada factor sobre la variable es necesario elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos. Con el diseño factorial completo se corre aleatoriamente todas las posibles combinaciones que pueden formarse con los niveles de los factores a investigar.

3.4.2.1. ANOVA del diseño factorial 2^k

La suma de cuadrados totales (SC_T) en el diseño factorial 2^k se calcula como:

$$SC_T = \sum_{i=1}^{n2^k} Y_i^2 - \frac{Y.^2}{n2^k} \quad (\text{Ecuación})$$

En donde se tiene $n2^k - 1$ grados de libertad, donde el subíndice i corre sobre el total de observaciones. La suma de cuadrados del error (SC_E) se obtiene por diferencia y tiene $2^k(n - 1)$ grados de libertad.

3.4.2.2. Número de réplicas en los factoriales 2^k

Al aumentar el número de factores en el diseño 2^k , crece rápidamente el número de tratamientos y, por lo tanto, el número de corridas experimentales.

El diseño factorial 2^4 es quizás el más grande que todavía se puede correr con dos réplicas, lo que implica hacer 32 corridas, pero incluso con una réplica (16 corridas) de este diseño, muchas veces es suficiente para estudiar los efectos.

Tabla 3.5: Réplicas o Corridas en la familia de diseños 2^k

Diseño	Réplicas Recomendadas	Número de corridas
2^2	3 o 4	12, 16
2^3	2	16
2^4	1 o 2	16, 32
2^5	Fracción 2^{5-1} o 1	16, 32
2^6	Fracción 2^{6-2} o fracción 2^{6-1}	16, 32
2^7	Fracción 2^{7-3} o fracción 2^{7-2}	16, 32

Fuente: Vara & Gutiérrez, 2008

3.4.2. Programa Estadístico para el Análisis

Para este estudio se empleó el programa Statgraphics Centurión XV, 2006, el cual nos permite procesar la información experimental (Manual del Usuario Statgraphics Centurion XV, 2006). Cada reporte que se va a presentar como parte del diseño experimental corresponde al análisis emitido por dicho software.

3.5. Resultados de los ensayos experimentales

3.5.1. Ejemplo de procedimiento de los datos obtenidos en un ensayo.

A continuación se presenta el procedimiento realizado a cada una de las muestras.

ENSAYO #36

Piedra: Basalto

Temperatura: 25 °C

Velocidad de deformación: 25 mm/min

Espesor de película de asfalto: 500 μ m

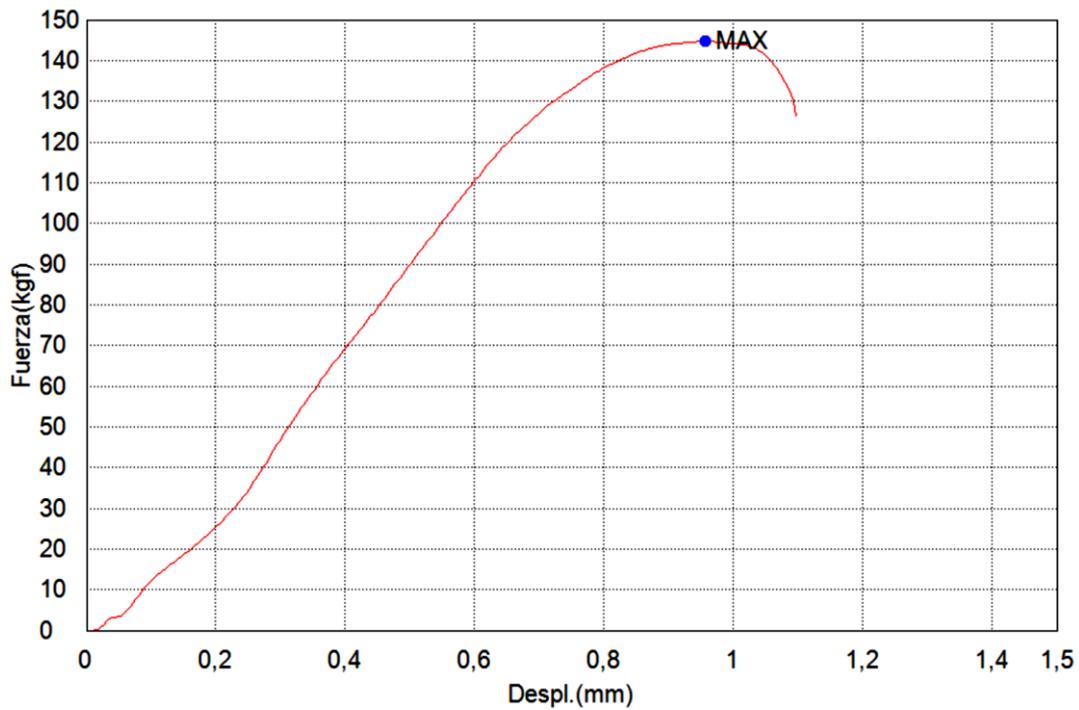


Figura 3.14: Gráfica Carga (kgf) vs. Desplazamiento (mm)

Fuente: Gráficas del Software Trapezium

Carga máxima de rotura = 1418 N

Desplazamiento máximo = 0.96 mm

$$\text{Área} = \left(\frac{0.23(30)}{2} \right) + \left(\frac{110 + 30}{2} \right) (0.37) + \left(\frac{144.67 + 110}{2} \right) (0.36)$$

$$\text{Área} = 75.19 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{Área} = 737 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

3.5.2. Resumen de resultados

Tabla 3.6: Resultados del Diseño de Experimento

#ENSAYOS	PIEDRA	TEMP. (°C)	RAZÓN DE DEF.	ESPESOR DE PELÍCULA	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	CALIZA	25	5	Contacto total	968	1,09	528
8	CALIZA	25	5	Contacto total	3389	1,67	2830
15	CALIZA	25	5	Contacto total	2687	2,16	3234
4	CALIZA	25	5	500 µm	424	0,53	81
11	CALIZA	25	5	500 µm	428	0,47	118
18	CALIZA	25	5	500 µm	350	0,27	68
2	CALIZA	25	25	Contacto total	1317	5,95	6901
9	CALIZA	25	25	Contacto total	1615	4,97	1681
19	CALIZA	25	25	Contacto total	1220	1,59	1169
5	CALIZA	25	25	500 µm	901	0,93	324
12	CALIZA	25	25	500 µm	685	0,58	777
22	CALIZA	25	25	500 µm	907	1,06	280
3	CALIZA	10	5	Contacto total	4518	3,97	9504
13	CALIZA	10	5	Contacto total	5215	4,04	10535
20	CALIZA	10	5	Contacto total	2035	1,66	1811
6	CALIZA	10	5	500 µm	1286	0,94	713
16	CALIZA	10	5	500 µm	1384	1,17	802
23	CALIZA	10	5	500 µm	688	0,33	155
7	CALIZA	10	25	Contacto total	4373	6,79	20715
14	CALIZA	10	25	Contacto total	2616	1,52	1905
21	CALIZA	10	25	Contacto total	3605	3,03	4341
10	CALIZA	10	25	500 µm	1364	0,93	694
17	CALIZA	10	25	500 µm	1430	0,94	777
24	CALIZA	10	25	500 µm	1561	1,62	1187
25	BASALTO	25	5	Contacto total	870	0,5	216
32	BASALTO	25	5	Contacto total	1207	0,86	634
39	BASALTO	25	5	Contacto total	2293	1,32	1654
28	BASALTO	25	5	500 µm	944	0,68	312
35	BASALTO	25	5	500 µm	771	0,56	224
42	BASALTO	25	5	500 µm	776	0,73	320
26	BASALTO	25	25	Contacto total	673	0,32	101
33	BASALTO	25	25	Contacto total	2824	1,86	2584
43	BASALTO	25	25	Contacto total	2547	1,99	3026
29	BASALTO	25	25	500 µm	1232	0,93	573
36	BASALTO	25	25	500 µm	1418	0,96	737
46	BASALTO	25	25	500 µm	996	1,51	945
27	BASALTO	10	5	Contacto total	2057	2,04	2357
37	BASALTO	10	5	Contacto total	2544	2,68	3853
44	BASALTO	10	5	Contacto total	1609	3,56	4095
30	BASALTO	10	5	500 µm	2417	1,43	2157
40	BASALTO	10	5	500 µm	1496	0,95	566
47	BASALTO	10	5	500 µm	2466	3,09	4949
31	BASALTO	10	25	Contacto total	2373	2,07	3538
38	BASALTO	10	25	Contacto total	1857	0,63	636
45	BASALTO	10	25	Contacto total	4189	2,11	4419
34	BASALTO	10	25	500 µm	2371	2,57	4009
41	BASALTO	10	25	500 µm	2631	2,18	2596
48	BASALTO	10	25	500 µm	2453	1,79	2448

Fuente: Tabla de resultados de autores

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL OBTENIDOS DEL SOFTWARE STATGRAPHICS

4.1. Análisis de varianza para Carga (N) en el experimento

Se presenta a continuación un análisis de todo el diseño experimental originalmente realizado, recalcando que para este capítulo se consideró únicamente la variable Carga, dado que el Desplazamiento y el Área presentan una dispersión muy alta y valores significativos muy bajos.

En la Tabla 4.1 se indica la variabilidad de Carga en factores separados para cada uno de los efectos, lo cual prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen un valor -P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 4.1: Análisis de varianza para Carga

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Agregado	48.0	1	48.0	0.00	0.9930
B:Temperatura	1.52957E7	1	1.52957E7	25.06	0.0000
C:Velocidad	391685.	1	391685.	0.64	0.4282
D:Espesor	1.54383E7	1	1.54383E7	25.29	0.0000
AB	223041.	1	223041.	0.37	0.5492
AC	1.29758E6	1	1.29758E6	2.13	0.1533
AD	6.07621E6	1	6.07621E6	9.95	0.0032
BC	73633.3	1	73633.3	0.12	0.7303
BD	279991.	1	279991.	0.46	0.5024
CD	460600.	1	460600.	0.75	0.3906
Error total	2.25844E7	37	610388.		
Total (corr.)	6.21211E7	47			

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

R-cuadrada = 63.65 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 53.82 por ciento

Error estándar del est. = 781.27

Error absoluto medio = 526.66

Estadístico Durbin-Watson = 1.683 (P=0.1293)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.09462

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 63.65% de la variabilidad en Carga. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 53.82%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 781.27. El error medio absoluto (MAE) de 526.66 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si existe alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor -P es mayor que 5%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos.

El diagrama de Pareto (Figura 4.1) incluye los diferentes efectos estimados en orden decreciente de magnitud. La longitud de cada barra está relacionada directamente al efecto estandarizado, el cual se lo define como el efecto estimado dividido entre su error estándar. La línea vertical es útil para juzgar cuales efectos son estadísticamente significativos.

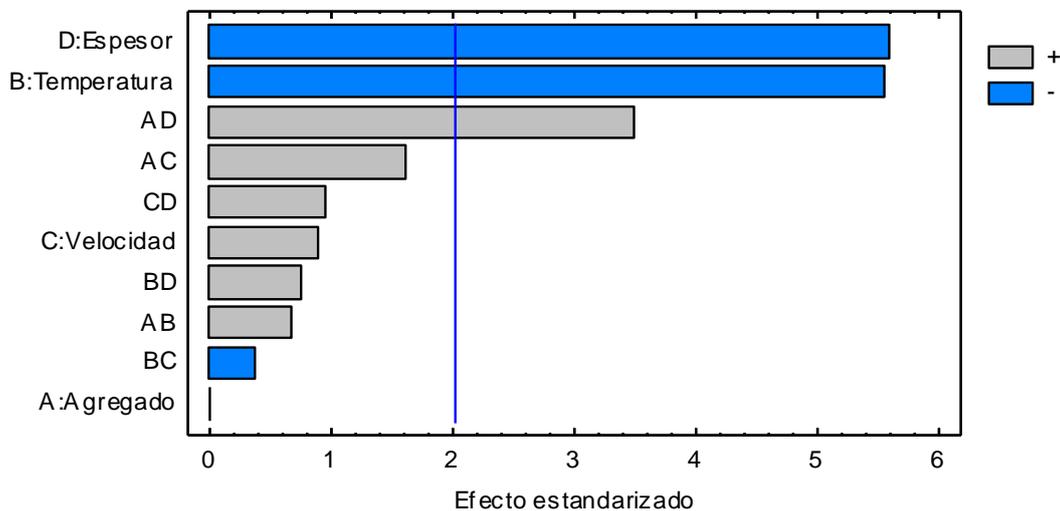


Figura 4.1: Diagrama de Pareto Estandarizada para Carga
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

Del análisis anterior se procedió a eliminar los efectos que no son significativos, es decir aquellos que están a la izquierda de la línea límite en el gráfico de Pareto. En

este caso el efecto agregado (A) no se eliminó por su interacción con el efecto espesor, a través de la variable AD.

Note que se realiza un nuevo análisis de varianza ajustado para la Carga.

La Tabla 4.2 presentada contiene sólo los factores significativos que cumplen con el nivel de exigencia establecidos anteriormente, desechando aquellos que no cumplen.

Tabla 4.2: Análisis de varianza ajustado para Carga

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>GI</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Agregado	48.0	1	48.0	0.00	0.9928
B:Temperatura	1.52957E7	1	1.52957E7	25.99	0.0000
D:Espesor	1.54383E7	1	1.54383E7	26.23	0.0000
AD	6.07621E6	1	6.07621E6	10.32	0.0025
Error total	2.53109E7	43	588625.		
Total (corr.)	6.21211E7	47			

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

R-cuadrada = 59.26 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 55.47 por ciento

Error estándar del est. = 767.22

Error absoluto medio = 567.42

Estadístico Durbin-Watson = 1.717 (P=0.2028)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.10658

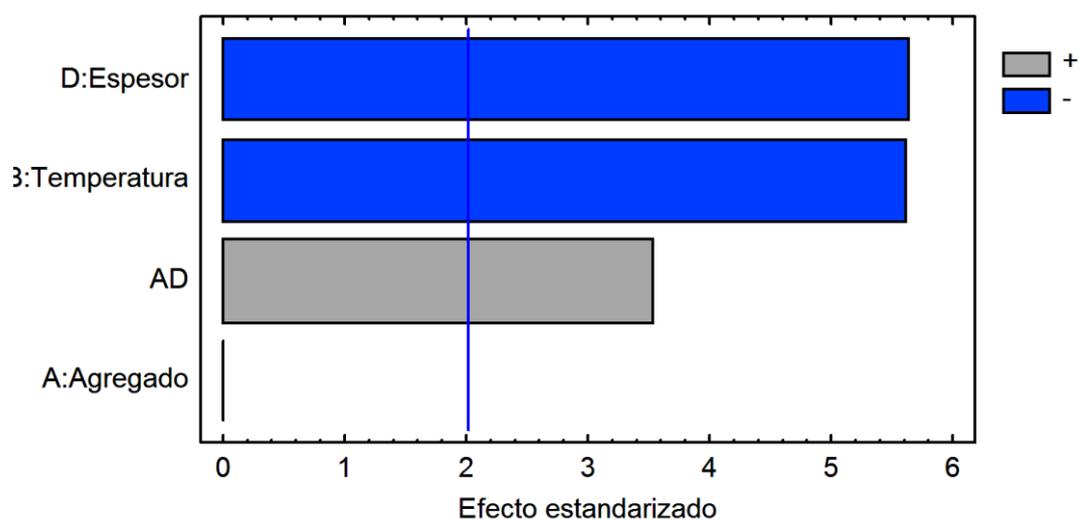


Figura 4.2: Diagrama de Pareto estandarizado ajustado para Carga

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

4.1.1. Gráficas de efectos principales para Carga (N)

A continuación se presentan las gráficas de carga relacionada con los efectos del agregado, temperatura y espesor.

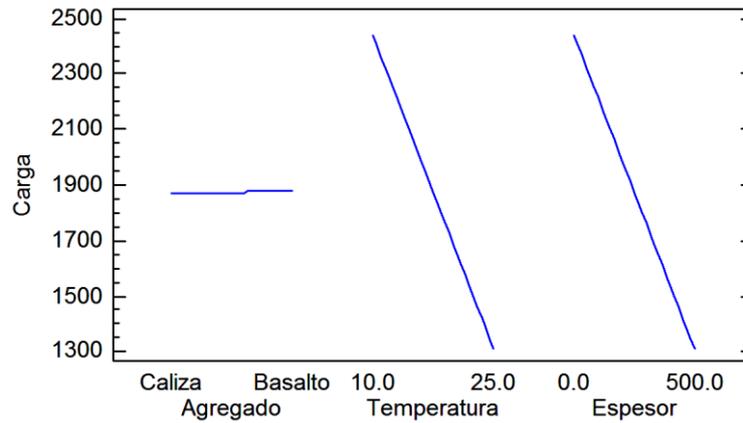


Figura 4.3: Gráfica de efectos principales para Carga

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

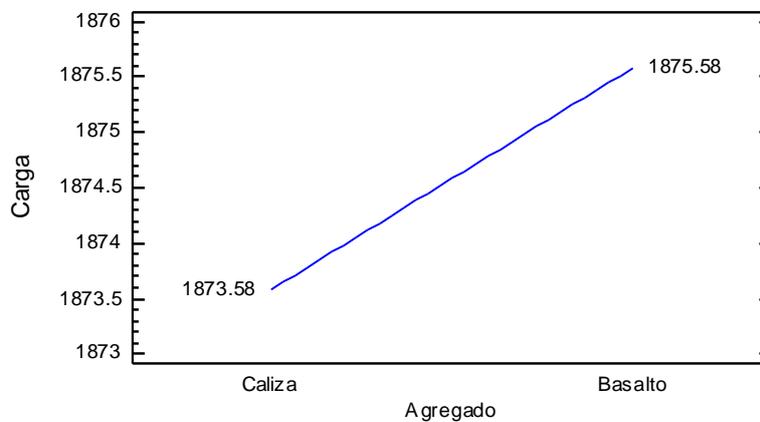


Figura 4.4: Gráfica de efectos principales para Carga vs Agregado

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

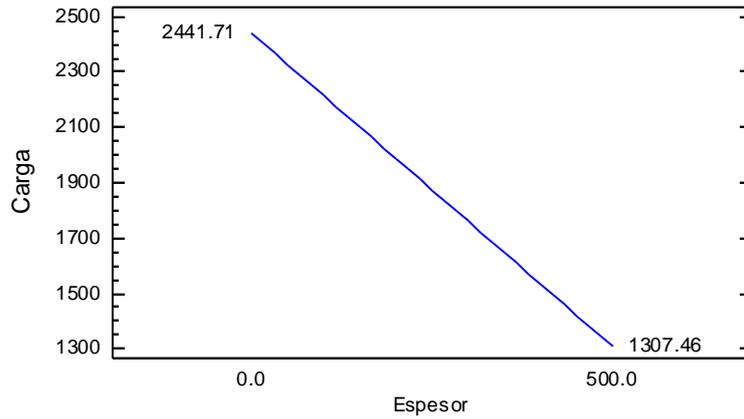


Figura 4.5: Gráfica de efectos principales para Carga vs Espesor
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

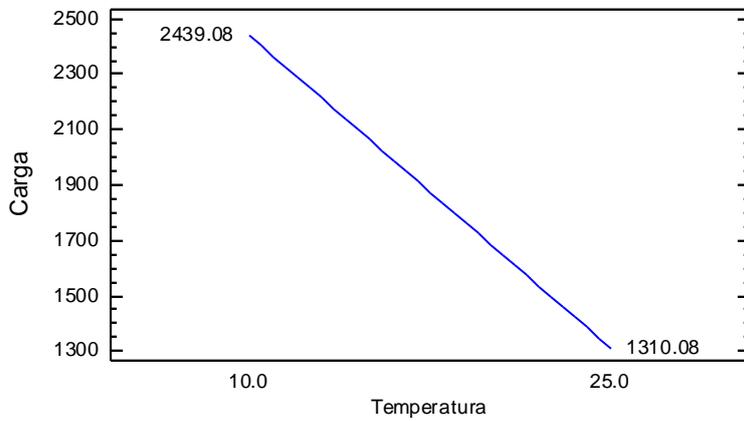


Figura 4.6: Gráfica de efectos principales para Carga vs Temperatura
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

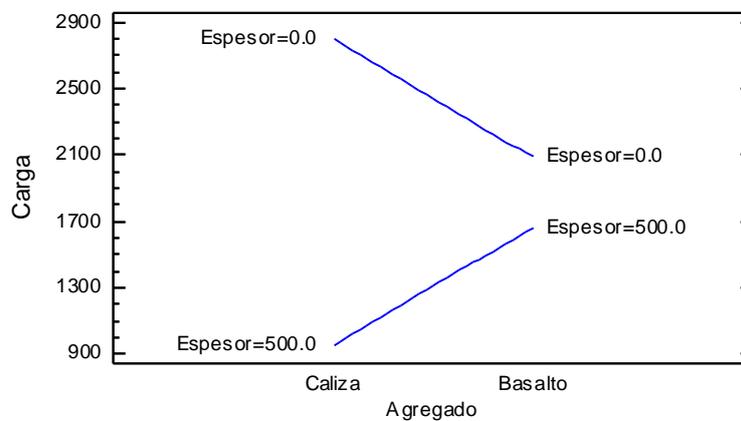


Figura 4.7: Gráfica de interacción para Carga
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

La figura muestra que para el agregado caliza, la diferencia entre las cargas es mayor en la medida que cambia el espesor, lográndose la mayor carga para el espesor cero o contacto total.

4.1.2. Gráfica de cubo para Cargas (N)

La Figura 4.8 muestra la gráfica de cubo para la velocidad de 25 mm/min, donde se relacionan los diferentes factores que intervienen en el diseño experimental.

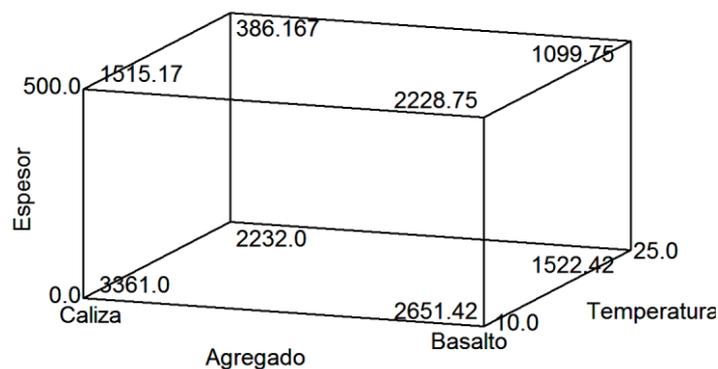


Figura 4.8: Gráfica de cubo para Carga con Velocidad 25 mm/min

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

4.2. Análisis de varianza para Carga (N) con espesores independientes.

La obtención de una R-cuadrada demasiado baja y la presencia de una gran dispersión en los resultados de carga en los ensayos experimentales obligaron a la separación del análisis en dos partes relacionado con el espesor de película de asfalto: 500 μ m y contacto total, los que se mostrarán por separado a continuación:

4.2.1. ANOVA para espesor de 500 μ m

La Tabla 4.3 indica la variabilidad de carga en factores separados para cada uno de los efectos, lo cual prueba la importancia estadística de cada efecto, comparando su

cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 4 efectos tienen un valor -P menor que 0.05, por lo que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 4.3: Análisis de varianza para espesor 500 μm

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Agregado	3.05521E6	1	3.05521E6	47.95	0.0000
B:Temperatura	5.71838E6	1	5.71838E6	89.75	0.0000
C:Velocidad	850890.	1	850890.	13.35	0.0020
AB	563960.	1	563960.	8.85	0.0085
AC	135.375	1	135.375	0.00	0.9638
BC	5797.04	1	5797.04	0.09	0.7666
Error total	1.08313E6	17	63713.4		
Total (corr.)	1.12775E7	23			

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

R-cuadrada = 90.40 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87.00 por ciento

Error estándar del est. = 252.42

Error absoluto medio = 153.14

Estadístico Durbin-Watson = 2.389 (P=0,1754)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.23283

El estadístico R-cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 90.40% de la variabilidad en Carga. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más apropiado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 87.00%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 252.42. El error medio absoluto (MAE) de 153.142 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si existe alguna correlación significativa establecida en el orden de exposición de los datos. Dado que el valor -P es mayor que 5% no hay indicación de autocorrelación en los residuos.

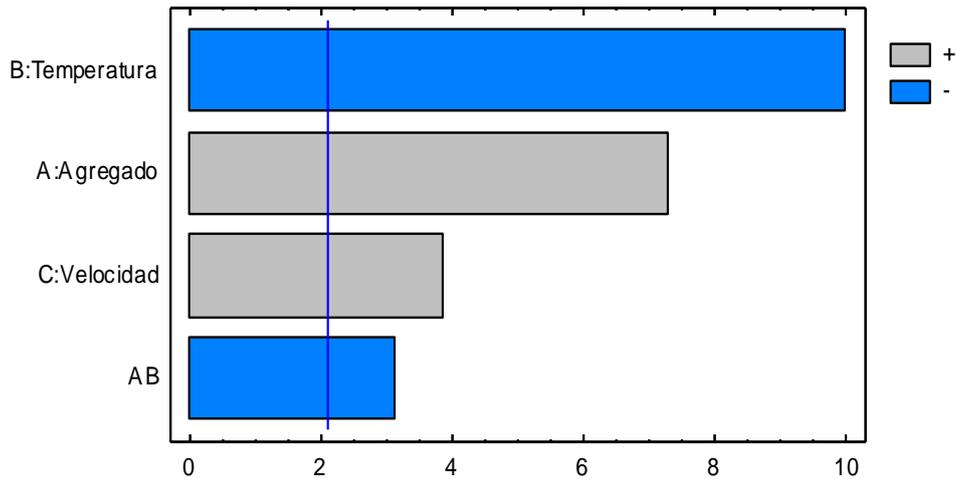


Figura 4.9: Diagrama de Pareto Estandarizada para Carga
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

A partir del valor 2, en la conversión para la escala de Pareto mostrada en el diagrama, se presentan los parámetros significativos como temperatura, agregado y velocidad. Los valores negativos se refieren al hecho de que a medida que la temperatura aumente el valor de tracción va a disminuir.

Coefficientes de regresión para Carga (N)

Tabla 4.4: Coeficiente de regresión para carga

Coefficiente	Estimado
constante	2163.98
A:Agregado	714.472
B:Temperatura	-65.0833
C:Velocidad	18.8292
AB	-20.4389

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

A partir de esta tabla se despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Carga} = 2163.98 + 714.472 \cdot \text{Agregado} - 65.0833 \cdot \text{Temperatura} + 18.8292 \cdot \text{Velocidad} - 20.4389 \cdot \text{Agregado} \cdot \text{Temperatura}$$

Los valores de las variables se encuentran especificados en sus unidades originales, excepto para los factores categóricos que toman valores de -1 para el nivel bajo y +1 para el nivel alto.

4.2.1.1. Gráficas de efectos principales para Carga (N)

Se presentan las gráficas de carga del espesor 500 µm relacionadas con las diferentes variables ensayadas.

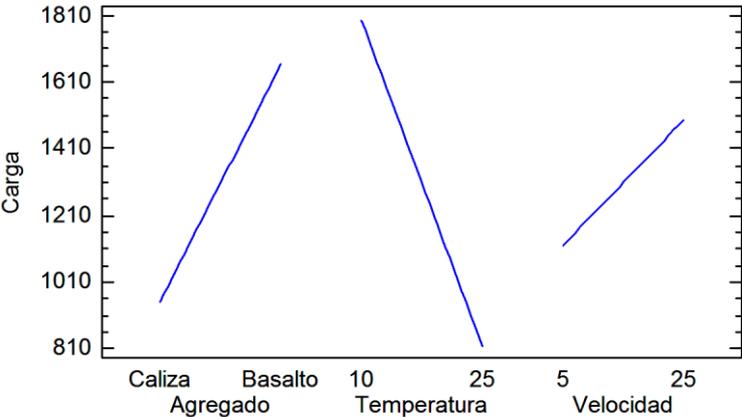


Figura 4.10: Gráfica de efectos principales para Carga
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

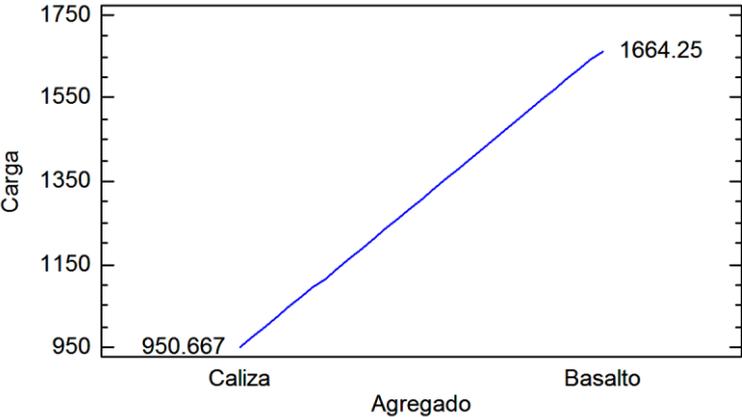


Figura 4.11: Gráfica de efectos principales para Carga
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

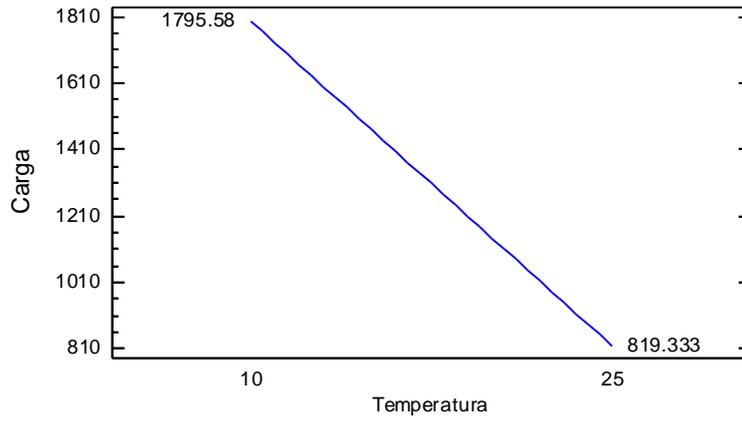


Figura 4.12: Gráfica de efectos principales para Carga
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

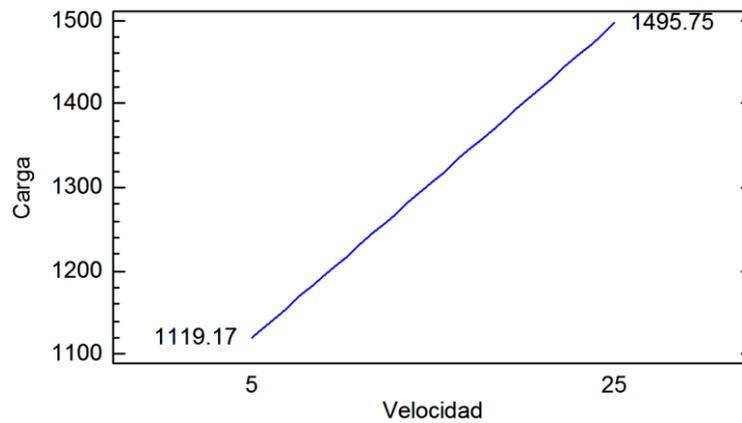


Figura 4.13: Gráfica de efectos principales para Carga
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

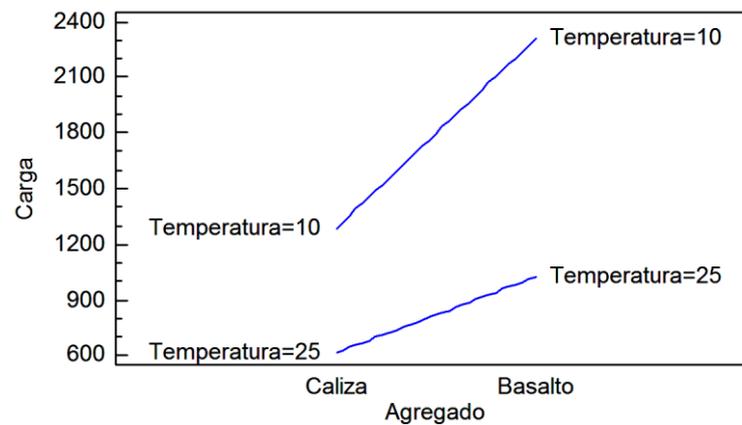


Figura 4.14: Gráfica de interacción para Carga
Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

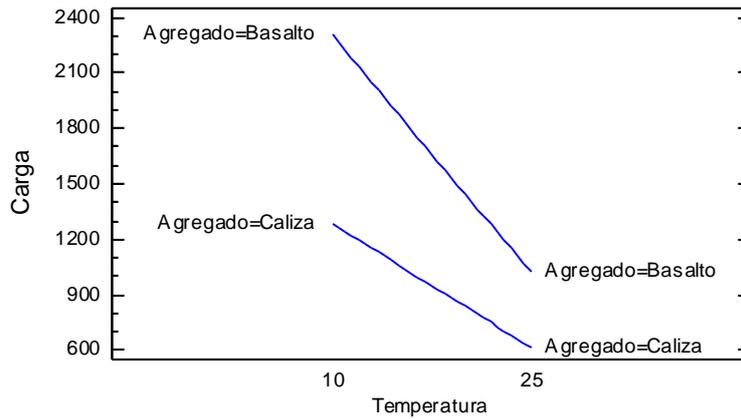


Figura 4.15: Gráfica de interacción para Carga
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

4.2.1.2. Gráfica de cubo para Cargas (N)

La Figura 4.16 muestra la gráfica de cubo para la velocidad de 25 mm/min, donde se relacionan los diferentes factores que intervienen en el diseño experimental.

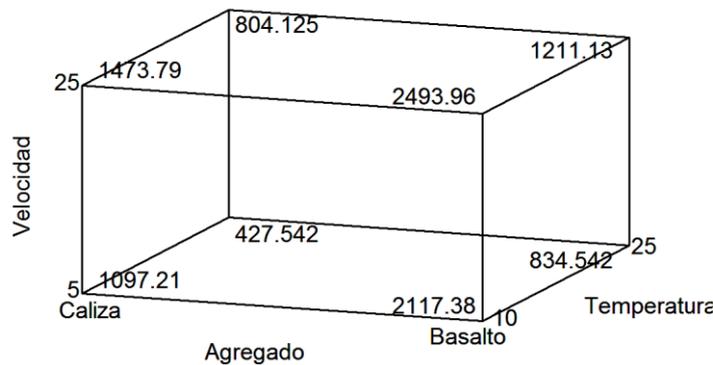


Figura 4.16: Gráfica de cubo para Carga con Velocidad 25 mm/min
 Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

4.2.2. ANOVA para contacto total

La Tabla 4.5 indica la variabilidad de carga en piezas separadas para cada uno de los efectos, lo cual prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, un efecto tienen un valor -P menor que 0.005, por lo que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 4.5: Análisis de varianza para espesor contacto total

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Agregado	3.02105E6	1	3.02105E6	2.74	0.1185
B:Temperatura	9.8573E6	1	9.8573E6	8.95	0.0091
C:Velocidad	1395.38	1	1395.38	0.00	0.9721
AB	2.01318E6	1	2.01318E6	1.83	0.1965
AC	2.63278E6	1	2.63278E6	2.39	0.1430
BC	211500.	1	211500.	0.19	0.6676
bloques	1.13941E6	2	569707.	0.52	0.6065
Error total	1.65287E7	15	1.10191E6		
Total (corr.)	3.54053E7	23			

Fuente: Información obtenida del software Statgraphics

R-cuadrada = 53.32 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 36.84 por ciento

Error estándar del est. = 1049.72

Error absoluto medio = 683.68

Estadístico Durbin-Watson = 1.967 (P=0,0260)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.0129

El estadístico R-cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 53.32% de la variabilidad en Carga. El estadístico R-cuadrada ajustada que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 36.84%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1049.72. El error medio absoluto (MAE) de 683.68 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si existe alguna correlación significativa establecida en el orden de presentación de los datos. Dado que el valor -P es mayor que 5% no hay indicación de autocorrelación en los residuos.

Si se observa los resultados, el valor de R, el ajuste no es bueno y sólo una variable o efecto es significativo.

4.3. Resultados del diseño experimental aplicado al procedimiento ajustado

Se elaboraron 14 “sándwiches” con espesor de 500 µm para evaluar estadísticamente la variabilidad de los resultados y así poder obtener una mejor apreciación de la incidencia de los diferentes factores utilizados en los ensayos.

Los factores óptimos de ensayo de las nuevas muestras son:

Temperatura: 25 °C

Razón de deformación: 25 mm/min

Espesor de película de asfalto: 500 µm

Se obtuvieron los siguientes resultados para los dos tipos de agregados:

Tabla 4.6: Resultados del diseño experimental ajustado

#ENSAYOS	PIEDRA	TEMP. (°C)	RAZÓN DE DEF. (mm/min)	ESPESOR DE PELÍCULA	CARGA (Kgf)	ÁREA (Kgf.mm)	CARGA (N)	DESP. (mm)	ÁREA (N.mm)
1	CALIZA	25	25	500 µm	91.95	33.05	901	0.93	324
2	CALIZA	25	25	500 µm	69.92	79.26	685	0.58	777
3	CALIZA	25	25	500 µm	92.55	28.60	907	1.06	280
4	CALIZA	25	25	500 µm	41.88	46.63	410	1.76	457
5	CALIZA	25	25	500 µm	75.21	9.03	737	0.24	88
6	CALIZA	25	25	500 µm	55.65	17.91	545	0.45	176
7	CALIZA	25	25	500 µm	84.95	18.64	833	0.34	183
8	BASALTO	25	25	500 µm	125.71	58.45	1232	0.93	573
9	BASALTO	25	25	500 µm	144.67	75.19	1418	0.96	737
10	BASALTO	25	25	500 µm	101.66	96.46	996	1.51	945
11	BASALTO	25	25	500 µm	126.12	57.90	1236	0.94	567
12	BASALTO	25	25	500 µm	71.58	14.38	701	0.33	141
13	BASALTO	25	25	500 µm	106.1	33.13	1040	0.48	325
14	BASALTO	25	25	500 µm	100	31.23	980	0.45	306

Fuente: Tabla de resultados de autores

La tabla de resultados presentada nos permite analizar la variabilidad de carga en ambos tipos de agregado, teniendo una mayor resistencia al despegue el basalto. Para alcanzar un análisis más detallado del por qué el basalto obtuvo mejores resultados, se debería realizar un estudio de la composición química de ambos agregados, lo cual no forma parte de los objetivos del trabajo de titulación.

La piedra caliza es un material de gran calidad, presentando una buena adherencia con el asfalto, pero en ensayos de plasticidad, realizados para estudios anteriores, en las arenas trituradas de la cantera de Huayco se han obtenido resultados indicando cierto contenido de plasticidad.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En la investigación se implementó un método para la evaluación de la adherencia en el sistema asfalto – agregado mineral mediante un ensayo a tracción sobre muestras de rocas bajo ciertos parámetros establecidos. Los resultados procesados en el software “Statgraphics” permitieron analizar la importancia de cada variable dentro del proceso de evaluación, lo que facilitó la determinación de los parámetros de ensayo y elaboración de muestras: temperatura de 25 °C, razón de deformación de 25 mm/min y espesor de película de asfalto de 500 µm. En general se seleccionaron en cada variable los valores que ofrecen los mayores rangos de carga, salvo la temperatura donde primó el criterio práctico. En este caso una temperatura de 25 °C puede obtenerse en el laboratorio sólo con el empleo de aire acondicionado.
- En los resultados de los ensayos experimentales, el agregado procedente de roca basáltica mantuvo la tendencia de una mayor resistencia al despegue respecto a la caliza, a pesar de que la caliza aparentemente debe presentar una mejor adherencia con el asfalto según la práctica.

5.2. Recomendaciones

- Elaborar un nuevo diseño experimental considerando el efecto del agua, de tal manera que se pueda llegar a establecer una comparación de resultados y así obtener un mecanismo de trabajo ajustado a las condiciones reales presentes en obra.
- Continuar ajustando el método de ensayo empleado con variantes que permitan una manipulación más segura y una mayor limpieza en su desarrollo.

- Ampliar los estudios empleando un mayor número de tipos de rocas.
- Estudiar la composición química de los agregados minerales para poder tener una mejor caracterización de ellas.

BIBLIOGRAFÍA

- Asphalt Institute. (2002). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Lexington.
- 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.
- Botasso, H., Balige, M., González, R., Bisio, A., & Rebollo, O. (n.d.). *Nueva metodología para la valoración de la adherencia árido ligante*. Argentina.
- De la Vara, R., & Gutiérrez, H. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw Hill Interamericana.
- 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.
- Gutiérrez, A., & Ramírez, L. (2008, Noviembre). *Como saber si nuestra mezcla asfáltica será resistente a la acción del agua*. Rosario.
- Hefer, A., & Little, D. (2005). *Adhesion in bitumen-aggregate systems and quantification of the effects of water on the adhesive bond*. Texas.
- 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. (n.d.). *Tecnología del cemento asfáltico*.
- McGennis, R., Anderson, M., Kennedy, T., & Solaimanian, M. (1994). *Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de Superpave*. Lexington: Asphalt Institute.

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

StatPoint Inc. (2006). *Statgraphics Centurion XV Manual del Usuario*. Estados Unidos.

ANEXOS

Registro Fotográfico



Foto 1: Limpieza de pastillas con agua destilada



Foto 2: Proceso de secado durante 24 horas

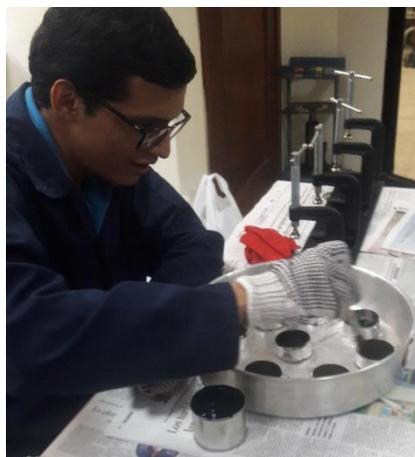


Foto 3: Pintado de cada pastilla

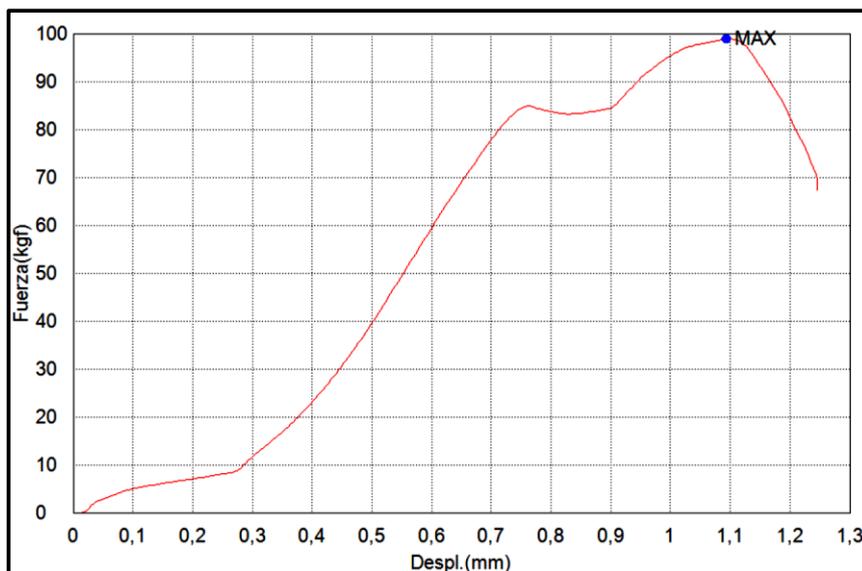


Foto 4: Ensayo a tracción

Tablas y Gráficas de ensayos generales

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

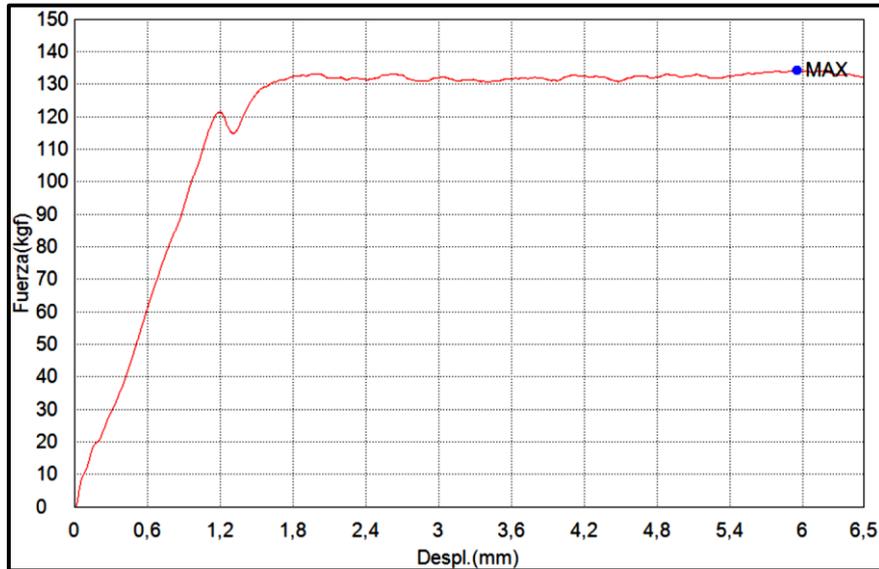
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
968	1.09	528



Gráfica 1: Gráfica ensayo #1 (Caliza 25°C, 5 mm/min, contacto total)

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

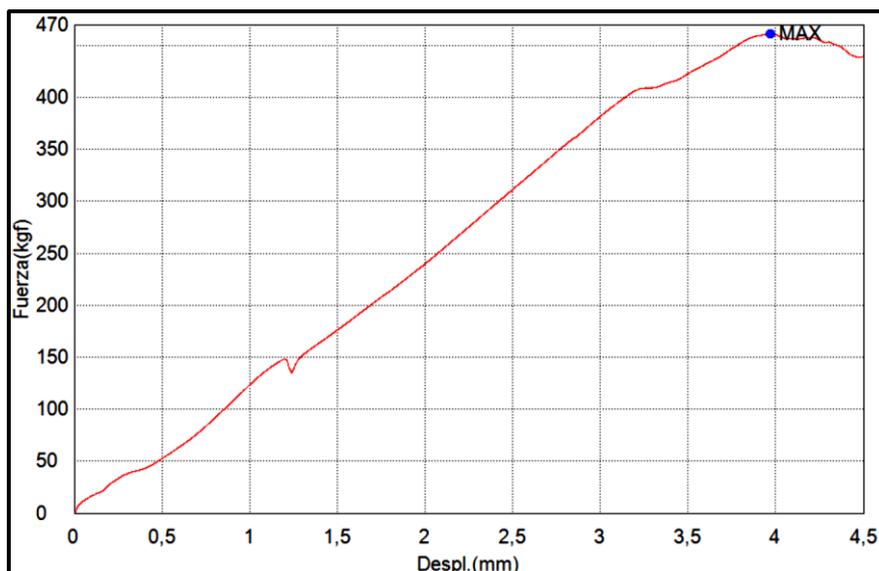
ENSAYO #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1317	5.95	6901



Gráfica 2: Gráfica ensayo #2 (Caliza 25°C, 5 mm/min, contacto total)

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

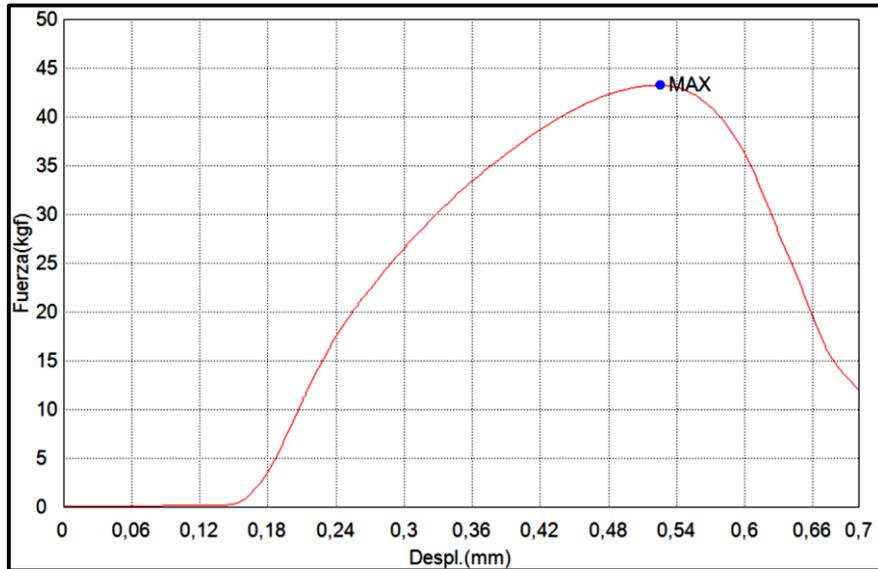
ENSAYO #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
4518	3.97	9504



Gráfica 3: Gráfica ensayo #3 (Caliza 10°C, 5 mm/min, contacto total)

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

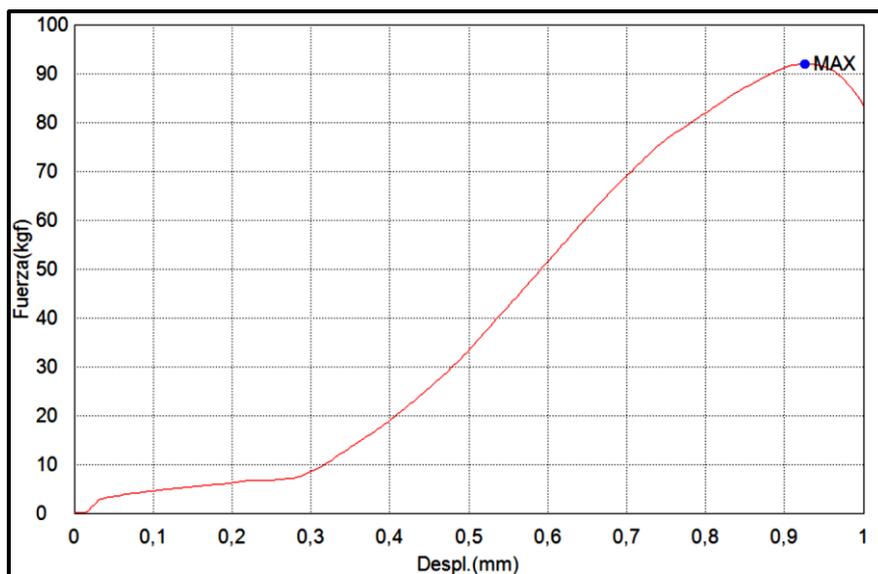
ENSAYO #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
424	0.53	81



Gráfica 4: Gráfica ensayo #4 (Caliza 25°C, 5 mm/min, 500 µm)

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

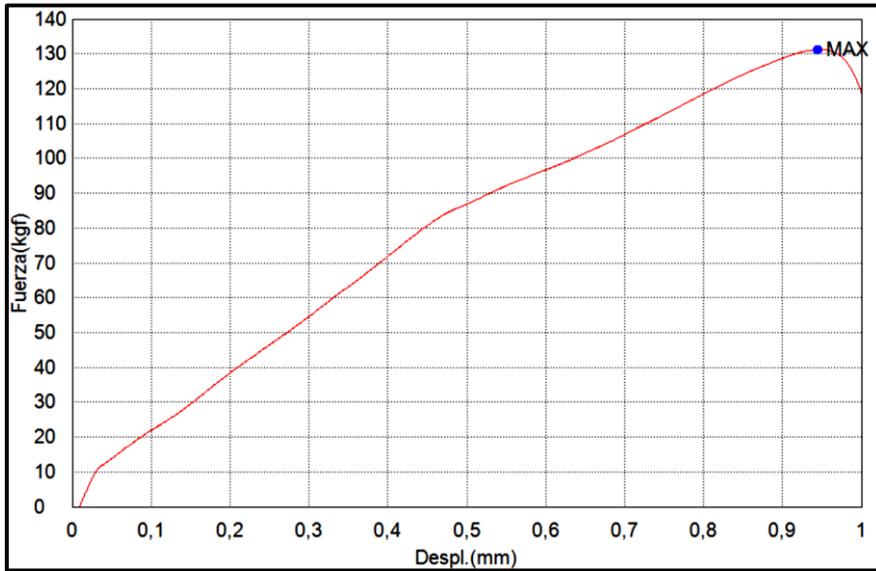
ENSAYO #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
901	0.93	324



Gráfica 5: Gráfica ensayo #5 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm)

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

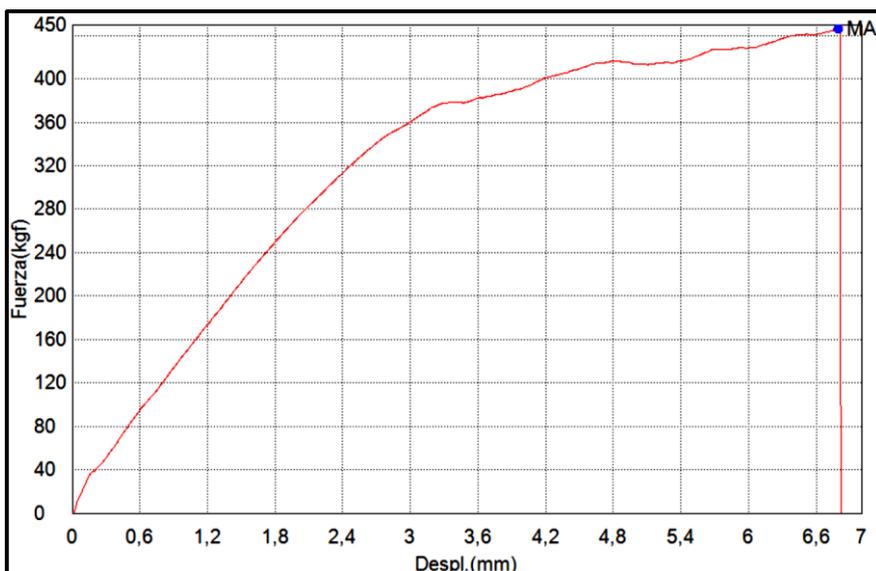
ENSAYO #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1286	0.94	713



Gráfica 6: Gráfica ensayo #6 (Caliza 10°C, 5 mm/min, 500 µm)

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

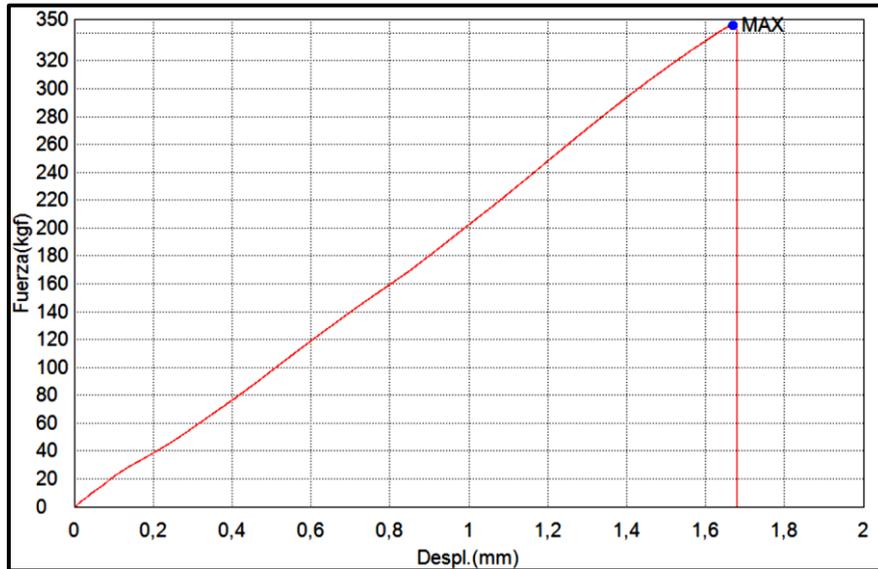
ENSAYO #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
4373	6.79	20715



Gráfica 7: Gráfica ensayo #7 (Caliza 10°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 8: Tabla de ensayo #8 con carga, desplazamiento y área

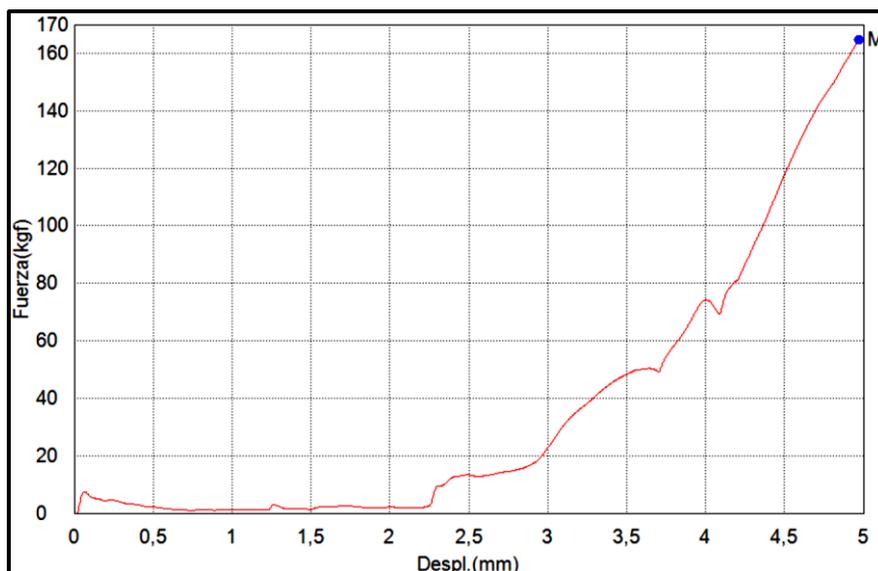
ENSAYO #8		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
3389	1.67	2830



Gráfica 8: Gráfica ensayo #8 (Caliza 25°C, 5 mm/min, contacto total)

Tabla 9: Tabla de ensayo #9 con carga, desplazamiento y área

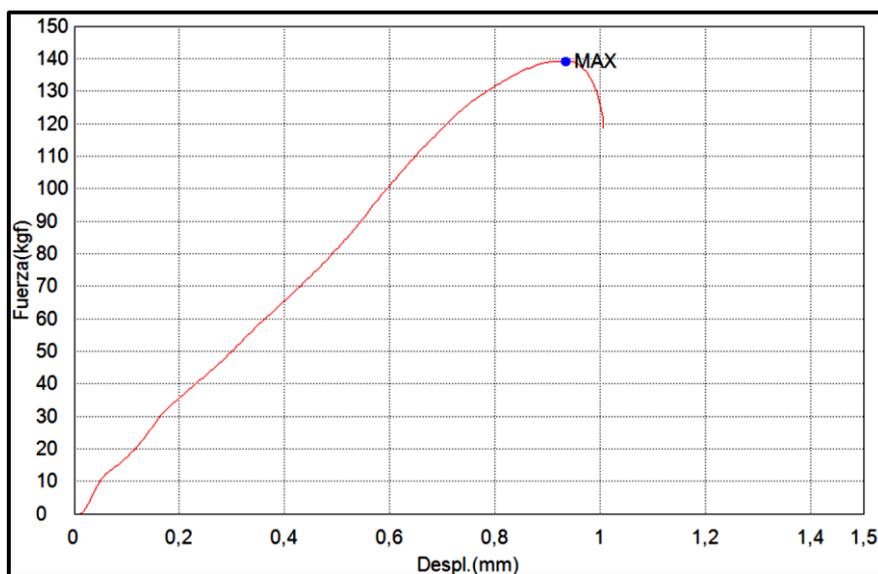
ENSAYO #9		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1615	4.97	1681



Gráfica 9: Gráfica ensayo #9 (Caliza 25°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 10: Tabla de ensayo #10 con carga, desplazamiento y área

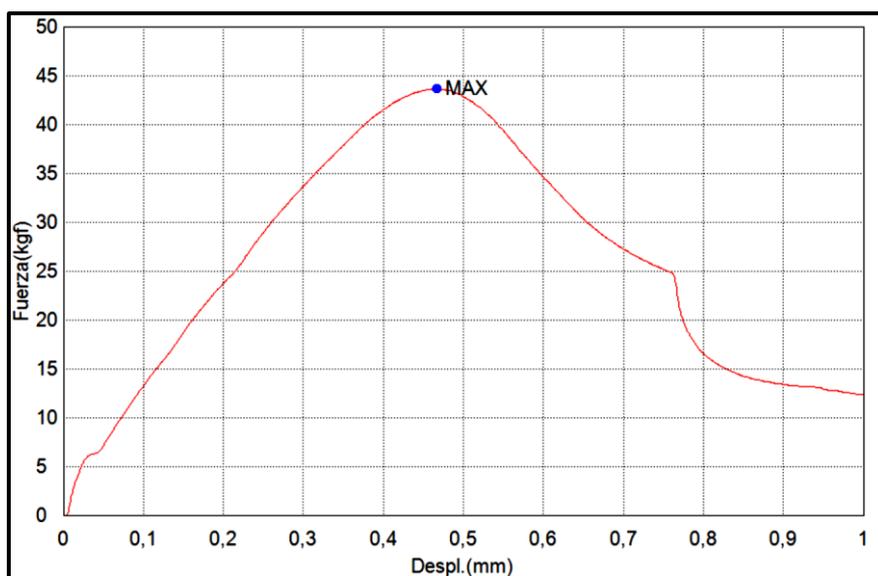
ENSAYO #10		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1364	0.93	694



Gráfica 10: Gráfica ensayo #10 (Caliza 10°C, 25 mm/min, 500 μm)

Tabla 11: Tabla de ensayo #11 con carga, desplazamiento y área

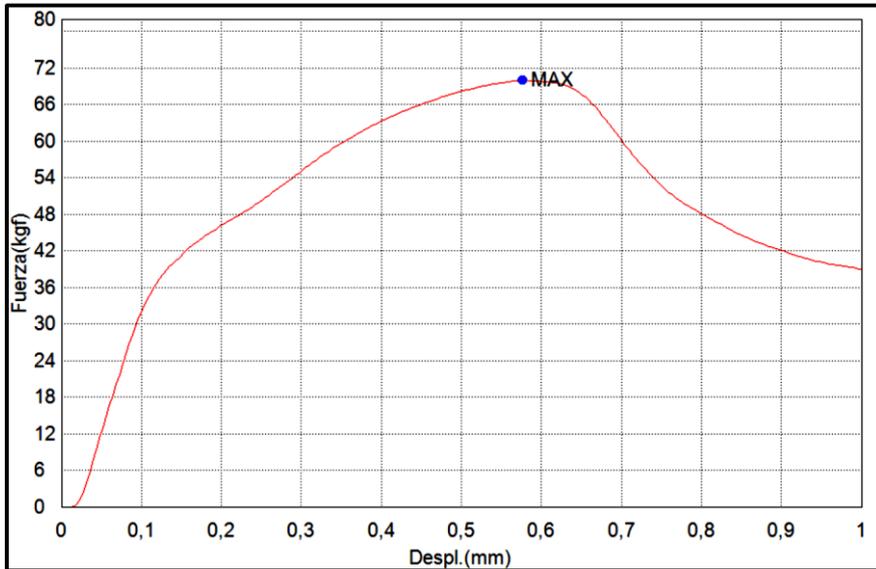
ENSAYO #11		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
428	0.47	118



Gráfica 11: Gráfica ensayo #11 (Caliza 25°C, 5 mm/min, 500 μm)

Tabla 12: Tabla de ensayo #12 con carga, desplazamiento y área

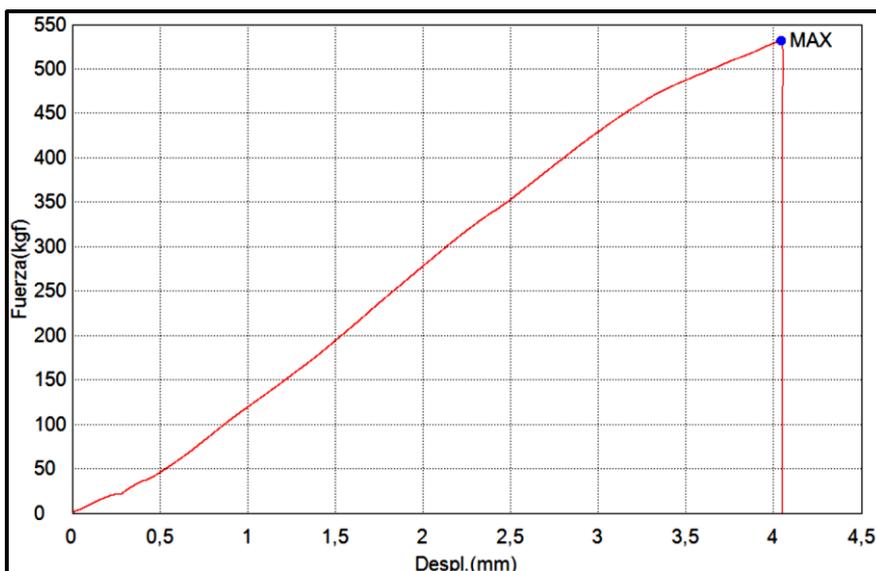
ENSAYO #12		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
685	0.58	777



Gráfica 12: Gráfica ensayo #12 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 μm)

Tabla 13: Tabla de ensayo #13 con carga, desplazamiento y área

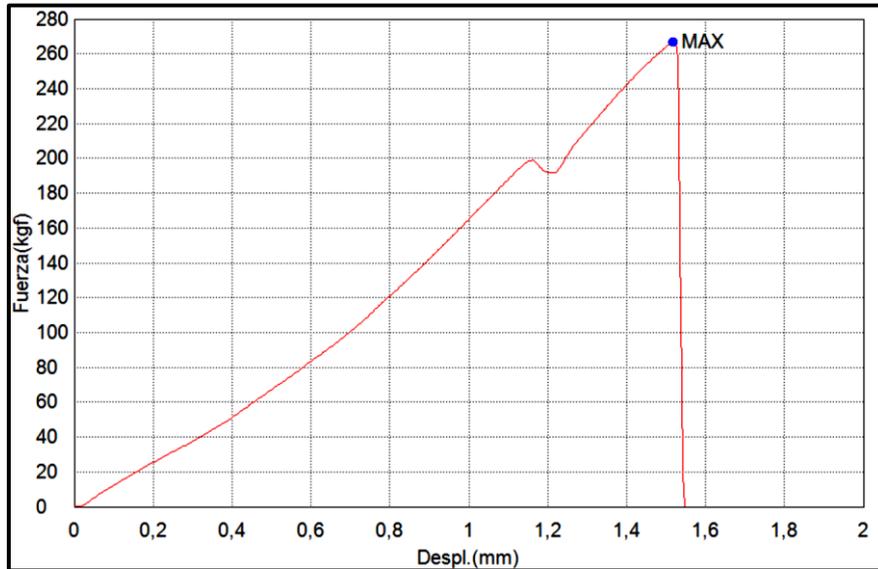
ENSAYO #13		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
5215	4.04	10535



Gráfica 13: Gráfica ensayo #13 (Caliza 10°C, 5 mm/min, contacto total)

Tabla 14: Tabla de ensayo #14 con carga, desplazamiento y área

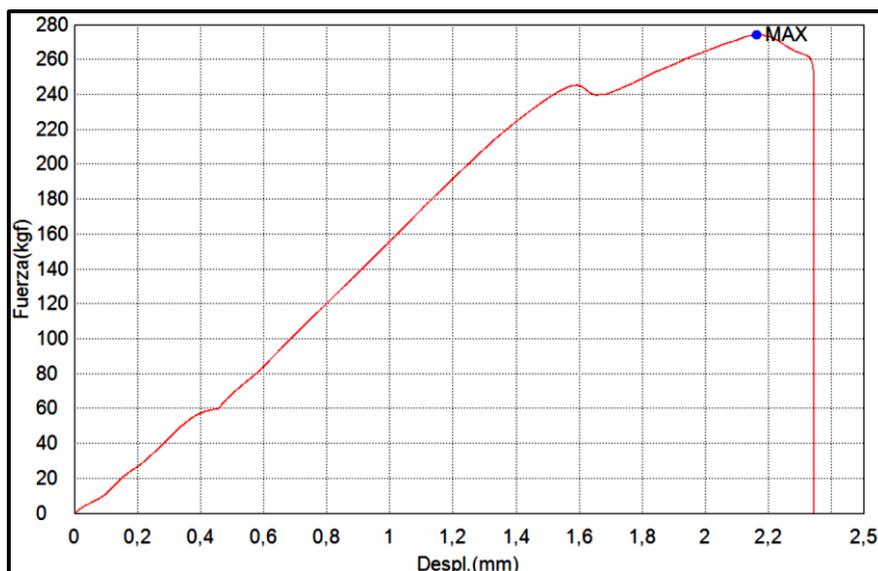
ENSAYO #14		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2616	1.52	1905



Gráfica 14: Gráfica ensayo #14 (Caliza 10°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 15: Tabla de ensayo #15 con carga, desplazamiento y área

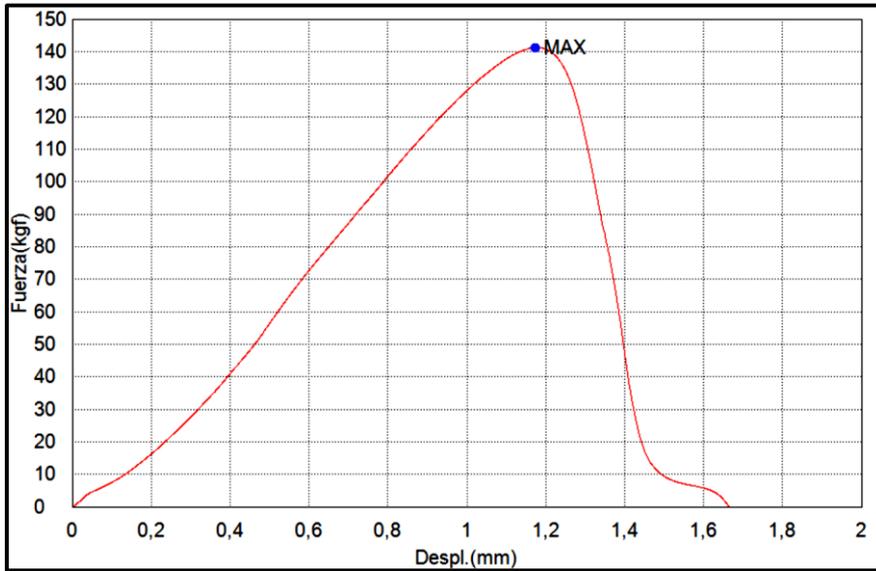
ENSAYO #15		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2687	2.16	3234



Gráfica 15: Gráfica ensayo #15 (Caliza 25°C, 5 mm/min, contacto total)

Tabla 16: Tabla de ensayo #16 con carga, desplazamiento y área

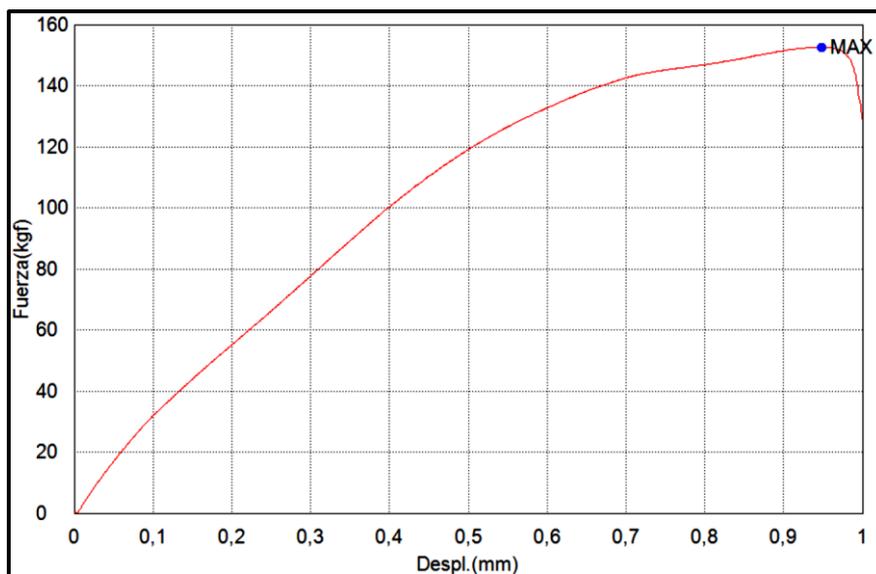
ENSAYO #16		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1384	1.17	802



Gráfica 16: Gráfica ensayo #16 (Caliza 10°C, 5 mm/min, 500 µm)

Tabla 17: Tabla de ensayo #17 con carga, desplazamiento y área

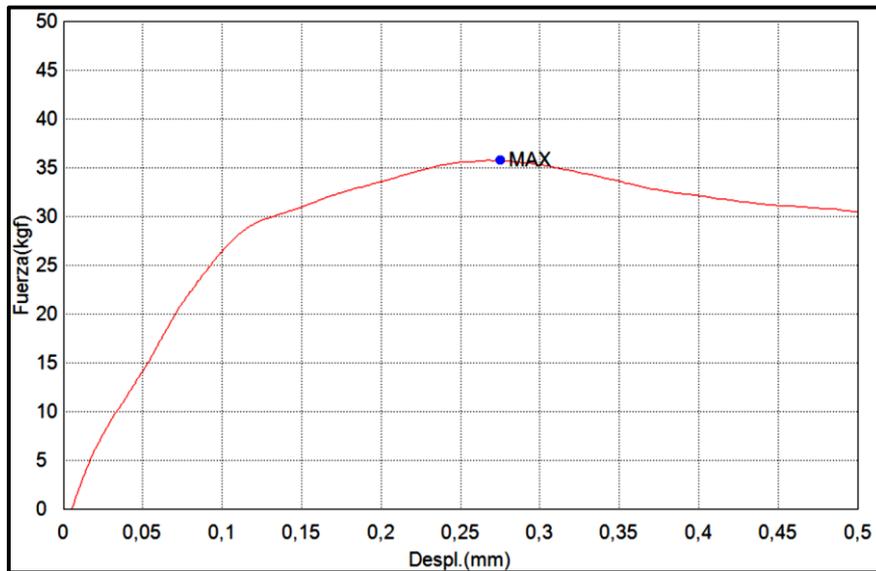
ENSAYO #17		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1430	0.94	777



Gráfica 17: Gráfica ensayo #17 (Caliza 10°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tabla 18: Tabla de ensayo #18 con carga, desplazamiento y área

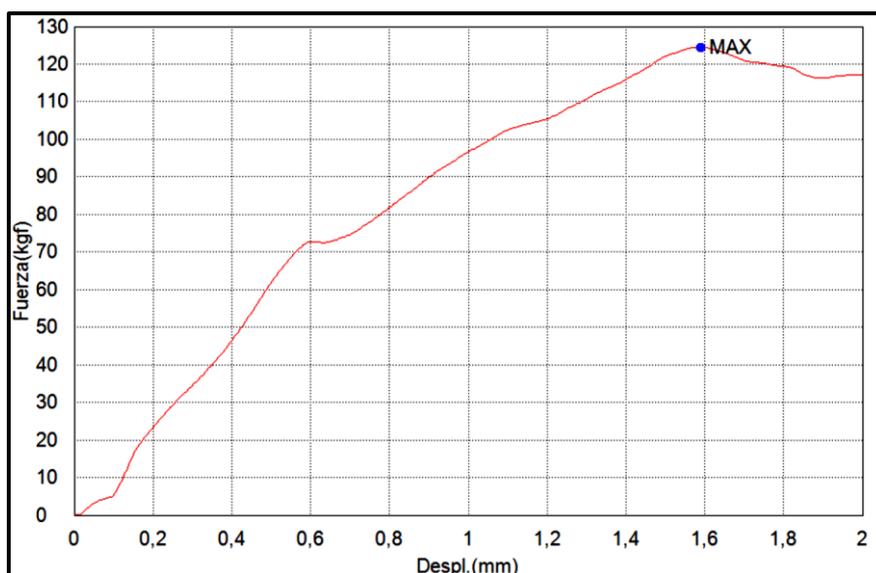
ENSAYO #18		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
350	0.27	68



Gráfica 18: Gráfica ensayo #18 (Caliza 25°C, 5 mm/min, 500 µm)

Tabla 19: Tabla de ensayo #19 con carga, desplazamiento y área

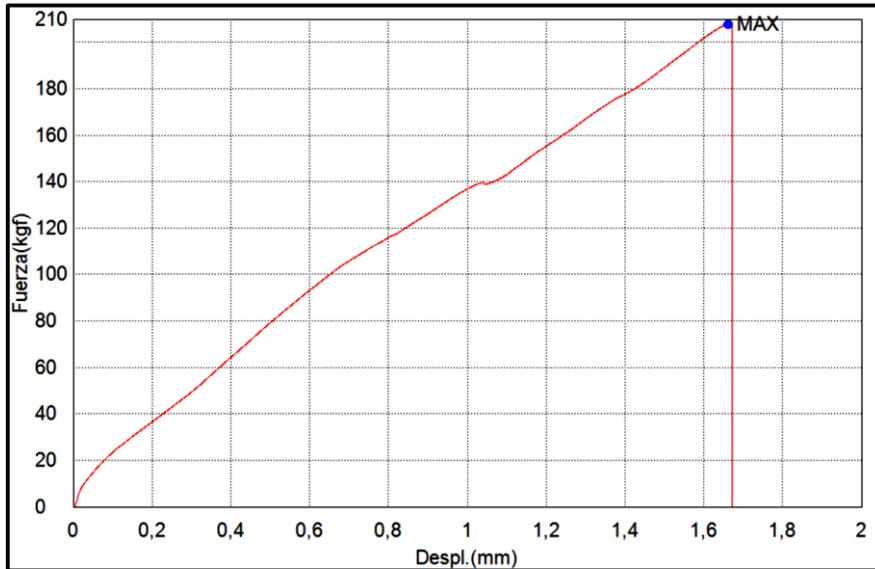
ENSAYO #19		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1220	1.59	1169



Gráfica 19: Gráfica ensayo #19 (Caliza 25°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 20: Tabla de ensayo #20 con carga, desplazamiento y área

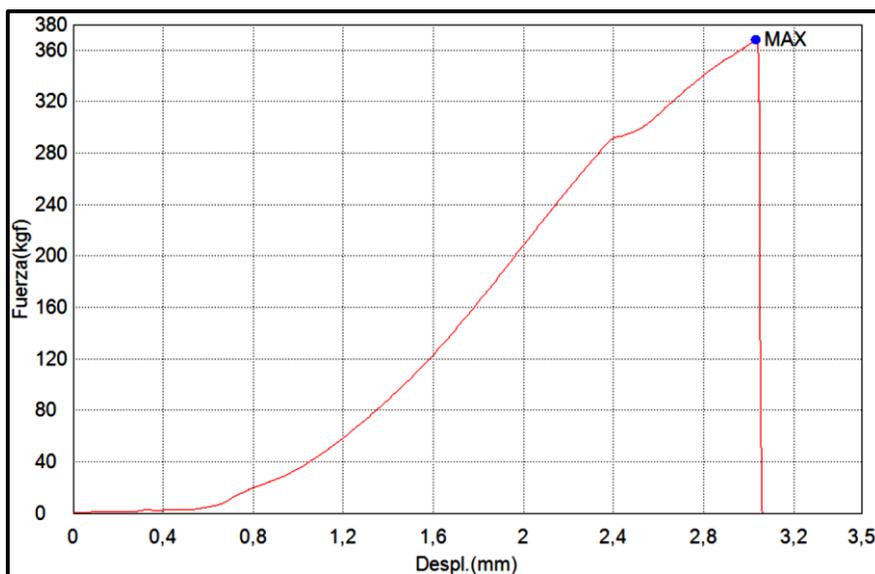
ENSAYO #20		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2035	1.66	1811



Gráfica 20: Gráfica ensayo #20 (Caliza 10°C, 5 mm/min, contacto total)

Tabla 21: Tabla de ensayo #21 con carga, desplazamiento y área

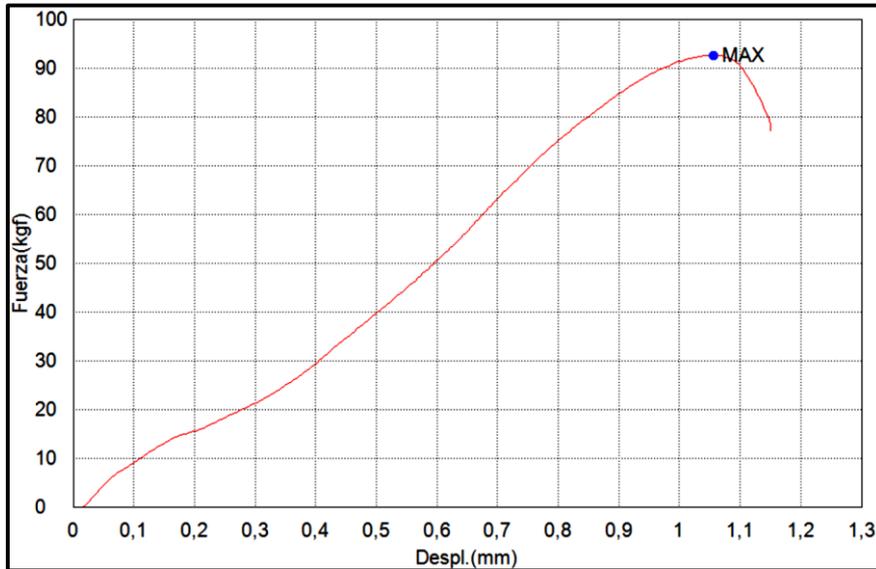
ENSAYO #21		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
3605	3.03	4341



Gráfica 21: Gráfica ensayo #21 (Caliza 10°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 22: Tabla de ensayo #22 con carga, desplazamiento y área

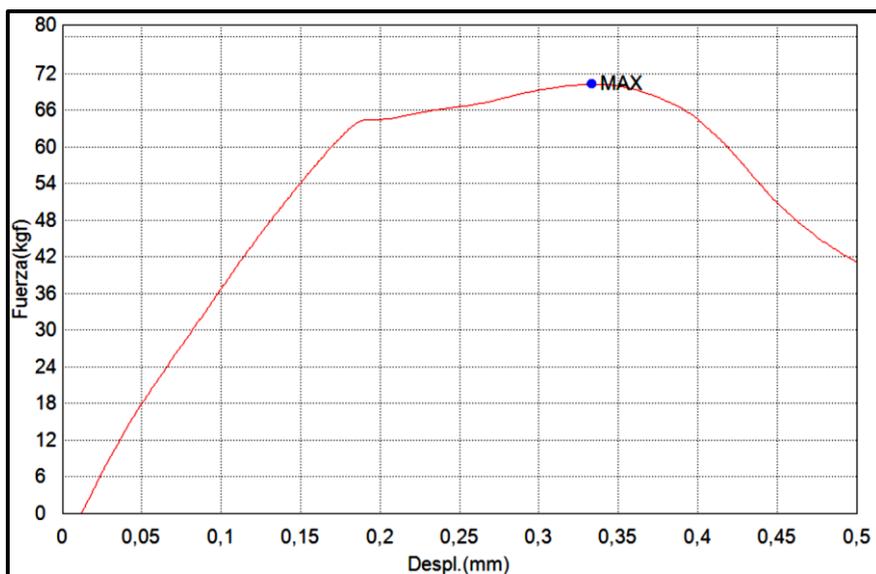
ENSAYO #22		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
907	1.06	280



Gráfica 22: Gráfica ensayo #22 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 μm)

Tabla 23: Tabla de ensayo #23 con carga, desplazamiento y área

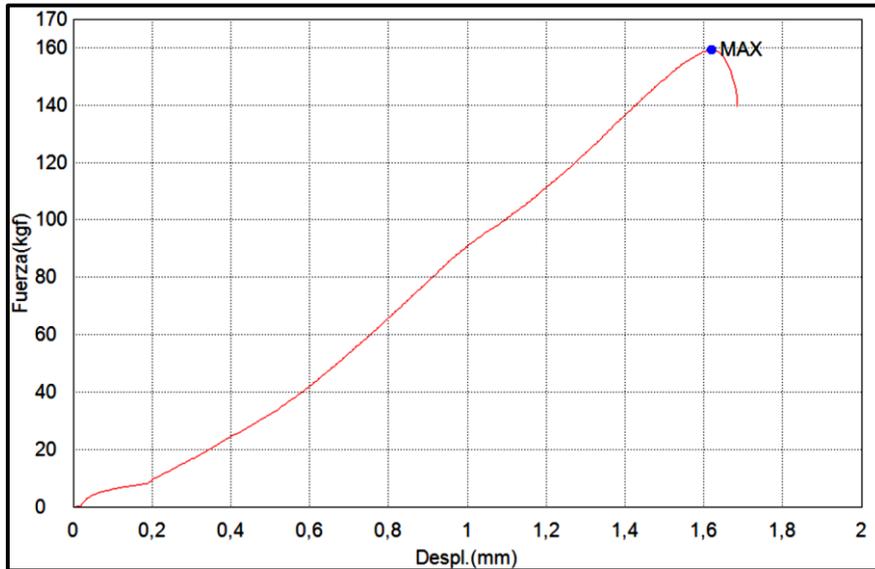
ENSAYO #23		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
688	0.33	155



Gráfica 23: Gráfica ensayo #23 (Caliza 10°C, 5 mm/min, 500 μm)

Tabla 24: Tabla de ensayo #24 con carga, desplazamiento y área

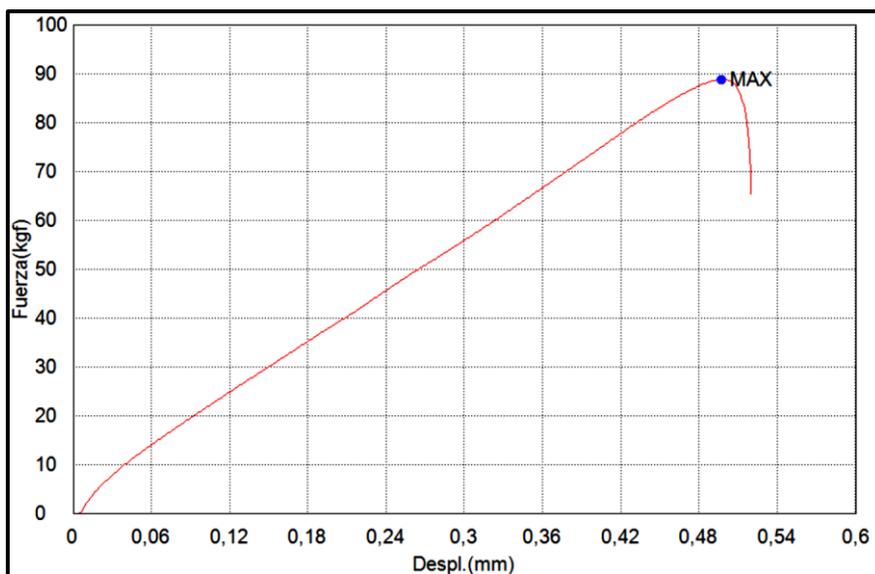
ENSAYO #24		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1561	1.62	1187



Gráfica 24: Gráfica ensayo #24 (Caliza 10°C, 25 mm/min, 500 μm)

Tabla 25: Tabla de ensayo #25 con carga, desplazamiento y área

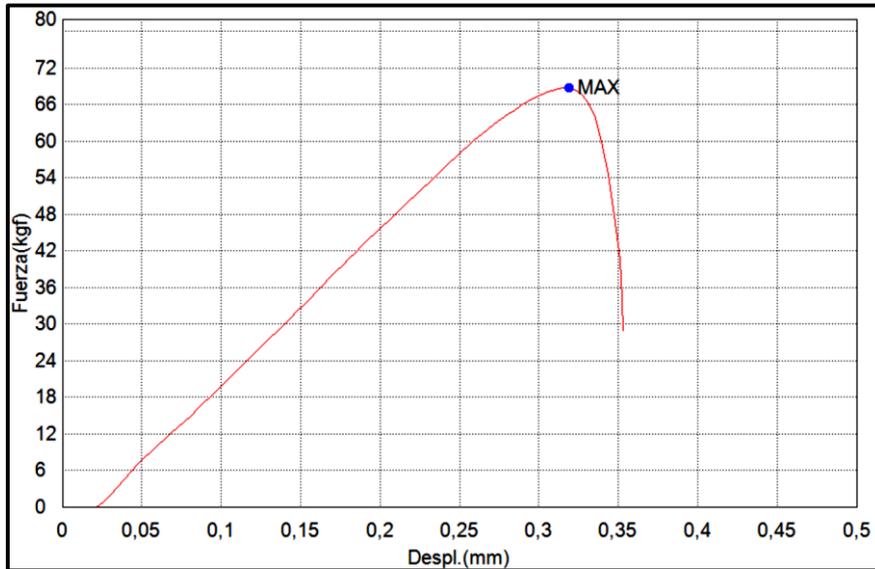
ENSAYO #25		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
870	0.5	216



Gráfica 25: Gráfica ensayo #25 (Basalto 25°C, 5 mm/min, contacto total)

Tabla 26: Tabla de ensayo #26 con carga, desplazamiento y área

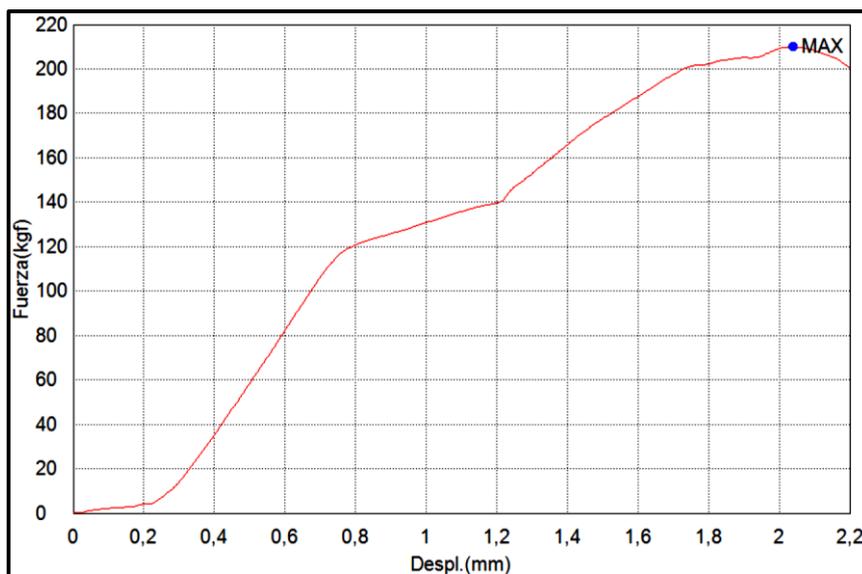
ENSAYO #26		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
673	0.32	101



Gráfica 26: Gráfica ensayo #26 (Basalto 25°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 27: Tabla de ensayo #27 con carga, desplazamiento y área

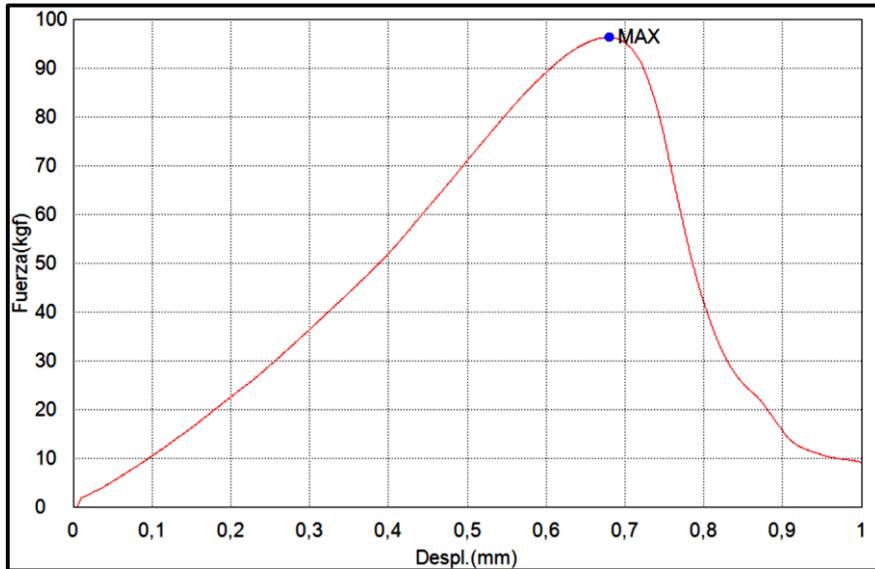
ENSAYO #27		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2057	2.04	2357



Gráfica 27: Gráfica ensayo #27 (Basalto 10°C, 5 mm/min, contacto total)

Tabla 28: Tabla de ensayo #28 con carga, desplazamiento y área

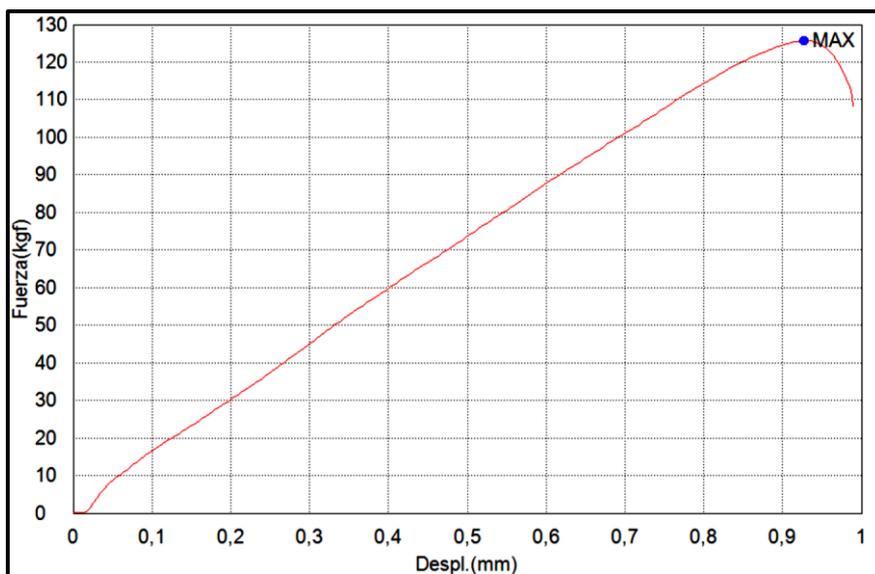
ENSAYO #28		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
944	0.68	312



Gráfica 28: Gráfica ensayo #28 (Basalto 25°C, 5 mm/min, 500 μm)

Tabla 29: Tabla de ensayo #29 con carga, desplazamiento y área

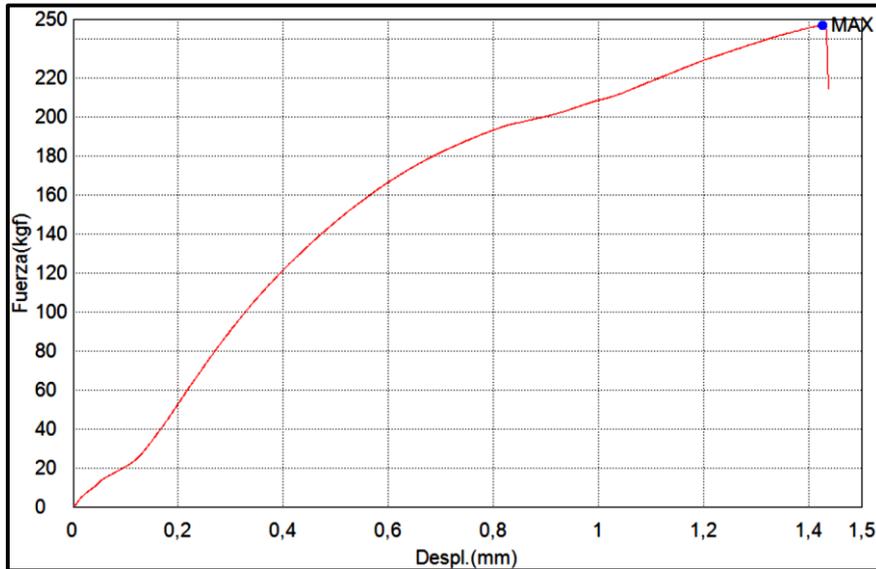
ENSAYO #29		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1232	0.93	573



Gráfica 29: Gráfica ensayo #29 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 μm)

Tabla 30: Tabla de ensayo #30 con carga, desplazamiento y área

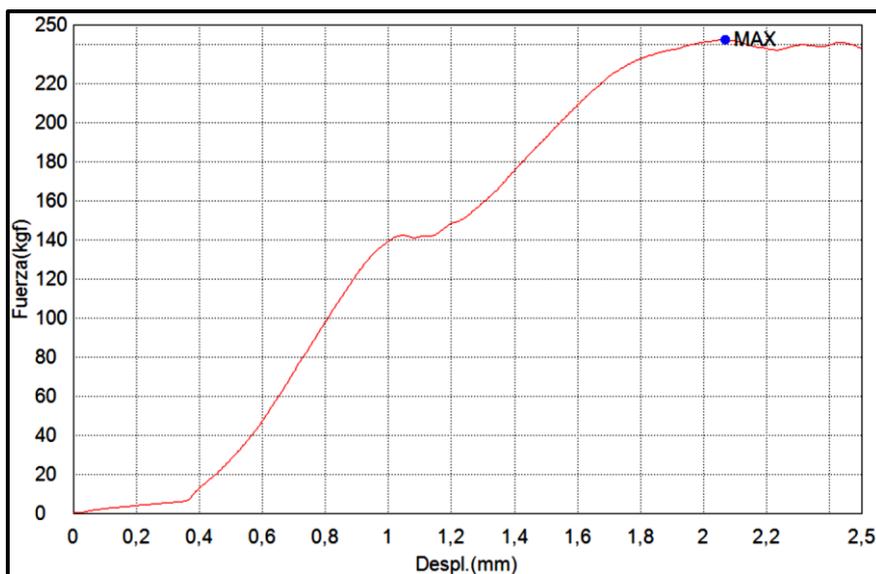
ENSAYO #30		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2417	1.43	2157



Gráfica 30: Gráfica ensayo #30 (Basalto 10°C, 5 mm/min, 500 μm)

Tabla 31: Tabla de ensayo #31 con carga, desplazamiento y área

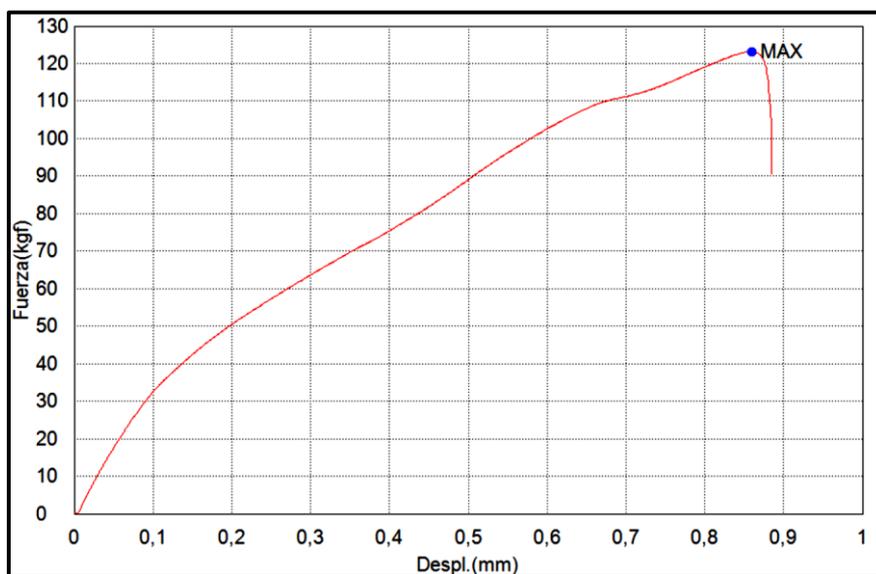
ENSAYO #31		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2373	2.07	3538



Gráfica 31: Gráfica ensayo #31 (Basalto 10°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 32: Tabla de ensayo #32 con carga, desplazamiento y área

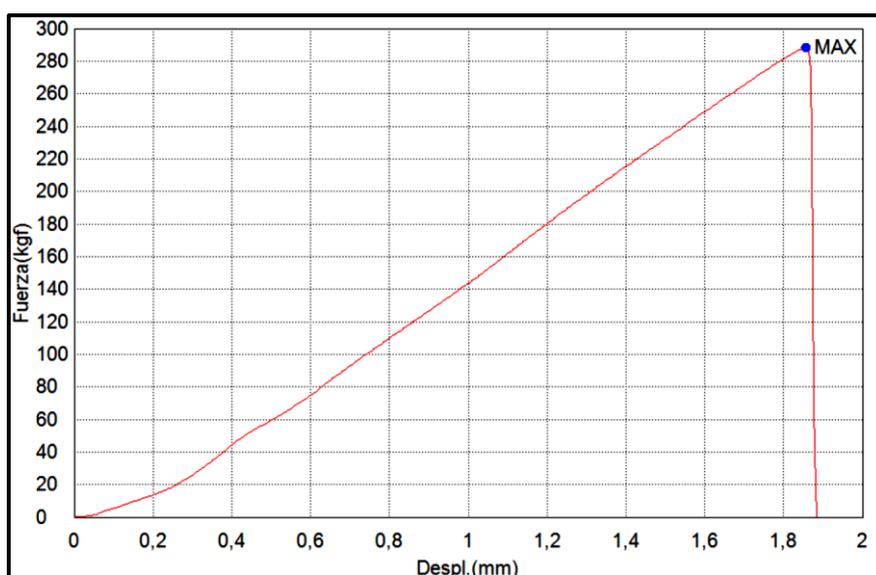
ENSAYO #32		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1207	0.86	634



Gráfica 32: Gráfica ensayo #32 (Basalto 10°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 33: Tabla de ensayo #33 con carga, desplazamiento y área

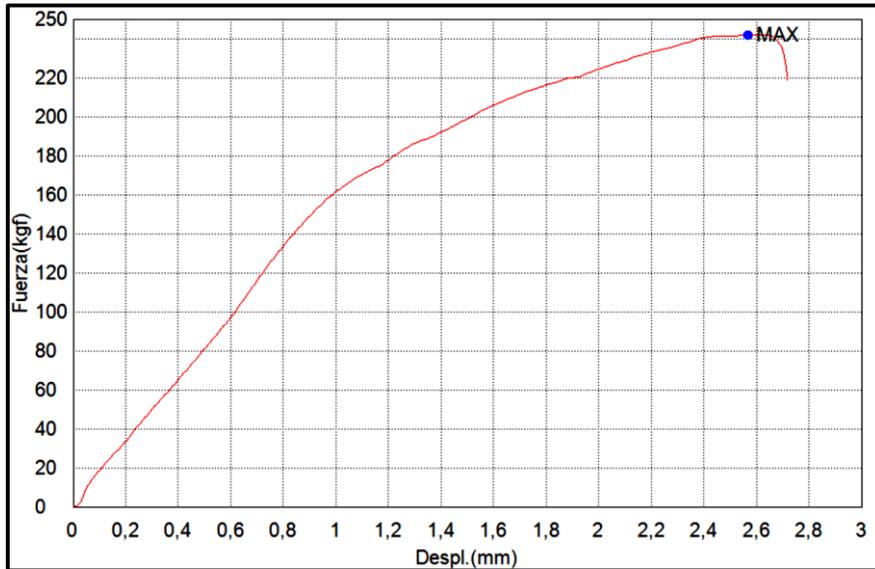
ENSAYO #33		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2824	1.86	2584



Gráfica 33: Gráfica ensayo #33 (Basalto 25°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 34: Tabla de ensayo #34 con carga, desplazamiento y área

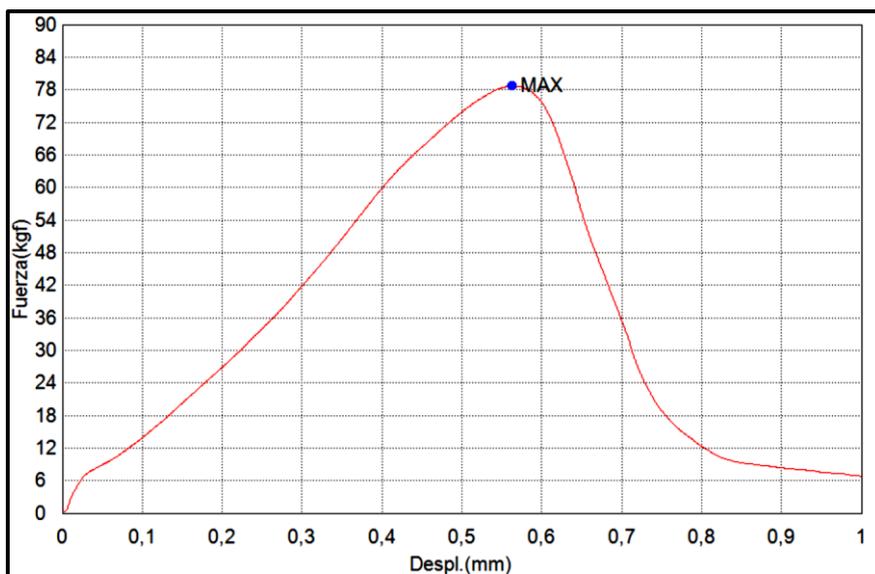
ENSAYO #34		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2371	2.57	4009



Gráfica 34: Gráfica ensayo #34 (Basalto 10°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tabla 35: Tabla de ensayo #35 con carga, desplazamiento y área

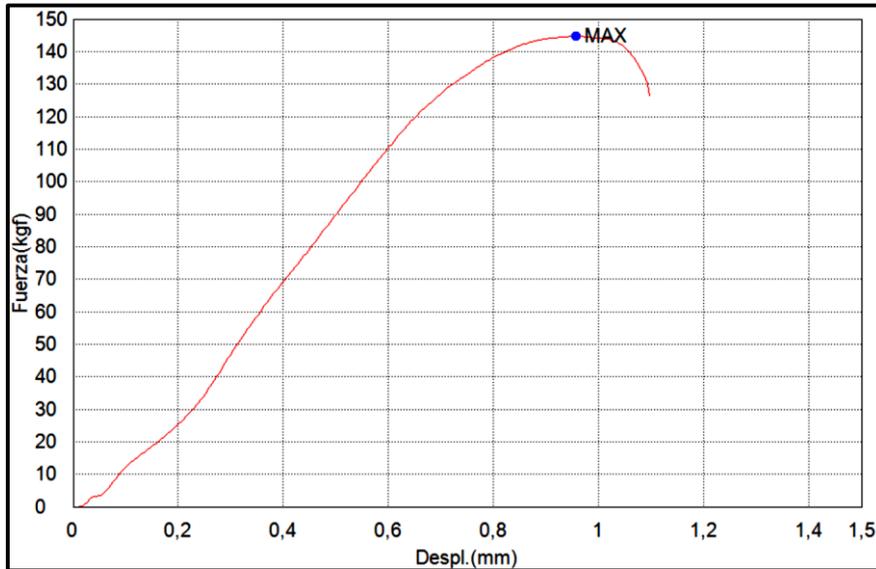
ENSAYO #35		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
771	0.56	224



Gráfica 35: Gráfica ensayo #35 (Basalto 25°C, 5 mm/min, 500 µm)

Tabla 36: Tabla de ensayo #36 con carga, desplazamiento y área

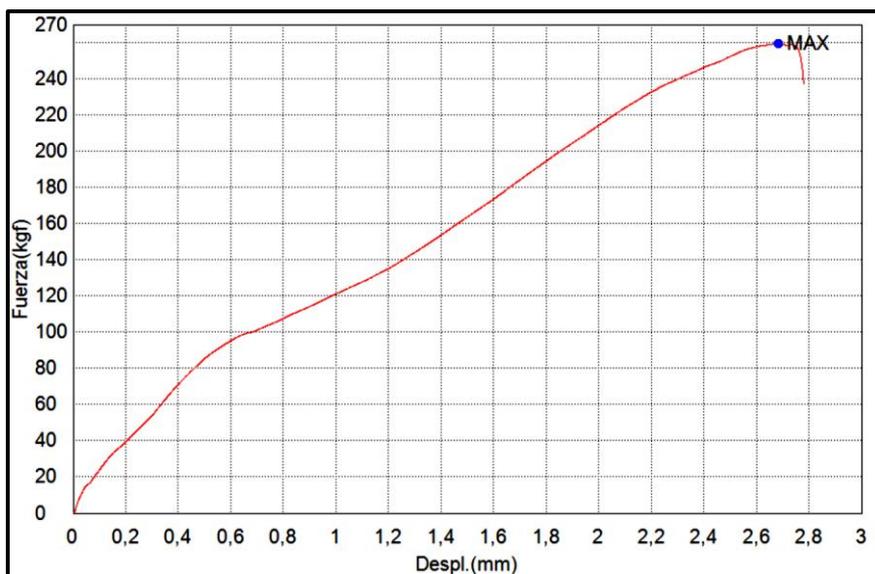
ENSAYO #36		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1418	0.96	737



Gráfica 36: Gráfica ensayo #36 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tabla 37: Tabla de ensayo #37 con carga, desplazamiento y área

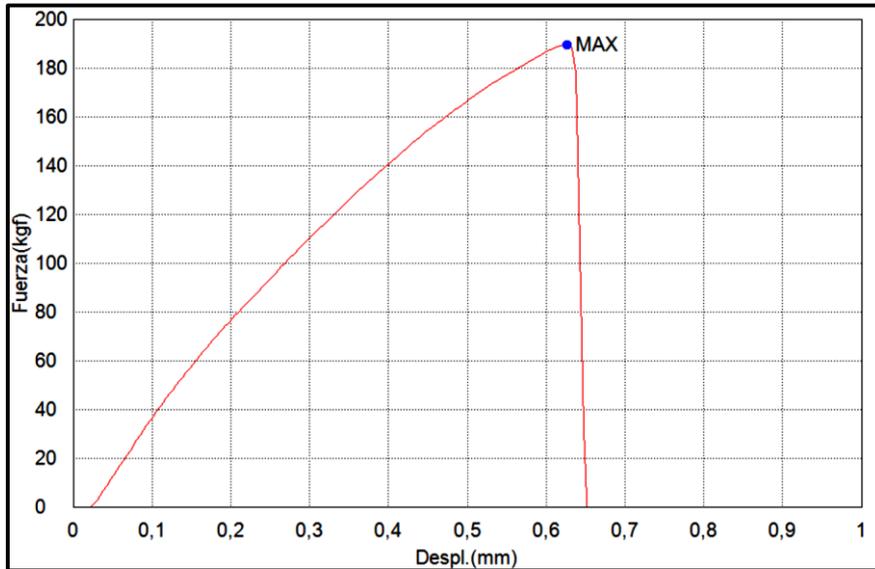
ENSAYO #37		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2544	2.68	3853



Gráfica 37: Gráfica ensayo #37 (Basalto 10°C, 5 mm/min, contacto total)

Tabla 38: Tabla de ensayo #38 con carga, desplazamiento y área

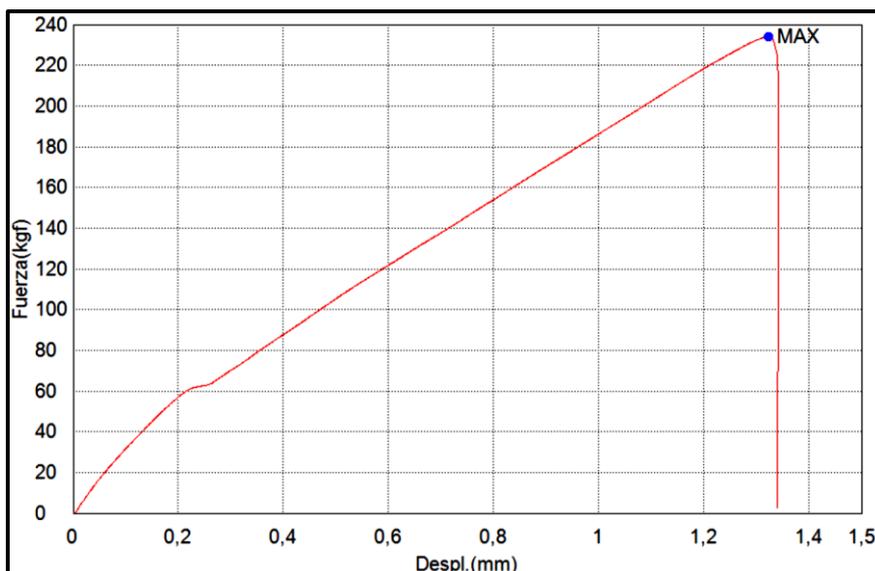
ENSAYO #38		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1857	0.63	636



Gráfica 38: Gráfica ensayo #38 (Basalto 10°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 39: Tabla de ensayo #39 con carga, desplazamiento y área

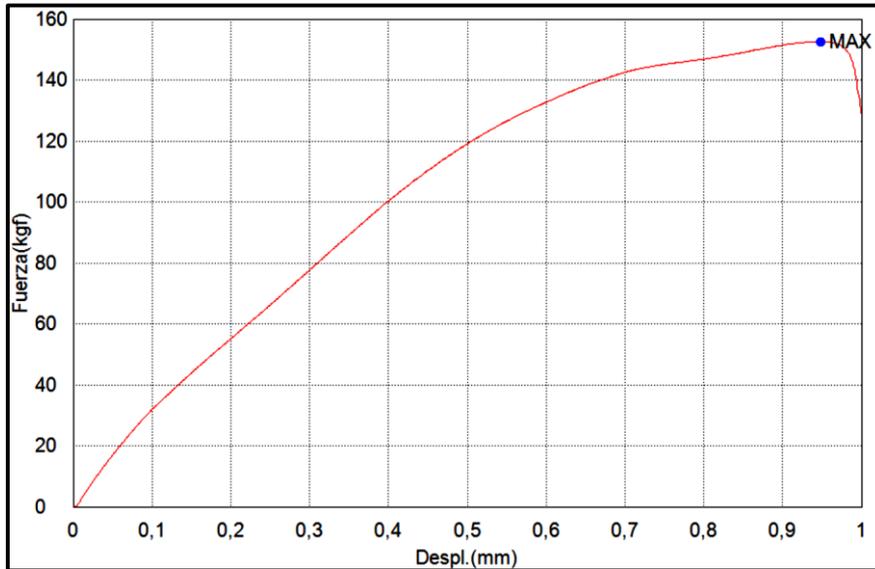
ENSAYO #39		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2293	1.32	1654



Gráfica 39: Gráfica ensayo #39 (Basalto 25°C, 5 mm/min, contacto total)

Tabla 40: Tabla de ensayo #40 con carga, desplazamiento y área

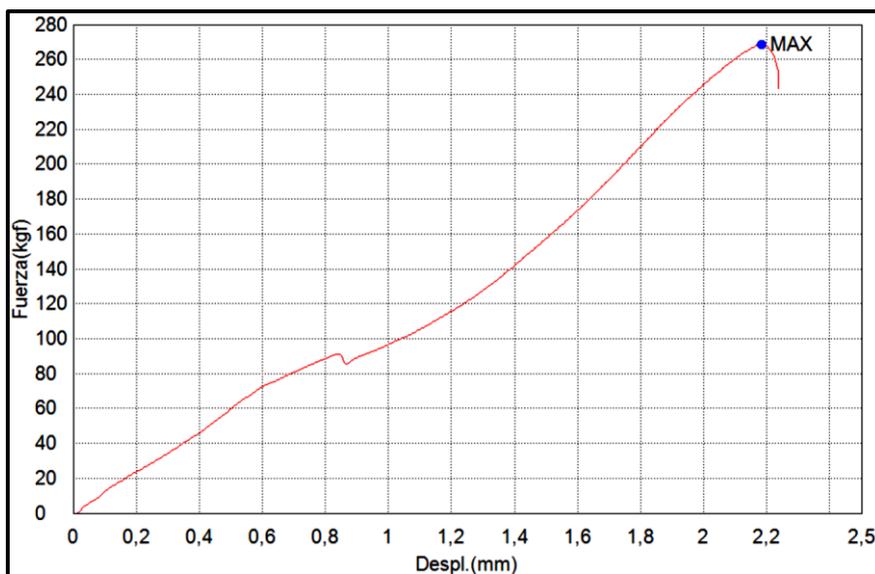
ENSAYO #40		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1496	0.95	566



Gráfica 40: Gráfica ensayo #40 (Basalto 10°C, 5 mm/min, 500 μm)

Tabla 41: Tabla de ensayo #41 con carga, desplazamiento y área

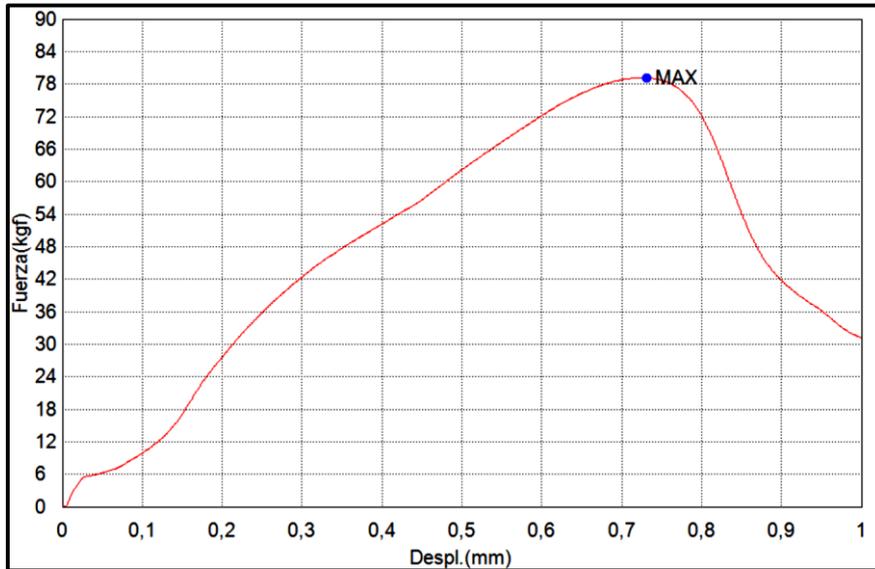
ENSAYO #41		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2631	2.18	2596



Gráfica 41: Gráfica ensayo #41 (Basalto 10°C, 25 mm/min, 500 μm)

Tabla 42: Tabla de ensayo #42 con carga, desplazamiento y área

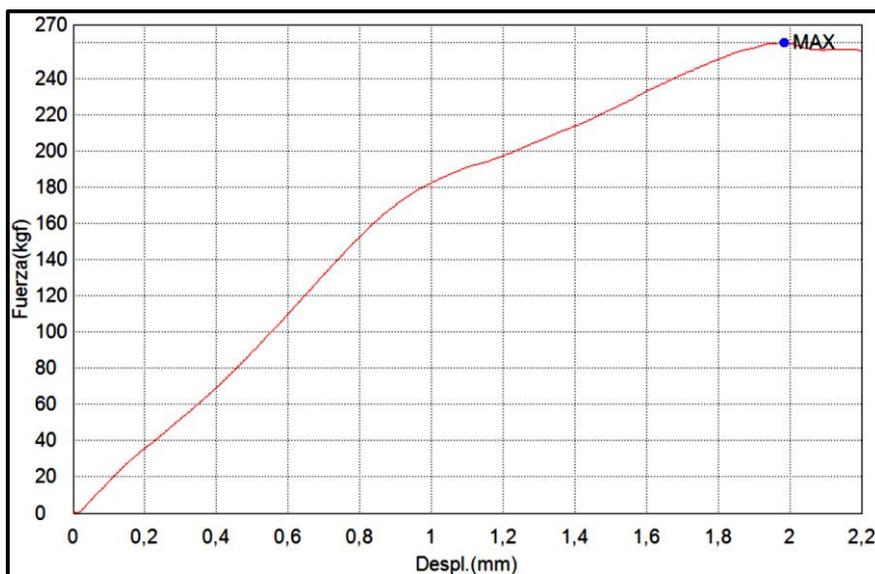
ENSAYO #42		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
776	0.73	320



Gráfica 42: Gráfica ensayo #42 (Basalto 25°C, 5 mm/min, 500 µm)

Tabla 43: Tabla de ensayo #43 con carga, desplazamiento y área

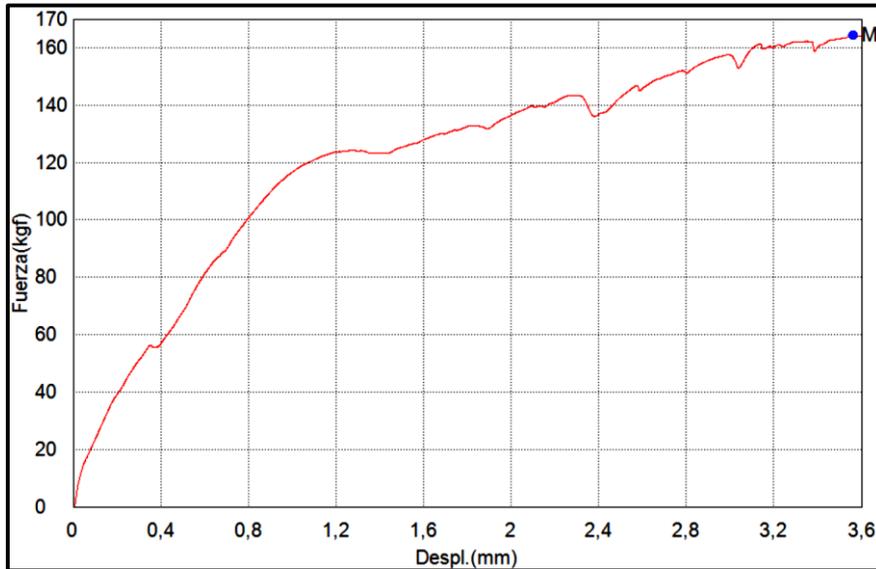
ENSAYO #43		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2547	1.99	3026



Gráfica 43: Gráfica ensayo #43 (Basalto 25°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 44: Tabla de ensayo #44 con carga, desplazamiento y área

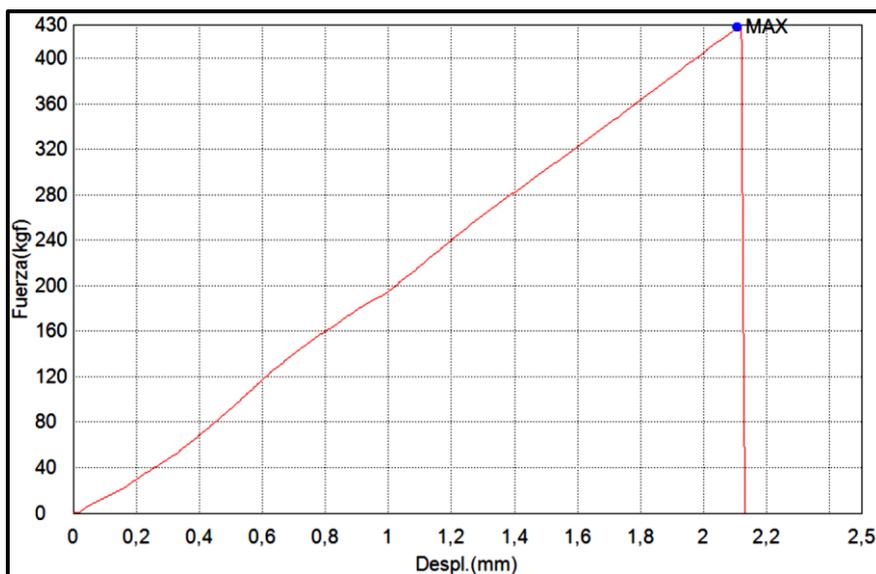
ENSAYO #44		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1609	3.56	4095



Gráfica 44: Gráfica ensayo #44 (Basalto 10°C, 5 mm/min, contacto total)

Tabla 45: Tabla de ensayo #45 con carga, desplazamiento y área

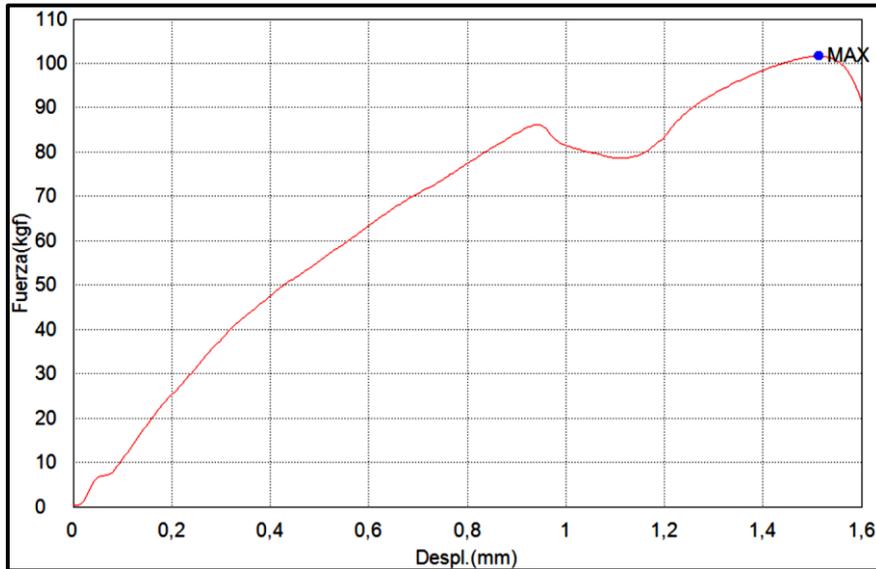
ENSAYO #45		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
4189	2.11	4419



Gráfica 45: Gráfica ensayo #45 (Basalto 10°C, 25 mm/min, contacto total)

Tabla 46: Tabla de ensayo #46 con carga, desplazamiento y área

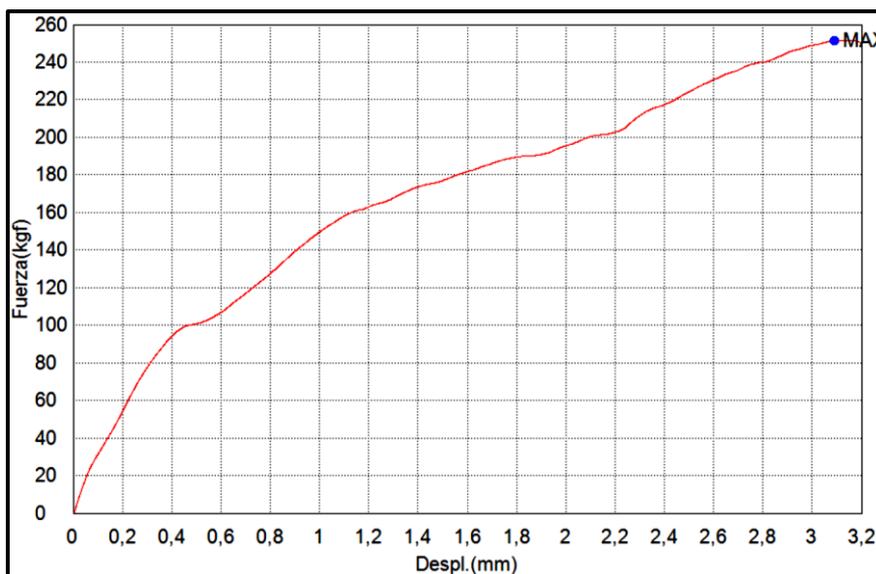
ENSAYO #46		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
996	1.51	945



Gráfica 46: Gráfica ensayo #46 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tabla 47: Tabla de ensayo #47 con carga, desplazamiento y área

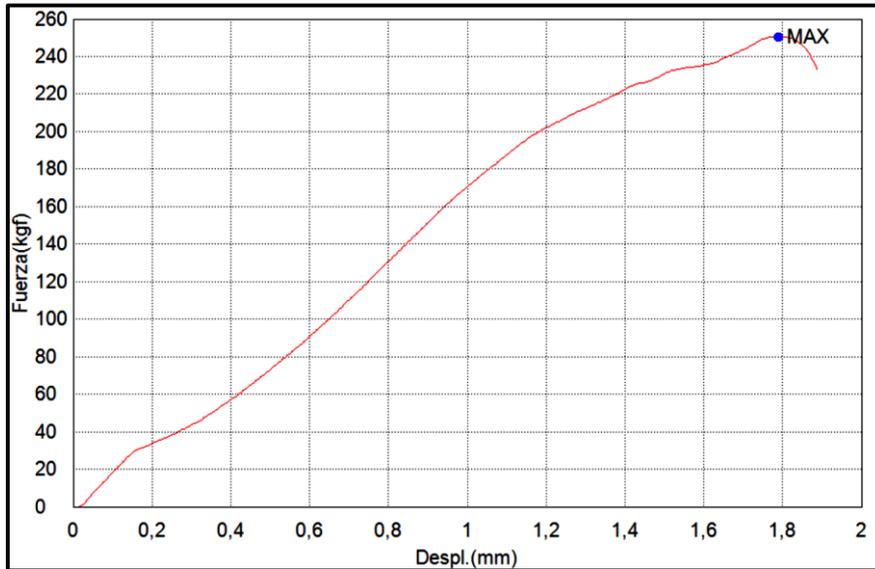
ENSAYO #47		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2466	3.09	4949



Gráfica 47: Gráfica ensayo #47 (Basalto 10°C, 5 mm/min, 500 µm)

Tabla 48: Tabla de ensayo #48 con carga, desplazamiento y área

ENSAYO #48		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
2453	1.79	2448

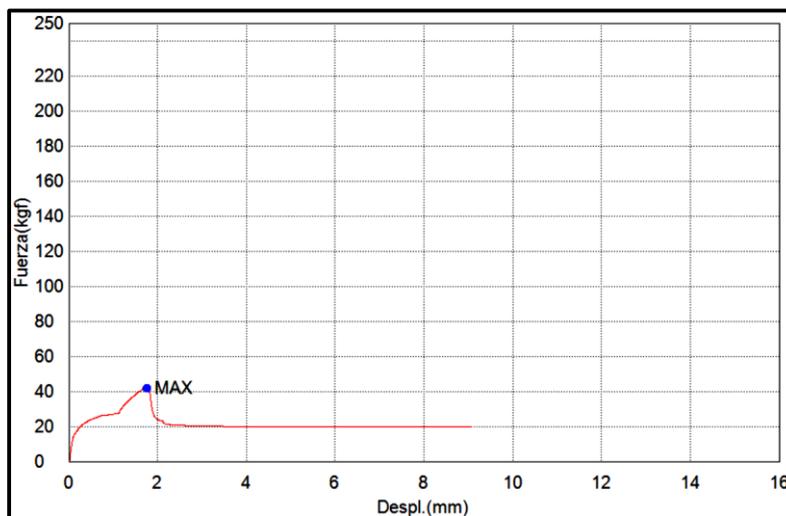


Gráfica 48: Gráfica ensayo #48 (Basalto 10°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tablas y Gráficas de ensayos finales

Tabla 1: Tabla de ensayo final #1 con carga, desplazamiento y área

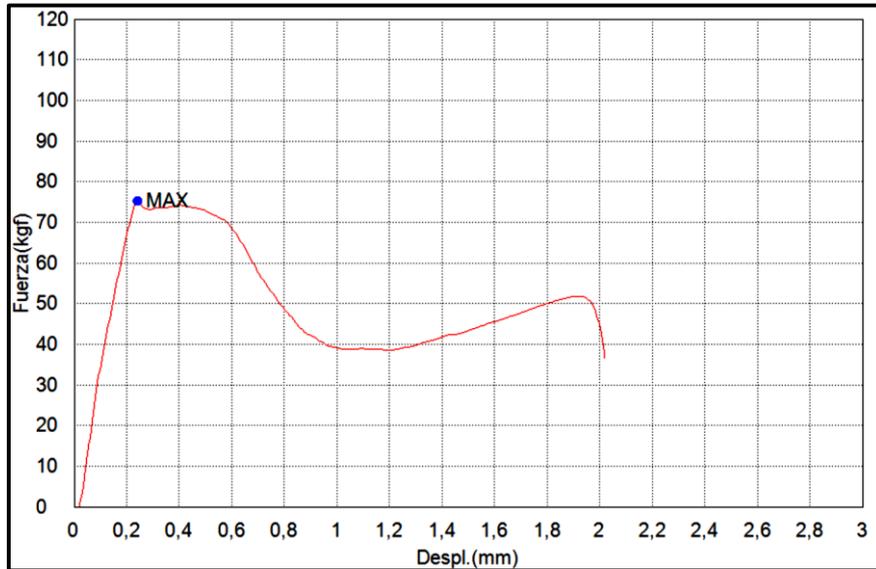
ENSAYO FINAL #1		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
410	1.76	457



Gráfica 1: Gráfica ensayo final #1 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tabla 2: Tabla de ensayo final #2 con carga, desplazamiento y área

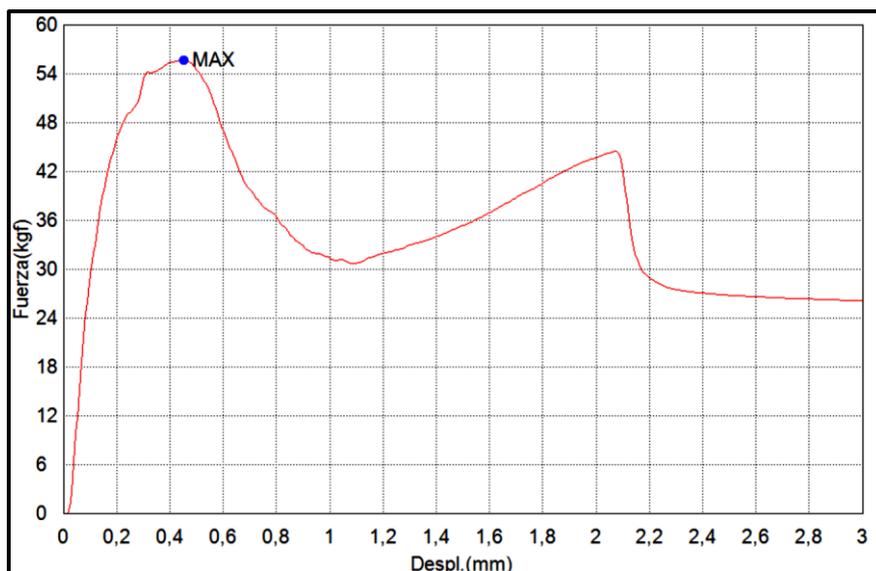
ENSAYO FINAL #2		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
737	0.24	88



Gráfica 2: Gráfica ensayo final #2 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tabla 3: Tabla de ensayo final #3 con carga, desplazamiento y área

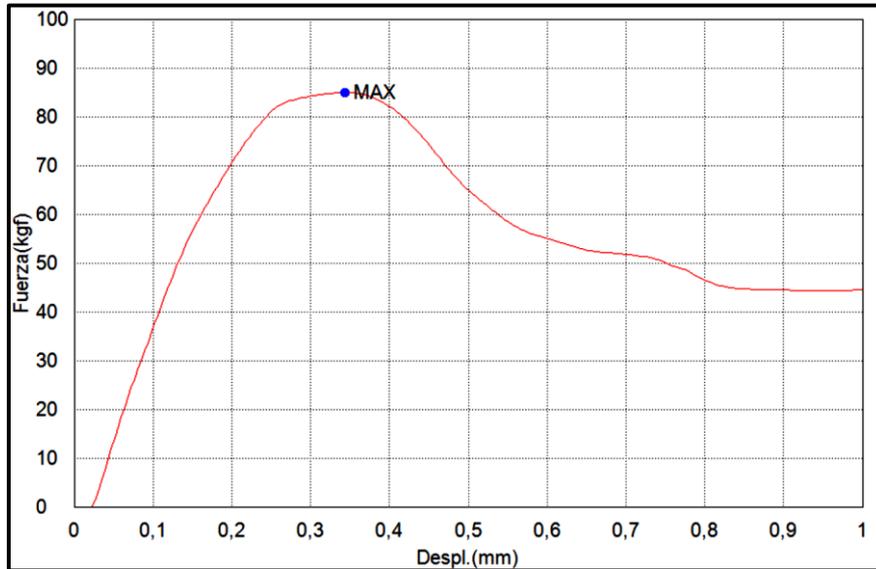
ENSAYO FINAL #3		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
545	0.45	176



Gráfica 3: Gráfica ensayo final #3 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tabla 4: Tabla de ensayo final #4 con carga, desplazamiento y área

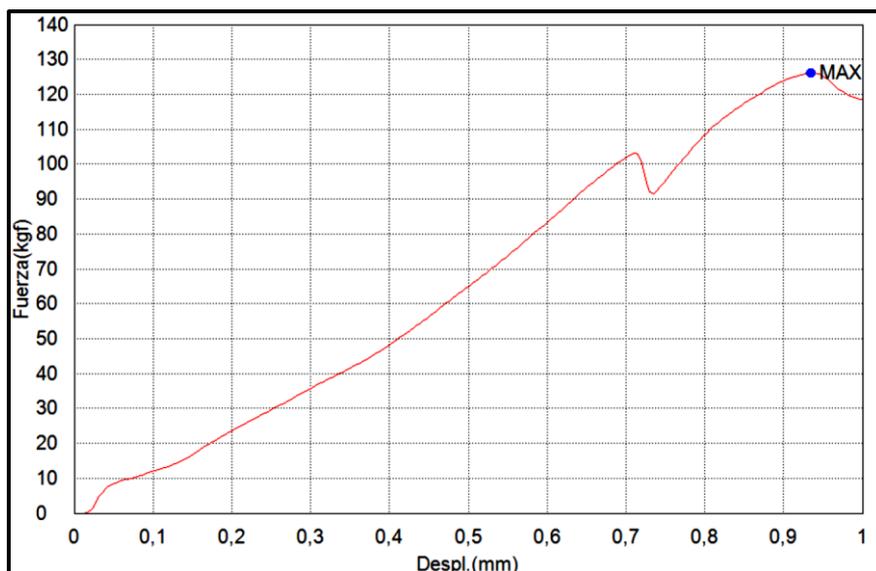
ENSAYO FINAL #4		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
833	0.34	183



Gráfica 4: Gráfica ensayo final #4 (Caliza 25°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tabla 5: Tabla de ensayo final #5 con carga, desplazamiento y área

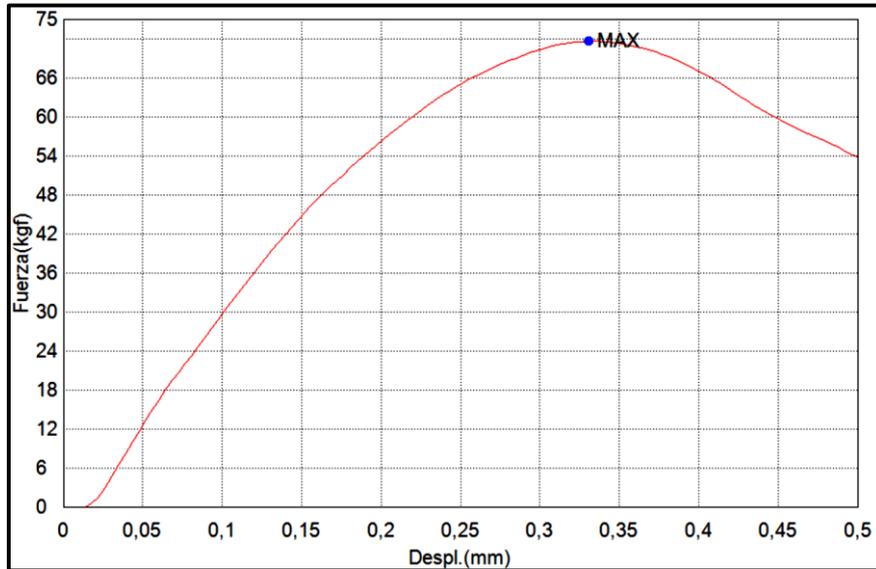
ENSAYO FINAL #5		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1236	0.94	567



Gráfica 5: Gráfica ensayo final #5 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 µm)

Tabla 6: Tabla de ensayo final #6 con carga, desplazamiento y área

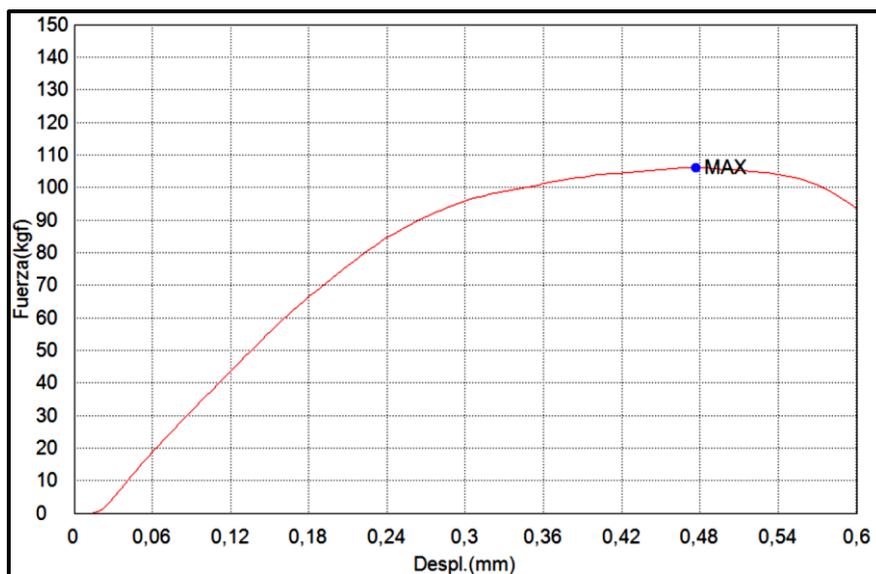
ENSAYO FINAL #6		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
701	0.33	141



Gráfica 6: Gráfica ensayo final #6 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 μm)

Tabla 7: Tabla de ensayo final #7 con carga, desplazamiento y área

ENSAYO FINAL #7		
CARGA (N)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ÁREA (N.mm)
1040	0.48	325



Gráfica 7: Gráfica ensayo final #7 (Basalto 25°C, 25 mm/min, 500 μm)



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Alcívar Bastidas, Alfredo Gregorio**, con C.C: # **0924820210** y **Lozano Urgilés, Gonzalo Omar**, con C.C: # **0925809998** autores del trabajo de titulación: **Evaluación de la adherencia en el sistema asfalto – agregado mineral mediante pruebas de tracción**, 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, 15 de marzo de 2017

f. _____

Alcívar Bastidas Alfredo Gregorio

C.C: 0924820210

f. _____

Lozano Urgilés Gonzalo Omar

C.C: 0925809998



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA EN EL SISTEMA ASFALTO – AGREGADO MINERAL MEDIANTE PRUEBAS DE TRACCIÓN		
AUTOR(ES)	ALCÍVAR BASTIDAS ALFREDO GREGORIO Y LOZANO URGILÉS GONZALO OMAR		
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:	15 DE MARZO DE 2017	No. DE PÁGINAS:	107
ÁREAS TEMÁTICAS:	PAVIMENTOS		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	ADHERENCIA, CEMENTO ASFÁLTICO, AGREGADO MINERAL, ENSAYO DE TRACCIÓN, DISEÑO EXPERIMENTAL		
RESUMEN/ABSTRACT: EL ECUADOR, A TRAVÉS DEL TIEMPO, HA DESARROLLADO OBRAS VIALES, QUE AL POCO TIEMPO HAN TENIDO QUE SER REPARADAS LO CUAL CONLLEVA A UN MAYOR ENFOQUE A LOS FACTORES QUE INCIDEN DE MANERA DIRECTA AL DETERIORO EN LAS CARPETAS ASFÁLTICAS, COMO ES EL CASO DE LA ADHERENCIA ENTRE EL LIGANTE ASFÁLTICO Y EL AGREGADO MINERAL. EL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN REALIZA UNA INVESTIGACIÓN APLICANDO UN PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL CON PRUEBAS A TRACCIÓN A PASTILLAS DE ROCAS PEGADAS CON CEMENTO ASFÁLTICO PREVIAMENTE TRATADAS. EL DISEÑO EXPERIMENTAL CONSIDERÓ VARIOS FACTORES COMO EL TIPO DE ROCA, LA TEMPERATURA, LA RAZÓN DE DEFORMACIÓN Y EL ESPESOR DE PELÍCULA DE ASFALTO. LOS DOS TIPOS DE ROCAS EMPLEADOS EN ESTE TRABAJO INVESTIGATIVO FUERON LA ROCA CALIZA Y LA ROCA BASÁLTICA. 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 MM. 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.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-989856723	E-mail: alfredo.barce@gmail.com, gonzalomar94@gmail.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):			