



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto

**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL AGREGADO (Ea),
DEL SECTOR CERRO NEGRO, CANTÓN RIOBAMBA.**

Autor:

Henry Fernando Allauca Maji

Tutor:

Ing. Carlos Sebastián Saldaña García

Riobamba – Ecuador

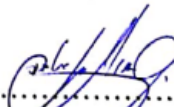
2018

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL AGREGADO (Ea), DEL SECTOR CERRO NEGRO, CANTÓN RIOBAMBA” presentado por: **Henry Fernando Allauca Maji** y dirigida por: Ing. Carlos Saldaña. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Carlos Saldaña
Director del proyecto



.....
Firma

Ing. Oscar Cevallos
Miembro del tribunal



.....
Firma

Ing. Jorge Nuñez
Miembro del tribunal

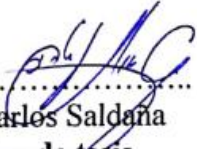


.....
Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Carlos Saldaña**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL AGREGADO (E_a), DEL SECTOR CERRO NEGRO, CANTÓN RIOBAMBA”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al estudiante **Henry Fernando Allauca Maji** para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,


.....
Ing. Carlos Saldaña
Tutor de tesis

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Henry Fernando Allauca Maji e Ing. Carlos Saldaña; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....
Henry Fernando Allauca Maji
C.I. 060477251-7

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por regalarme la vida y la fuerza para afrontar cada reto que se me presenta y culminar una etapa más en mi vida.

A mis padres Bolívar y Blanca quienes me han inculcado de valores enseñándome que a pesar de las dificultades hay que seguir adelante, siempre estuvieron presentes con su apoyo incondicional ayudándome a superar cada barrera que se me ha presentado y sobre todo me mostraron lo duro y también lo maravilloso que puede ser la vida.

A mi hermano Sebastián quien con su corta edad me educó para la vida, y me mostró lo increíble de tener un amigo en quien confiar y saber que nunca te va fallar.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por abrirme las puertas y permitirme estudiar mi carrera profesional, del mismo modo a los docentes que compartieron sus conocimientos para lograr este objetivo.

Henry Fernando Allauca Maji

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado para los mejores maestros en construcción civil de la ciudad de Riobamba, Segundo Juan Maji y Bolívar Allauca, quienes que, con humildad, honradez, dedicación y trabajo, dirigieron las obras más importantes en la ciudad y provincia.

A la mujer de mi vida, mi madre Blaquita Maji quien día a día a velado por mi bienestar y a pesar de todo me ha cuidado por tantos años, siendo mi amiga, apoyo y guía en el transcurso de la vida.

Henry Fernando Allauca Maji

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	14
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo general.....	18
2.2 Objetivos específicos	18
3. MARCO TEÓRICO	19
4. METODOLOGÍA.....	27
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
6. CONCLUSIONES.....	50
8. RECOMENDACIONES	52
10. BIBLIOGRAFÍA.....	53
11. ANEXOS.....	55
Anexo 1. Datos de las probetas de rocas andesitas.....	55
Anexo 2. Datos de las probetas de rocas dacitas.	65
Anexo 3. Datos de las probetas de roca toba.	75
Anexo 4. Curvas esfuerzo vs deformación unitaria de probetas de roca andesita.	85
Anexo 5. Curvas esfuerzo vs deformación unitaria de probetas de roca dacita.	96
Anexo 6. Curvas esfuerzo vs deformación unitaria de probetas de roca toba.	106
Anexo 7. Ubicación de rocas para la obtención de probetas	116
Anexo 8. Evidencia fotográfica	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa geológico del Ecuador, sector Riobamba	20
Figura 2. Mapa geológico Chimborazo, hoja 69	21
Figura 3. Perfil geológico	22
Figura 4. Elemento sujeto a una fuerza F_1	25
Figura 5. Esquema de metodología de la investigación.	27
Figura 6. Extractor de núcleos y broca	28
Figura 7. Compresómetro/extensómetro	29
Figura 8. Separador mecánico para reducción de muestra	30
Figura 9. Tipos de roca de la cantera Cerro Negro.....	31
Figura 10. Agregado triturado de la cantera Cerro Negro.....	31
Figura 11. Extracción de núcleos de roca.....	32
Figura 12. Métodos para calcular el módulo de Young a partir de la curva de tensión axial	33
Figura 13. Agregado colocado en molde de cilindro	34
Figura 14. Esfuerzo final relacionado al esfuerzo aplicado	39
Figura 15. Resultados representativos al 25% de la carga aplicada	40
Figura 16. Resultados representativos al 50% de la carga aplicada	40
Figura 17. Resultados representativos al 75% de la carga aplicada	41
Figura 18. Resultados representativos al 100% de la carga aplicada	41
Figura 19. Porcentaje de cada roca en el agregado (Proceso 1)	45
Figura 20. Porcentaje de cada roca en el agregado (Proceso 2)	47
Figura 21. Módulo de elasticidad de agregados en Ecuador	49

Figura 22. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 2.	85
Figura 23. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 2.	86
Figura 24. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 2.	86
Figura 25. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 2.	87
Figura 26. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 3.	87
Figura 27. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 3.	88
Figura 28. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 3.	88
Figura 29. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 3.	89
Figura 30. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 12.	89
Figura 31. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 12.	90
Figura 32. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 12.	90
Figura 33. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 12.	91
Figura 34. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 15.	91
Figura 35. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 15.	92
Figura 36. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 15.	92
Figura 37. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 15.	93
Figura 38. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 17.	93
Figura 39. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 17.	94
Figura 40. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 17.	94
Figura 41. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 17.	95
Figura 42. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 5.	96
Figura 43. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 5.	96
Figura 44. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 5.	97
Figura 45. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 5.	97

Figura 46. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 6.	98
Figura 47. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 6.	98
Figura 48. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 6.	99
Figura 49. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 6.	99
Figura 50. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 8.	100
Figura 51. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 8.	100
Figura 52. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 8.	101
Figura 53. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 8.	101
Figura 54. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 16.	102
Figura 55. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 16.	102
Figura 56. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 16.	103
Figura 57. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 16.	103
Figura 58. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 22.	104
Figura 59. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 22.	104
Figura 60. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 22.	105
Figura 61. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 22.	105
Figura 62. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 4.	106
Figura 63. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 4.	106
Figura 64. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 4.	107
Figura 65. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 4.	107
Figura 66. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 7.	108
Figura 67. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 7.	108
Figura 68. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 7.	109
Figura 69. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 7.	109

Figura 70. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 9.	110
Figura 71. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 9.	110
Figura 72. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 9.	111
Figura 73. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 9.	111
Figura 74. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 10.	112
Figura 75. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 10.	112
Figura 76. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 10.	113
Figura 77. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 10. ...	113
Figura 78. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 13.	114
Figura 79. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 13.	114
Figura 80. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 13.	115
Figura 81. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 13. ...	115
Figura 82. Ubicación en la cantera de cada muestra de roca extraída.	116
Figura 83. Coordenadas y altura de la cantera Cerro Negro	117
Figura 84. Extracción de núcleos de roca.....	117
Figura 85. Ensayo de compresión en probeta de roca.	118
Figura 86. Obtención de muestras de agregado.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Módulos de Elasticidad de Agregados del Ecuador	19
Tabla 2. Resultados de FRX del agregado	24
Tabla 3. Tipos de roca presentes en el agregado	36
Tabla 4. Dimensiones y relación L/D de probetas.....	37
Tabla 5. Esfuerzo máximo de las rocas.	38
Tabla 6. Valores de módulos de elasticidad del agregado.....	42
Tabla 7. Análisis ANOVA del módulo de elasticidad.....	43
Tabla 8. Densidad del agregado.....	44
Tabla 9. Peso y volumen de agregado en muestras cilíndricas (Proceso 1).	44
Tabla 10. Volumen de roca en el agregado (Proceso 1).	45
Tabla 11. Peso y volumen de agregado en muestras cilíndricas (Proceso 2).	46
Tabla 12. Volumen de roca en el agregado (Proceso 2)	46
Tabla 13. Análisis ANOVA del volumen.....	47
Tabla 14. Tipos de roca que se encuentran en el Ecuador.....	48
Tabla 15. Datos de probeta andesita N° 2	55
Tabla 16. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 2.	56
Tabla 17. Datos de probeta andesita N° 3	57
Tabla 18. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 3.	58
Tabla 19. Datos de probeta andesita N° 12	59
Tabla 20. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 12	60
Tabla 21. Datos de probeta andesita N° 15	61
Tabla 22. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 15	62
Tabla 23. Datos de probeta andesita N° 17	63

Tabla 24. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 17	64
Tabla 25. Datos de probeta dacita N° 5	65
Tabla 26. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 5	66
Tabla 27. Datos de probeta dacita N° 6	67
Tabla 28. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 6	68
Tabla 29. Datos de probeta dacita N° 8	69
Tabla 30. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 8	70
Tabla 31. Datos de probeta dacita N° 16	71
Tabla 32. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 16	72
Tabla 33. Datos de probeta dacita N° 22	73
Tabla 34. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 22	74
Tabla 35. Datos de probeta de toba N° 4	75
Tabla 36. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 4	75
Tabla 37. Datos de probeta de toba N° 7	77
Tabla 38. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 7	77
Tabla 39. Datos de probeta de toba N° 9	79
Tabla 40. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 9	79
Tabla 41. Datos de probeta de toba N° 10	81
Tabla 42. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 10	81
Tabla 43. Datos de probeta de toba N° 13	83
Tabla 44. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 13	83

RESUMEN

De acuerdo a la norma NEC-SE-HM, sección 3.3.3, el módulo de elasticidad del concreto (E_c) se calcula con la expresión $E_c = 1.15 * \sqrt[3]{E_a} * \sqrt{f'_c}$, donde E_a es el módulo elástico del agregado. Dado que en el cantón Riobamba no se dispone de un valor típico de E_a , en el presente trabajo se estima el valor del módulo elástico del agregado con lo cual se aporta una alternativa para el cálculo de E_c conforme a lo indicado a la norma. Por medio de mapas geológicos y usando el método macroscópico se identificó los tipos de roca existentes en el agregado que se distribuye en el sector Cerro Negro, obteniendo así andesitas, dacitas y tobas. Los métodos aplicados para la ejecución de los ensayos de preparación de muestra y ensayo a compresión se basaron en las normas ASTM. Para encontrar el valor de E_a se prepararon probetas de roca, para de este modo aplicar carga y así determinar la deformación unitaria y obtener la curva esfuerzo deformación, obteniendo el módulo de elasticidad a 25, 50, 75 y 100% de la carga aplicada de cada una de las probetas ensayadas. Considerando que el agregado está formado por andesitas, dacitas y tobas, para el valor de E_a se plantea una ecuación que toma en cuenta el volumen y el módulo de elasticidad de cada roca que compone el agregado, a su vez se da valores para E_a . Los resultados de módulo de elasticidad y volumen obtenidos fueron validados por un análisis estadístico ANOVA.

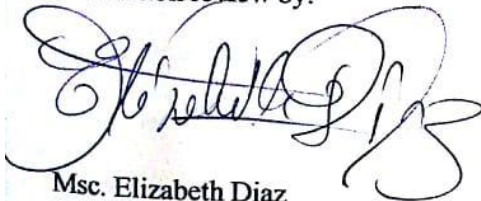
Palabras clave: módulo de elasticidad del agregado, tipos de roca, esfuerzo, deformación unitaria.

ABSTRACT

According to the NEC-SE-HM standard, section 3.3.3, the concrete elasticity modulus (E_c) is calculated with $E_c = 1.15^3 \sqrt{E_a} * \sqrt{f'c}$ expression, where E_a is the elastic modulus of the aggregate. Since in Riobamba city a typical E_a value is not available, in this work the value of the elastic modulus of the aggregate is estimated, this will provide an alternative for calculating E_c according to the standard indicator. Using geological maps and using the macroscopic method, the types of rock in the aggregate that is distributed in the Cerro Negro sector was identified, thus obtaining andesites, dacites and tuffs. The methods applied to perform the sample preparation trial and the compression trial were based on ASTM standards. To find the E_a value, rock specimens were prepared, to apply load and determine the strain unit and obtain the deformation stress curve, obtaining the modulus of elasticity at 25, 50, 75 and 100% of the applied load of each specimen tested. Considering that the aggregate is formed by andesites, dacites and tuffs, for the E_a value an equation that considers the volume and the modulus of elasticity of each rock that composes the aggregate was posed, values for E_a were given in turn. The modulus of elasticity and volume results obtained were validated by an ANOVA statistical analysis.

Keywords: modulus of elasticity of the aggregate, rock types, stress, unit deformation.

Translation review by:



Msc. Elizabeth Diaz



1. INTRODUCCIÓN

En conformidad al acuerdo ministerial 0028 expedido por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), las autoridades competentes, tienen la obligación de hacer cumplir las normas NEC en todas las etapas integrantes del proceso constructivo, y especialmente, ordenar la realización de los ensayos y pruebas que determinen las excelentes propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados y verificar que éstos cumplan con las especificaciones y normativa correspondiente (MIDUVI, 2014).

En el año 2015 se publicó la última actualización de la NEC, en donde se manifiesta el capítulo referente a Estructuras de Hormigón Armado (NEC-SE-HM), el cual contempla el análisis y dimensionamiento de los elementos estructurales de hormigón armado para edificaciones, en cumplimiento con las especificaciones técnicas de normativa nacional e internacional.

El concreto no tiene un módulo de elasticidad bien definido, su valor varía con las diferentes resistencias del concreto, con la edad de éste, con el tipo de carga, las características y proporciones del cemento y los agregados (Mc Cormac & Brown, 2011).

Para estimar el módulo de elasticidad del hormigón (E_c), la NEC-SE-HM, establece dos ecuaciones para el cálculo del E_c . La primera ecuación se define en función de valores típicos de módulos de elasticidad de algunos agregados (E_a) que se encuentran en el Ecuador; específicamente los procedentes de las ciudades de Guayaquil, Portoviejo, Quito, Machala, y Ambato. De acuerdo a la misma norma, este método presenta una mejor estimación del E_c .

En la ciudad de Riobamba una de las canteras más importantes de distribución de agregado es la que se encuentra en Cerro Negro (Hermanos Castro), que es la única

procesadora de agregado triturado para hormigón de venta al público en dicha zona, esta cantera tiene una extensión de 10 hectáreas, de las cuales aún tiene dos hectáreas por explotar, por lo cual es sumamente importante ampliar la información acerca de los valores de módulos de elasticidad para los agregados que se utilizan en la fabricación de hormigón a nivel local.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el módulo de elasticidad del agregado (E_a), del sector Cerro Negro de la ciudad de Riobamba.

2.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar los valores de esfuerzo y deformación unitaria de probetas de roca y representarlos gráficamente en la curva Esfuerzo vs Deformación.
- Realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos.
- Establecer los parámetros en que influyen en el valor de módulo de elasticidad del agregado que se distribuye en el sector Cerro Negro.
- Comparar el resultado obtenido con los valores de módulos de elasticidad que se encuentran especificados en la norma NEC-SE-HM.

3. MARCO TEÓRICO

El módulo de elasticidad es una propiedad que representa la rigidez del hormigón y su valor, depende directamente de las siguientes condiciones:

- Contenido de los agregados de la mezcla
- Resistencia de la pasta de cemento
- Adherencia entre agregado – pasta
- Módulo de elasticidad del agregado

(Camposano Luque, 2016)

Los agregados son la parte mayoritaria en el concreto ocupan el 75% de su volumen y su influencia es de primer orden en el comportamiento del concreto tanto en su estado fresco como endurecido. Los agregados pueden limitar la resistencia del concreto, pero más frecuentemente afectan la durabilidad y el comportamiento estructural del concreto (Cottier Caviedes, 1995).

MÓDULO DE ELASTICIDAD DE AGREGADOS EN ECUADOR

En la siguiente tabla, se presentan valores típicos del módulo de elasticidad de los agregados, que se encuentran en el Ecuador:

Tabla 1. Módulos de Elasticidad de Agregados del Ecuador

Tipo	Procedencia	Ea (GPa)
Caliza (Formación. San Eduardo)	Guayaquil - Guayas	67.9
Chert (Formación. Guayaquil)	Guayaquil - Guayas	15.8
Diabasa (Formación. Piñón)	Chivería - Guayas	89.3
Tonalita	Pascuales - Guayas	74.9
Basalto (Formación. Piñón)	Picoazá – Manabí	52.5
Basalto	Pifo - Pichincha	27.2
Ígnea (Andesitas, basaltos, granodioritas)	Rio Jubones – El Oro	110.5
Volcánica	La Península – Tungurahua	17.5

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

Así, dentro de la norma NEC-SE-HM encontramos estos datos de agregados de las distintas ciudades del Ecuador, sin embargo, se puede apreciar la variación de los datos de una ciudad a otra, lo que significa que las propiedades físicas y mecánicas de los agregados que se utilizan en la fabricación del hormigón, son distintas en las diferentes zonas del país, lo cual influyen directamente en las propiedades y comportamiento mecánico del hormigón.

GEOLOGÍA DEL SECTOR CERRO NEGRO

En el mapa geológico de la república del Ecuador del año 2017, se muestra que la ciudad de Riobamba se encuentra sobre el suelo Facie distal (Q_D), que está compuesto por piroclastos retrabajados (cangahua) y primarios (tefra, flujos piroclásticos, ignimbritas), lahares y avalanchas de escombros.

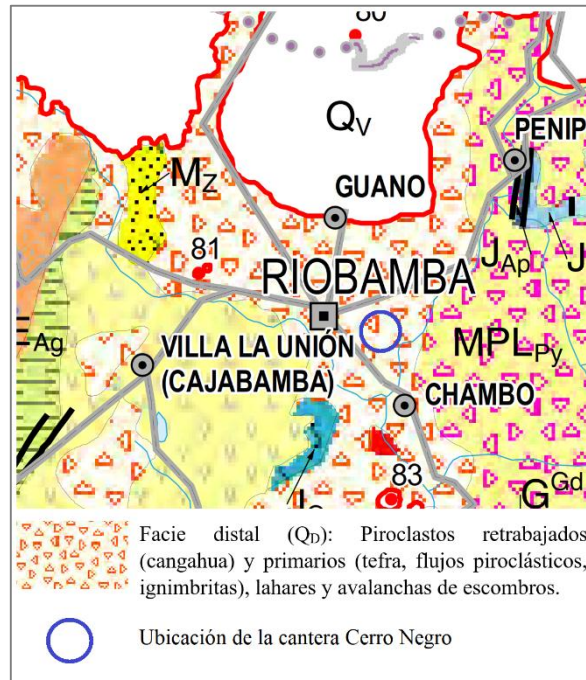


Figura 1. Mapa geológico del Ecuador, sector Riobamba

Fuente: (Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico, 2017)

Analizando el perfil geológico más próximo a la cantera Cerro Negro, debajo de la capa P_R se encuentran las capas P_{IP} (andesita y aglomerado) y P_{IS} (toba, aglomerado, andesita), ubicadas aproximadamente entre los 2000 y 2800 msnm.

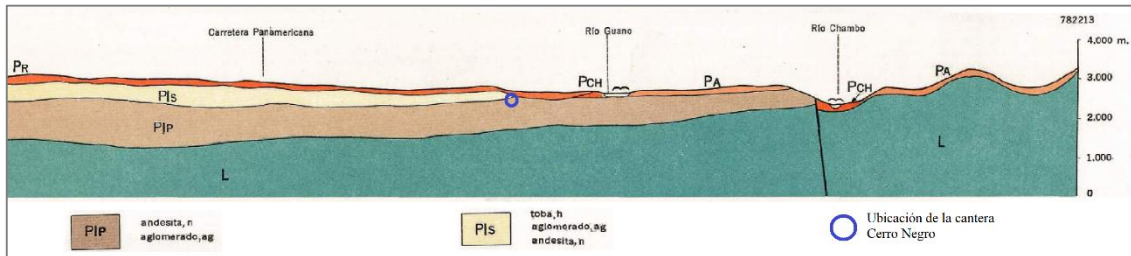


Figura 3. Perfil geológico

Fuente: (Ministerio de recursos naturales y energéticos, 1976)

La cantera Cerro Negro se encuentra ubicada a una altura de 2716 msnm, por lo que se asume que está ubicada entre las capas de suelo P_R, P_{IP} y P_{IS}, mismas que están compuestas mayormente por rocas andesitas que según definición corresponden a rocas ígneas.

TIPOS DE ROCAS

Las rocas empleadas en la elaboración del hormigón no son de un tipo específico, por lo que depende de los requerimientos del diseño, a ello se debe sumar las características de la roca dependiendo de la zona donde se encuentre. En el sector Cerro Negro existen varios tipos de roca, las que se detallan a continuación.

Las andesitas son rocas ígneas volcánicas que se forman cuando el magma es expulsado hacia la superficie y se cristaliza rápidamente, tiene textura de grano fino, de color azulado, gris, rosado, amarillo, es usado en la industria de la construcción como agregados de construcción, adoquines, agregado en carreteras (SoftSvista, 2018). Los cristales de plagioclasa son muy abundantes y se puede observar a simple vista al igual

que el cuarzo, tiene un contenido en SiO_2 oscila en torno al 60% (Gonzales Cárdenas, 2016).

La dacita es una roca ígnea volcánica, formada por la subducción de la corteza oceánica joven bajo una placa continental, este tipo de roca está compuesta por cuarzo y sodio, tiene textura de grano fino o medio, pueden ser de color azulado, gris o rojo, es usado mayormente como agregado en construcción, su contenido en SiO_2 está entre 63 y 68% (SoftSvista, 2018),

La toba volcánica se forma del producto de erupciones volcánicas violentas y el magma al asentarse en la superficie tiene un proceso rápido de enfriamiento, son consideradas como rocas ígneas y se caracterizan por su consistencia porosa y liviana, su uso es principalmente en la construcción, la composición puede variar de acuerdo a los minerales que intervienen en la formación (Álvarez, 2016).

El basalto es una roca ígnea volcánica, se identifica como una roca de color oscura, con alto contenido de hierro y magnesio, tienen una textura porfídica es decir no existe una diferencia clara entre las partículas grandes y pequeñas, es usado principalmente en el ámbito de la construcción (Álvarez, 2016).

Se presenta el análisis realizado por (García, 2016) donde el agregado fue estudiado mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX), con esto se logra determinar la composición elemental de una muestra, consiguiendo medir el espectro de la fluorescencia característica de rayos X que emiten diferentes elementos dentro de la muestra, en la tabla 2 se muestra la proporción relativa del agregado distribuido en la cantera Cerro Negro.

Tabla 2. Resultados de FRX del agregado

Componente	Notación	%
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	17
Óxido de silicio	SiO ₂	63.4
Azufre	S	0.0092
Óxido de potasio	K ₂ O	1.78
Óxido de calcio	CaO	5.8
Óxido de titanio	TiO ₂	0.709
Óxido de vanadio	V ₂ O ₅	0.026
Óxido de cromo	Cr ₂ O ₃	0.0533
Óxido de manganeso	MnO	0.14
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	5.28
Óxido de cinc	ZnO	0.0105
Óxido de arsénico	As ₂ O ₃	0.0062
Rubidio	Rb	0.0065
Estroncio	Sr	0.0892
Óxido de circonio	ZrO ₂	0.0203
Óxido de estaño	SnO ₂	0.144
Óxido de antimonio	Sb ₂ O ₃	0.426
Óxido de cerio	CeO ₂	0.0203
Óxido de wolframio	WO ₃	0.144
Óxido de plomo	PbO	0.426

Fuente: (García, 2016)

LEY DE LAS MEZCLAS

El agregado pétreo que se distribuye en el sector Cerro Negro, se compone de andesitas, dacitas y tobas, pero al determinar el valor de módulo de elasticidad para cada una de las rocas se estableció que hay diferencias en volumen y módulo de elasticidad entre cada tipo de roca, por lo que no se puede promediar para obtener un valor en conjunto, es por eso que es necesario aplicar la ley de las mezclas.

La ley de las mezclas fue propuesta por Voigt está en base a la ley de Hooke que viene dada por:

$$V = V_A + V_D + V_T$$

Los subíndices A, D, T representan cada tipo de roca que compone el agregado, andesitas, dacitas y tobas respectivamente.

De forma análoga, la masa del elemento está dada por:

$$M = M_A + M_D + M_T$$

Siendo ρ_A, ρ_D, ρ_T las densidades de los agregados, se puede expresar:

$$M = \rho_A V_A + \rho_D V_D + \rho_T V_T$$

Para calcular el Módulo de elasticidad E se puede considerar la acción de una fuerza F , según se observa en la figura siguiente:

$$F = \sigma * A$$

Donde σ es la tensión a lo largo de la sección recta $A = L^2$.

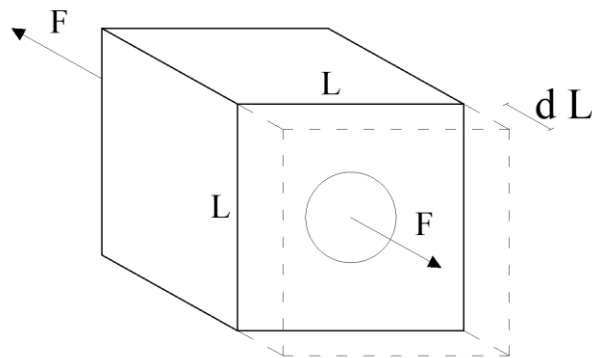


Figura 4. Elemento sujeto a una fuerza F_1

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

La fuerza se transmite a cada uno de los componentes de la mezcla. Teniendo A_A, A_D, A_T son las áreas de las secciones rectas de los agregados, tenemos que:

$$\sigma A = \sigma_A A_A + \sigma_D A_D + \sigma_T A_T$$

Esto representa el equilibrio de fuerzas en el elemento.

A través la Ley de Hooke, la tensión normal del elemento σ , de los agregados $\sigma_A, \sigma_D, \sigma_T$, se expresan:

$$\sigma = E * \varepsilon$$

$$\sigma_A = E_A * \varepsilon_A$$

$$\sigma_D = E_D * \varepsilon_D$$

$$\sigma_T = E_T * \varepsilon_T$$

Donde E, E_A, E_D, E_T son los módulos de elasticidad del compuesto, de cada uno de los componentes respectivamente. Sustituyendo se obtiene:

$$E * \varepsilon * A = E_A * \varepsilon_A * A_A + E_D * \varepsilon_D A_D + E_T * \varepsilon_T A_T$$

$$E * \varepsilon = \frac{A_A}{A} E_A * \varepsilon_A + \frac{A_D}{A} E_D * \varepsilon_D + \frac{A_T}{A} E_T * \varepsilon_T$$

Voigt asume una deformación constante cuando se aplica una carga axial sobre el compuesto, aplicando este concepto se obtiene el módulo de elasticidad en conjunto.

$$\varepsilon = \varepsilon_A = \varepsilon_D = \varepsilon_T$$

$$E = \frac{A_A}{A} E_A + \frac{A_D}{A} E_D + \frac{A_T}{A} E_T$$

También podemos escribir:

$$E = E_A V_A + E_D V_D + E_T V_T$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad de la mezcla.

E_A = Módulo de elasticidad de la andesita.

E_D = Módulo de elasticidad de la dacita.

E_T = Módulo de elasticidad de la toba.

V_A = Volumen de la andesita.

V_D = Volumen de la dacita.

V_T = Volumen de la toba.

4. METODOLOGÍA

El proceso metodológico realizado en esta investigación se muestra en el esquema gráfico, donde se detalla de manera general los pasos de la misma:



Figura 5. Esquema de metodología de la investigación.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

La revisión bibliográfica de la presente investigación se utilizó buscadores como Scopus, Google Académico, Google donde se obtuvo información de libros de diseño de concreto armado, normas técnicas, artículos científicos, mismas que sirvió de base para el desarrollo de una metodología útil en el desarrollo de la investigación.

Dentro de la búsqueda bibliográfica se investigó información específica sobre el módulo de elasticidad del agregado, usando palabras claves como: módulo de elasticidad, influencia del agregado en el concreto, elasticidad en rocas y ensayos para determinar el módulo de elasticidad.

4.1 Equipos

Se ejecutó la extracción de los núcleos de roca con un extractor de 4.8 hp, a su vez se utilizó en conjunto una broca de 3 plg.

La medición de las deformaciones longitudinales se realizó a través de un compresómetro/extensómetro y la aplicación de carga por medio de una prensa hidráulica de 1780 kN con ayuda de herramienta menor.



Figura 6. Extractor de núcleos y broca

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando



Figura 7. Compresómetro/extensómetro

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

4.2 Métodos

- Muestreo de rocas

En el proceso de muestreo del agregado triturado que se procesa en el sector Cerro Negro se aplicó la norma NTE INEN 695, mediante un proceso aleatorio, se obtuvo tres porciones de agregado para formar una sola muestra, este proceso se ejecutó cinco veces.

Para extraer las probetas se escogió aleatoriamente rocas que estaban distribuidas dentro de toda la cantera como se indica en el anexo 7.

- Método de reducción de muestras a tamaño de ensayo

Posterior al proceso de muestreo, para la reducción de muestra se aplicó el método A de la norma INEN 2 566. De 25 kg de árido la muestra se redujo usando un separador mecánico, de tal manera que el agregado ocupe un molde para cilindro de hormigón de 15 x 30 cm.



Figura 8. Separador mecánico para reducción de muestra

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

- Determinación del tipo de roca

Según el mapa geológico 2017 del Ecuador entregado por el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico y los mapas de 1976 del Ministerio de Recursos Naturales, la ciudad de Riobamba se encuentra en un sector donde el suelo es un conglomerado y compuesta principalmente por andesitas, por esta razón, previo al proceso de muestreo realizado durante cinco días, se realizó un estudio macroscópico identificando visualmente las características de las rocas existentes, para así determinar de qué tipo de roca proviene el agregado que se procesa en la cantera Cerro Negro, mismos que se muestran en la figura 9.

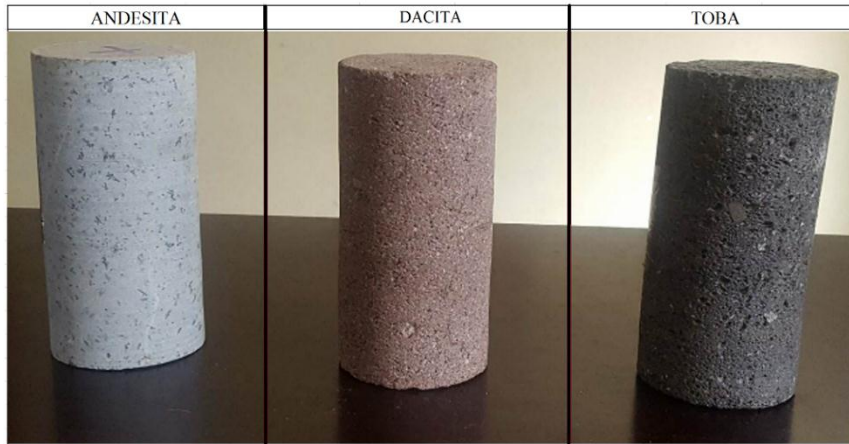


Figura 9. Tipos de roca de la cantera Cerro Negro

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

El agregado también se compone de basaltos y otras rocas, pero no fueron tomadas en cuenta debido a que no se encontraban presente en todas las muestras usadas en el proceso de muestreo y reducción de muestra del agregado.

Las rocas del agregado presentaban homogeneidad en su composición tal y como se muestra en la figura 10, es por ello que se analizará cada roca de forma individual.



Figura 10. Agregado triturado de la cantera Cerro Negro

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

- Número de muestras de núcleo de roca

En el proceso de extracción de núcleos se logró obtener 22 muestras de roca; de las cuales, para identificar el número de muestras a usar en los ensayos se basó en la norma

ASTM D 3148 la cual indica que se realizó un estudio de cinco especímenes de cada tipo de roca en un mismo laboratorio, obteniendo así una probabilidad aproximada del 95% que no difiera el límite de repetibilidad y reproducibilidad (ASTM D3148, 2002). Es por esta razón que se aplicó el mismo concepto y por cada tipo de roca identificada se escogió cinco muestras de núcleo de rocas, consiguiendo así un total de 15 especímenes a ensayar.



Figura 11. Extracción de núcleos de roca

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

- **Preparación de núcleos de roca**

La extracción y preparación de núcleos de roca se realizó siguiendo las especificaciones que se presenta en la norma ASTM D 4543. La relación de longitud / diámetro (L / D) es de 2 y un diámetro de 69 mm aproximadamente, variando este valor en el proceso de extracción.

- **Resistencia máxima de la roca**

Una de las características más importantes a estipular en los materiales es la resistencia a la compresión, por este motivo se realizó un ensayo que permita determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial o resistencia a la compresión simple, aplicando carga a probetas cilíndricas de roca hasta llegar a la rotura.

- Determinación del módulo de elasticidad del agregado

En la determinación del módulo de elasticidad se siguió el proceso especificado en la norma ASTM D 3148 midiendo las deformaciones con el deformímetro de carátula del compresómetro/extensómetro y la carga aplicada con la prensa hidráulica.

Posterior a esto se tabuló los resultados para graficar la curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria de cada probeta.

Obtenida las curvas de Esfuerzo vs Deformación Unitaria, se procedió a elegir el método más factible de los tres que nos presenta la norma ASTM D 3148, analizando así, que el método más idóneo para los datos obtenidos es el (b) para obtener el módulo promedio de la porción lineal.

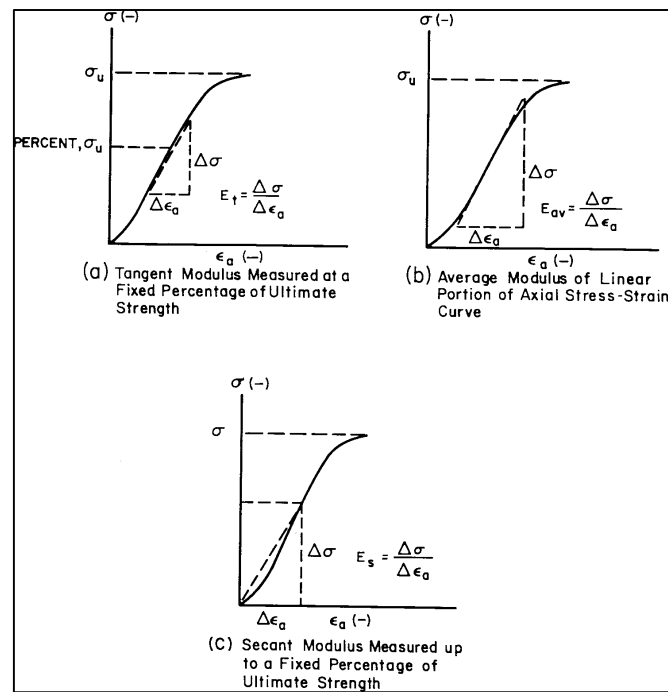


Figura 12. Métodos para calcular el módulo de Young a partir de la curva de tensión axial

Fuente: (ASTM D3148, 2002)

La norma ASTM D 3148 indica que los valores del módulo elástico se determinarán a niveles de tensión iguales al 25, 50 y 75% de la resistencia a la compresión, no obstante,

en la investigación realizada no se logró llegar a la resistencia final de las probetas para precautelar que el equipo no reciba daños, es por ello que para la obtención de los valores de módulo de elasticidad se determinó a 25, 50, 75 y 100% de la resistencia a la compresión aplicada a las probetas.

Para obtener el valor de módulo de elasticidad se utilizó el software Excel 2016 para determinar la línea de tendencia, consiguiendo así la pendiente de la recta, la cual corresponde al valor de módulo de elasticidad.

- **Determinación del módulo de elasticidad del conglomerado**

Para determinar el volumen de la andesita, dacita y toba existente en el concreto, con el proceso muestreo y reducción de la muestra, se tomó especímenes de agregado en moldes cilíndricos para hormigón de 15 x 30 cm.



Figura 13. Agregado colocado en molde de cilindro

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

Para una efectiva evaluación se calculó el volumen del agregado de cada tipo de roca colocada en el cilindro, realizando dos procesos.

Proceso 1.- Se obtiene una muestra de agregado realizando el proceso durante cinco días.

Proceso 2.- Se extrae de la cantera cinco muestras de agregado en un mismo día,

Obtenidos los dos grupos de datos de volumen, se ejecutó la validación de los datos estadísticamente.

Halladas las propiedades necesarias para cada tipo de roca que compone el agregado, se procede a aplicar la ley de las mezclas propuesta por Voigt.

$$E = E_A * V_A + E_D * V_D + E_T * V_T$$

- **Método de validación estadístico de resultados**

Para el estudio estadístico con el uso del software Excel 2016, se ha empleado el análisis de la varianza de un factor (ANOVA) para verificar si hay diferencias significativas entre los datos de módulo de elasticidad y volumen, efectuando el análisis con un 95% de confiabilidad; adoptando como hipótesis nula que el promedio de cada grupo de módulo de elasticidad o volumen es igual, y a su vez la hipótesis alternativa que en al menos un grupo el promedio es distinto, con el 95% de confiabilidad.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La determinación de tipos de roca presentes en el agregado, se realizó en base a las muestras que se indica en la tabla 3, donde se marca (x) las rocas existentes en las muestras.

Tabla 3. Tipos de roca presentes en el agregado

Muestra	Tipo de roca				
	Andesita	Toba	Dacita	Basalto	Otros
1	x	x	x		x
2	x	x	x	x	
3	x	x	x		
4	x	x	x	x	x
5	x	x	x		

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

Al ser un conglomerado, el agregado se compone de varios tipos de roca, pero los que mayor dominio tienen en su composición son las andesitas, tobas y dacitas, debido a que los tres tipos de roca están presentes en todas las muestras obtenidas; los demás tipos de roca no se tomaron en cuenta para el desarrollo de esta investigación debido a que su influencia no va ser determinante en la elaboración de hormigón.

Para la aceptación de las probetas de roca extraídas, se verificó el cumplimiento de la relación entre la longitud y el diámetro L/D mínimo de 2, como se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones y relación L/D de probetas

Muestra	Tipo	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	L/D	Cumple
1	Andesita	139.20	68.93	2.02	Si
2	Andesita	138.63	69.25	2.00	Si
3	Andesita	139.10	69.24	2.01	Si
4	Toba	139.07	69.01	2.02	Si
5	Dacita	138.89	69.13	2.01	Si
6	Dacita	139.07	68.93	2.02	Si
7	Toba	140.09	69.06	2.03	Si
8	Dacita	138.96	69.12	2.01	Si
9	Toba	138.91	69.23	2.01	Si
10	Toba	140.18	68.92	2.03	Si
11	Dacita	137.02	69.01	1.99	No
12	Andesita	138.39	69.11	2.00	Si
13	Toba	139.96	68.85	2.03	Si
14	Andesita	137.15	68.95	1.99	No
15	Andesita	138.42	68.97	2.01	Si
16	Dacita	138.65	69.25	2.00	Si
17	Andesita	138.65	69.32	2.00	Si
18	Andesita	138.25	68.91	2.01	Si
19	Toba	138.74	69.73	1.99	No
20	Dacita	138.77	68.76	2.02	Si
21	Toba	137.19	69.24	1.98	No
22	Dacita	138.89	68.48	2.03	Si

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

De todas las muestras se excluyeron las probetas que no cumplían satisfactoriamente; a su vez, los especímenes 1, 18 y 20 a pesar de cumplir con las dimensiones necesarias para efectuar el ensayo, no están incluidas dentro de los análisis de módulo de elasticidad, debido a que fueron objeto de pre ensayos.

En la tabla 5 se indica el esfuerzo máximo a compresión de cada tipo de roca que compone el agregado.

Tabla 5. Esfuerzo máximo de las rocas.

Tipo de roca	Diámetro (mm)	Área (mm²)	Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)
Andesita	69.10	3750.40	151.50	0.0403957	40.40
Toba	69.16	3756.37	80.20	0.0213504	21.35
Dacita	69.07	3747.06	97.50	0.0260204	26.02

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

Los resultados de esfuerzo máximo, se tomaron en cuenta durante los ensayos para la determinación de módulo de elasticidad para no llegar a la falla de la probeta, y de este modo evitar que las partículas expulsadas al momento de la rotura puedan dañar los equipos.

Las condiciones de esfuerzo a las que fueron sometidas las probetas de roca para la determinación del módulo de elasticidad no llegaron a la resistencia final. En la figura 14 se muestra en curvas de Esfuerzo vs Deformación Unitaria el porcentaje de la resistencia aplicada con relación a la resistencia a la rotura, siendo 100% la resistencia final.

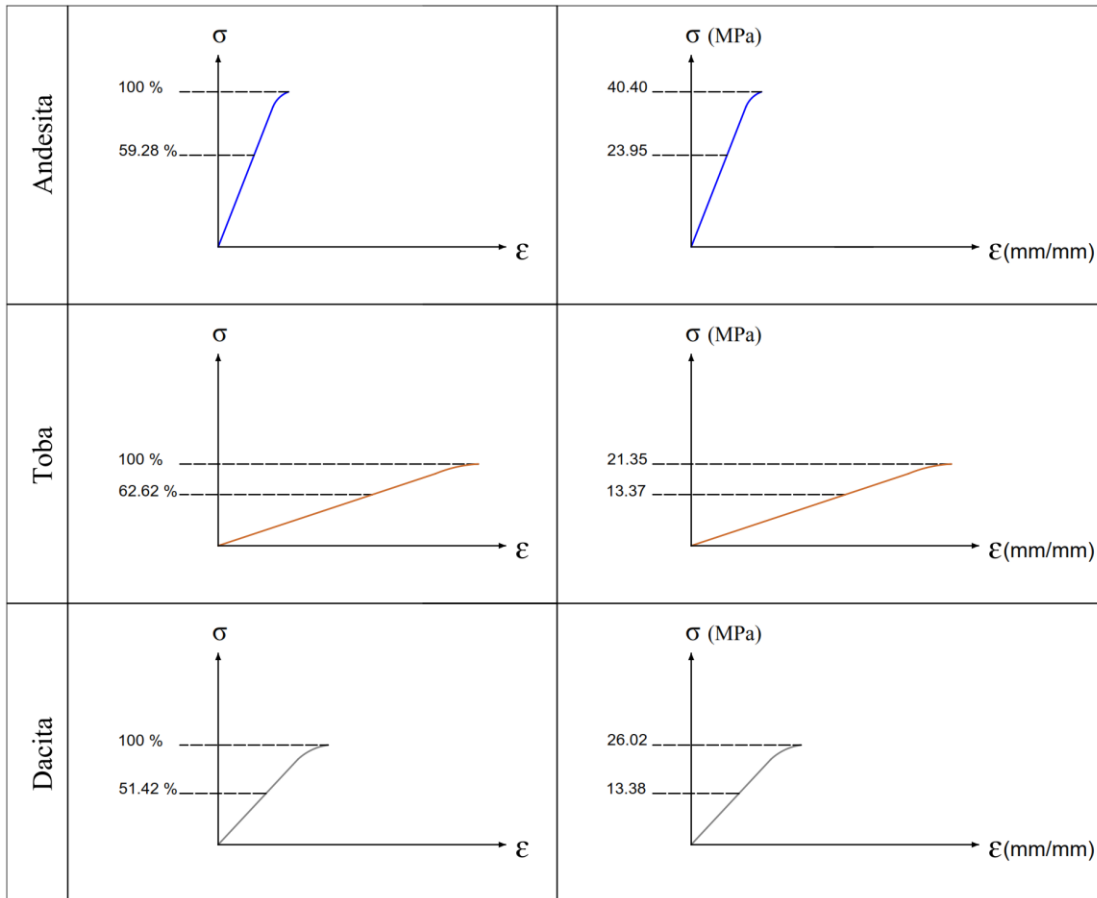


Figura 14. Esfuerzo final relacionado al esfuerzo aplicado

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

De acuerdo al esquema anterior, se deduce que para la andesita, toba y dacita se aplicó el 59.28, 62.62, 51.42 % de la resistencia final respectivamente.

Para el cálculo del módulo de elasticidad se determinó el módulo promedio de la porción lineal de la curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria, al 25%, 50%, 75% y 100% de la carga aplicada a las probetas. En las figuras 15, 16, 17 y 18, se muestran las curvas Esfuerzo vs Deformación Unitaria de los resultados representativos obtenidos en los ensayos para la determinación del módulo de elasticidad.

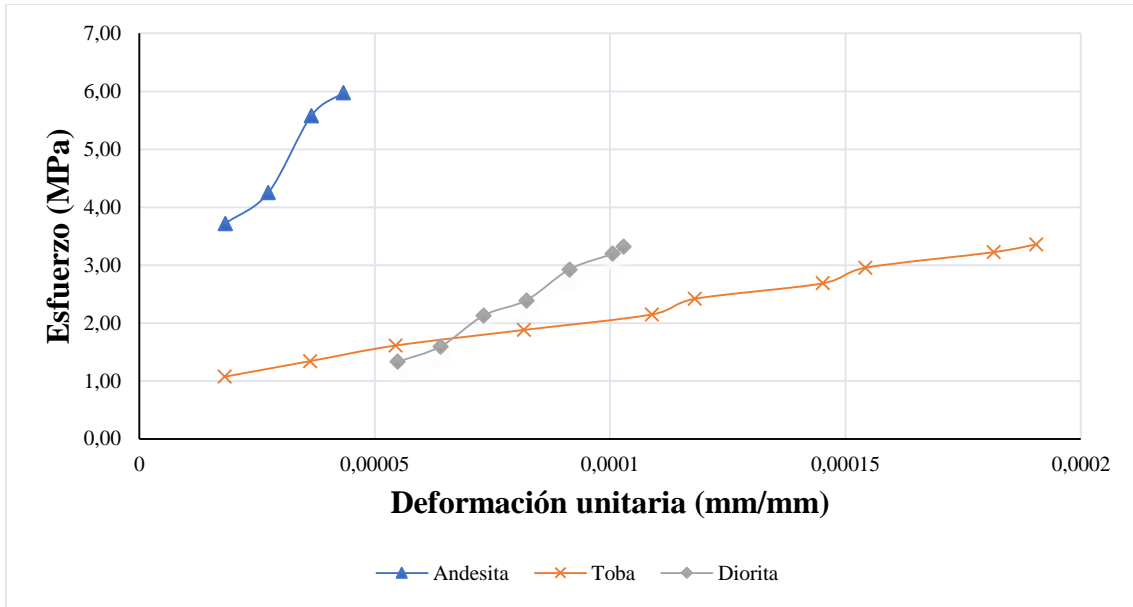


Figura 15. Resultados representativos al 25% de la carga aplicada

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

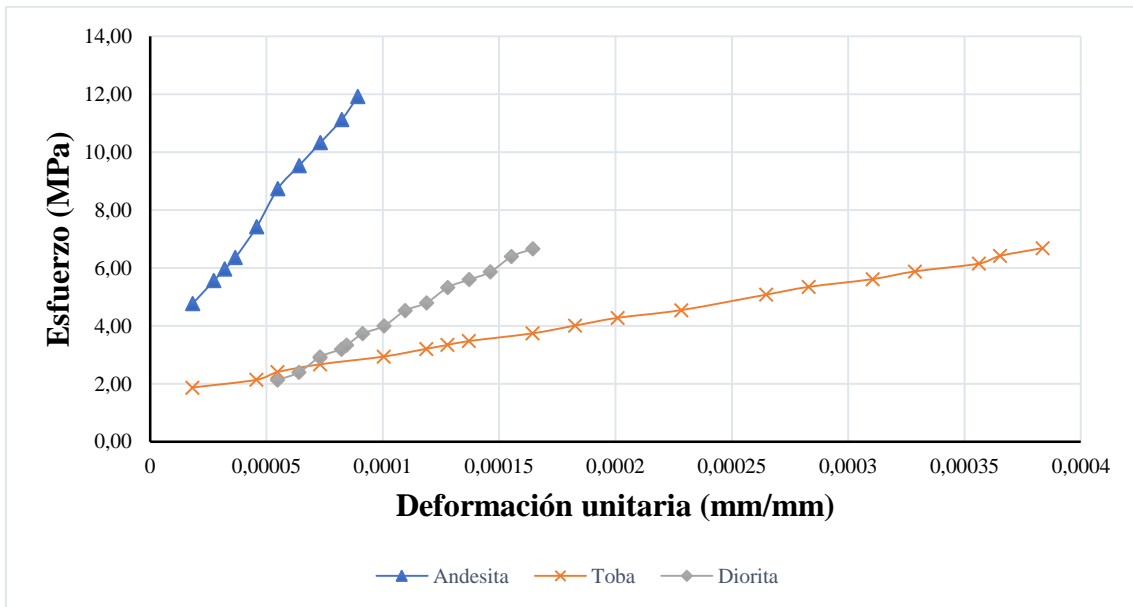


Figura 16. Resultados representativos al 50% de la carga aplicada

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

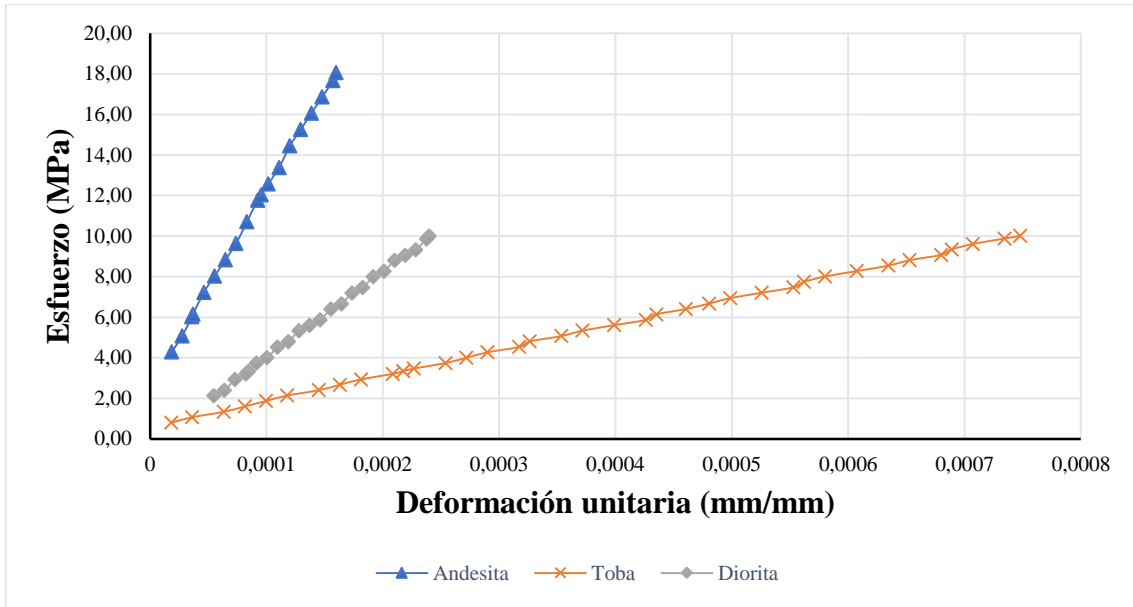


Figura 17. Resultados representativos al 75% de la carga aplicada

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

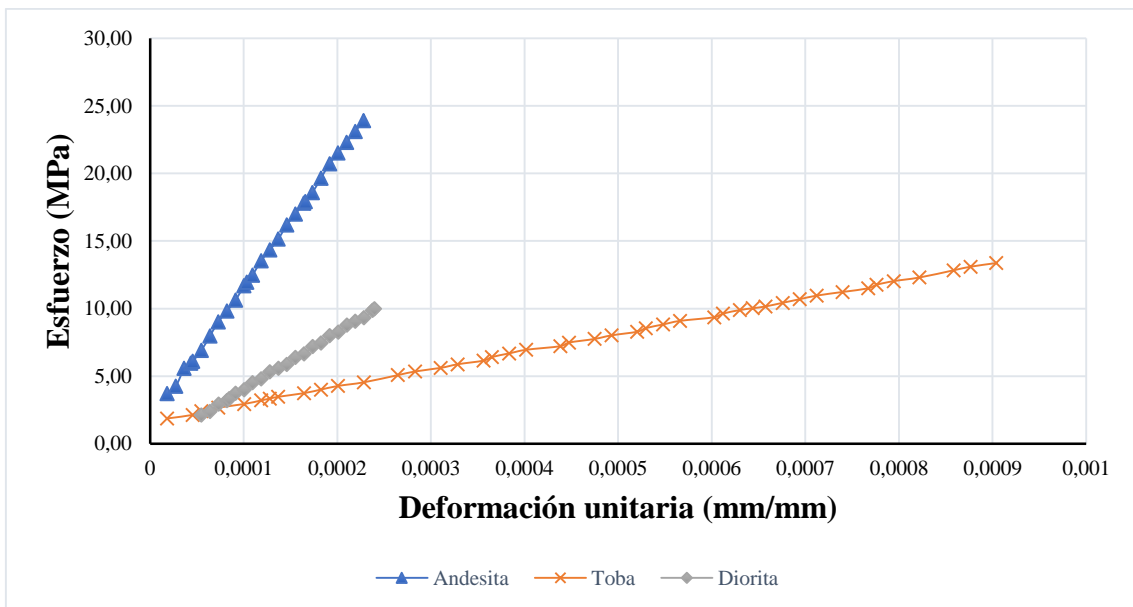


Figura 18. Resultados representativos al 100% de la carga aplicada

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

En la tabla 6, se muestra los resultados y el promedio total de módulo de elasticidad obtenidos en giga pascales para cada tipo de roca, al porcentaje de carga aplicada que se indica en la tabla.

Tabla 6. Valores de módulos de elasticidad del agregado.

Tipo	N° ensayo		Módulo de elasticidad (GPa)				Promedio
			25%	50%	75%	100%	
Andesita	1	Muestra 2	97.00	98.21	94.29	95.67	96.90
	2	Muestra 3	96.27	98.21	98.11	97.72	
	3	Muestra 12	99.60	92.60	94.98	95.91	
	4	Muestra 15	100.03	100.27	97.40	97.78	
	5	Muestra 17	89.92	98.01	97.96	97.96	
Toba	6	Muestra 4	13.49	12.91	12.99	13.01	12.90
	7	Muestra 7	12.75	12.64	12.99	12.63	
	8	Muestra 9	12.40	12.33	12.34	12.34	
	9	Muestra 10	13.18	13.31	13.29	13.28	
	10	Muestra 13	13.12	12.96	13.01	13.04	
Dacita	11	Muestra 5	42.44	43.00	43.22	42.22	42.20
	12	Muestra 6	43.13	41.58	41.91	42.20	
	13	Muestra 8	41.10	42.19	42.36	42.48	
	14	Muestra 16	44.08	43.80	43.03	42.91	
	15	Muestra 22	39.95	40.71	40.86	40.75	

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

Para cada curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria; en su porción lineal se nota una gran diferencia de pendiente por lo que el módulo de elasticidad varía notablemente en relación de uno a otro, siendo la andesita que tiene el módulo de elasticidad más elevado y la toba con el valor más bajo, del mismo modo en la resistencia final de la roca; esto podría variar debido a la composición mineral y de la disposición de las partículas que componen cada roca.

Para la validación estadística se muestra a continuación en la tabla 7 el análisis ANOVA para cada tipo de roca, donde F representa un valor estadístico de prueba, mismo que no deberá superar su valor crítico; a su vez la probabilidad será mayor a 0.05 para establecer que los datos tengan el 95% de confianza.

Tabla 7. Análisis ANOVA del módulo de elasticidad

Tipo	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Andesita	0.129	0.941	3.239
Toba	0.173	0.913	3.239
Dacita	0.024	0.995	3.239

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

Las probabilidades de los tres tipos de rocas que componen el agregado superan el valor de 0.05, por lo que no existe diferencias significativas en las medias de cada grupo de módulo de elasticidad determinadas al 25, 50, 75 y 100% de la carga aplicada, de este modo se acepta la hipótesis nula planteada donde el promedio de cada grupo de módulo de elasticidad es igual.

Aplicando la ley de las mezclas, el módulo de elasticidad del agregado triturado que se distribuye en el sector Cerro Negro está dado en forma general por la siguiente fórmula:

$$Ea = 96.90 * V_A + 42.20 * V_D + 12.90 * V_T$$

Donde:

Ea = Módulo de elasticidad del agregado (GPa)

V_A = Volumen de la andesita (%)

V_D = Volumen de la dacita (%)

V_T = Volumen de la toba (%)

Para establecer valores de módulo de elasticidad del agregado (Ea), se realizó el siguiente proceso.

Mediante un proceso de pesado y medición de cada una de las probetas usadas en la determinación del módulo de elasticidad mostrados en el anexo 1, 2 y 3; se determinó la densidad de los agregados, indicados en la tabla 8.

Tabla 8. Densidad del agregado

Tipo de roca	Densidad (kg/m³)					Promedio (kg/m³)
Andesita	2553.02	2555.04	2556.38	2532.91	2549.29	2549.33
Dacita	2163.74	2164.07	2159.49	2159.87	2165.86	2162.61
Toba	1918.92	1917.39	1925.32	1915.98	1920.98	1919.72

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

Para determinar el volumen se obtuvo muestras aplicando el proceso 1 (Muestras 1,2,3,4,5) estableciendo el peso y volumen de cada tipo de roca indicados en la tabla 9.

Tabla 9. Peso y volumen de agregado en muestras cilíndricas (Proceso 1).

Muestra	Tipo de roca	Peso (kg)	Volumen (m³)	Volumen (%)
1	Andesita	6.775	0.0026576	86.54
	Dacita	0.456	0.0002109	6.87
	Toba	0.389	0.0002026	6.60
	Total	7.620	0.0030711	100.00
2	Andesita	7.061	0.0027697	87.22
	Dacita	0.336	0.0001554	4.89
	Toba	0.481	0.0002506	7.89
	Total	7.878	0.0031757	100.00
3	Andesita	6.979	0.0027376	90.36
	Dacita	0.162	0.0000749	2.47
	Toba	0.417	0.0002172	7.17
	Total	7.558	0.0030297	100.00
4	Andesita	6.853	0.0026882	88.18
	Dacita	0.315	0.0001457	4.78
	Toba	0.412	0.0002146	7.04
	Total	7.580	0.0030484	100.00
5	Andesita	7.209	0.0028278	93.80
	Dacita	0.187	0.0000865	2.87
	Toba	0.193	0.0001005	3.33
	Total	7.589	0.0030148	100.00

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

En la tabla 10, a partir de muestras tomadas durante cinco días, se presenta los resultados finales de volumen de cada tipo de roca que compone el agregado expresado en porcentaje, obtenidas a partir de su densidad.

Tabla 10. Volumen de roca en el agregado (Proceso 1).

Tipo de roca	Volumen (%)
Andesita	89.22
Toba	6.40
Dacita	4.38

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

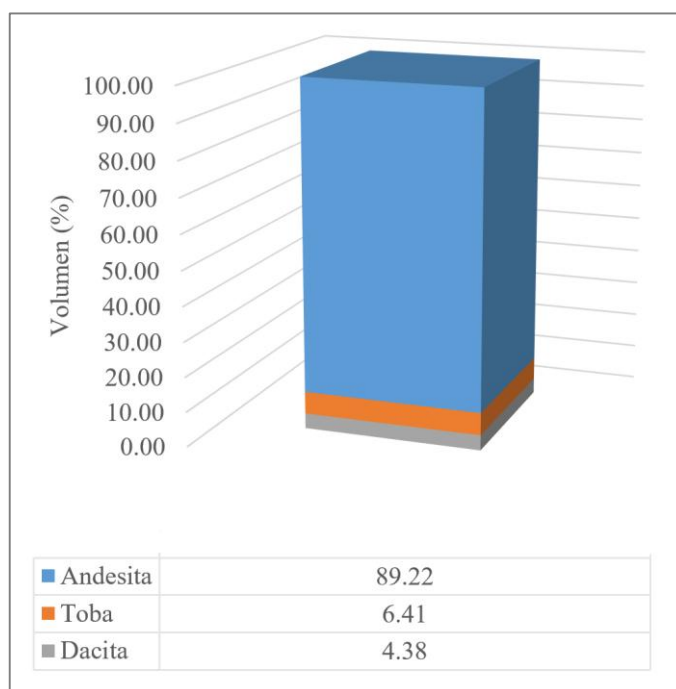


Figura 19. Porcentaje de cada roca en el agregado (Proceso 1)

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Mediante el proceso 2 con un muestreo aleatorio se obtuvo cinco muestras de agregado (Muestras 6,7,8,9,10), mismas que fueron tomadas en un solo día, los resultados de volumen de cada roca se indican en la tabla 11.

Tabla 11. Peso y volumen de agregado en muestras cilíndricas (Proceso 2).

Muestra	Tipo de roca	Peso (kg)	Volumen (m3)	Volumen (%)
6	Andesita	6.143	0.0024097	81.68
	Dacita	0.440	0.0002035	6.90
	Toba	0.647	0.0003370	11.42
	Total	7.230	0.0029501	100.00
7	Andesita	7.187	0.0028192	86.00
	Dacita	0.160	0.0000740	2.26
	Toba	0.739	0.0003850	11.74
	Total	8.086	0.0032781	100.00
8	Andesita	6.461	0.0025344	92.69
	Dacita	0.109	0.0000504	1.84
	Toba	0.287	0.0001495	5.47
	Total	6.857	0.0027343	100.00
9	Andesita	6.965	0.0027321	88.25
	Dacita	0.299	0.0001383	4.47
	Toba	0.433	0.0002256	7.29
	Total	7.697	0.0030959	100.00
10	Andesita	7.120	0.0027929	89.34
	Dacita	0.503	0.0002326	7.44
	Toba	0.193	0.0001005	3.22
	Total	7.816	0.0031260	100.00

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

En la tabla 12, a partir de muestras tomadas un mismo día, se presenta los resultados de volumen de cada tipo de roca que compone el agregado expresado en porcentaje, obtenidas a partir de su densidad.

Tabla 12. Volumen de roca en el agregado (Proceso 2)

Tipo de roca	Volumen (%)
Andesita	87.59
Toba	4.58
Dacita	7.83

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

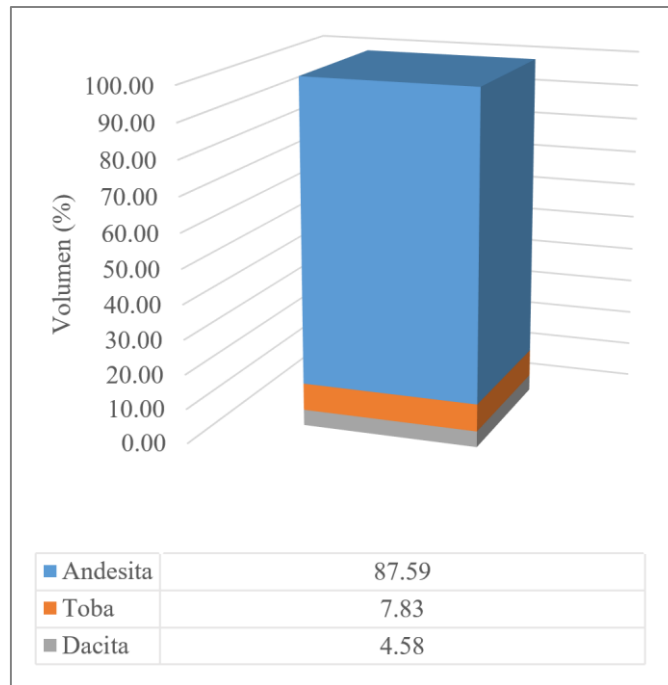


Figura 20. Porcentaje de cada roca en el agregado (Proceso 2)

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Para verificar que los datos no varíen significativamente, se realizó un análisis estadístico ANOVA entre los datos de volumen determinado por cinco días y los que se obtuvo en muestras obtenidas en el mismo día, teniendo así la tabla 13.

Tabla 13. Análisis ANOVA del volumen.

Tipo	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Andesita	0.520	0.491	5.318
Toba	0.593	0.463	5.318
Dacita	0.0216	0.887	5.318

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

Las probabilidades de los tres tipos de rocas que componen el agregado superan el valor de 0.05 y el valor de F no supera su valor crítico, por lo que no existe diferencias significativas en las medias de cada grupo de volumen, de este modo se acepta la hipótesis

nula planteada donde el promedio de cada grupo de volumen es igual con un 95% de confianza.

Aplicando la formula determinada en esta investigación, tomando en cuenta el módulo de elasticidad de cada tipo de roca y el volumen que ocupa, el módulo de elasticidad del agregado (E_a), del sector Cerro Negro tiene un valor que se encuentra en un intervalo entre **87.81 GPa** y **89.12 GPa**.

Con los resultados de esta investigación se pudo obtener el módulo de elasticidad del agregado triturado que se distribuye en el sector Cerro Negro, determinando que está compuesto de distintas rocas, contrariamente a lo que se indica en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, que para la mayoría de los sectores únicamente se presentan valores de módulo de elasticidad para un tipo de roca.

Tabla 14. Tipos de roca que se encuentran en el Ecuador

Tipo de roca	Ubicación
Caliza	Guayaquil – Guayas
Chert	Guayaquil – Guayas
Diabasa	Chivería – Guayas
Tonalita	Pascuales – Guayas
Basalto (Formación Piñón)	Picoazá – Manabí
Basalto	Pifo – Pichincha
Ígnea (Andesitas, basaltos, Granodioritas)	Río Jubones – El Oro
Volcánica	La Península – Tungurahua
Ígnea (Andesitas, dacita, tobas)	Cerro Negro - Chimborazo

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

El tipo de roca del sector Cerro Negro es ígnea; dentro de los valores de módulo de elasticidad en la Norma Ecuatoriana de la Construcción podemos compararla con la roca ígnea del Río Jubones de la provincia de El Oro, el mismo que tiene como módulo de elasticidad un valor de 110.50 GPa, a diferencia del que se encuentra en el sector Cerro Negro con un valor de 87.81 a 89.12 GPa, por lo que el agregado proveniente del Río

Jubones tiene más rigidez respecto al del sector Cerro Negro, pero se asume que varía debido al tipo de rocas que componen cada grupo de agregados.

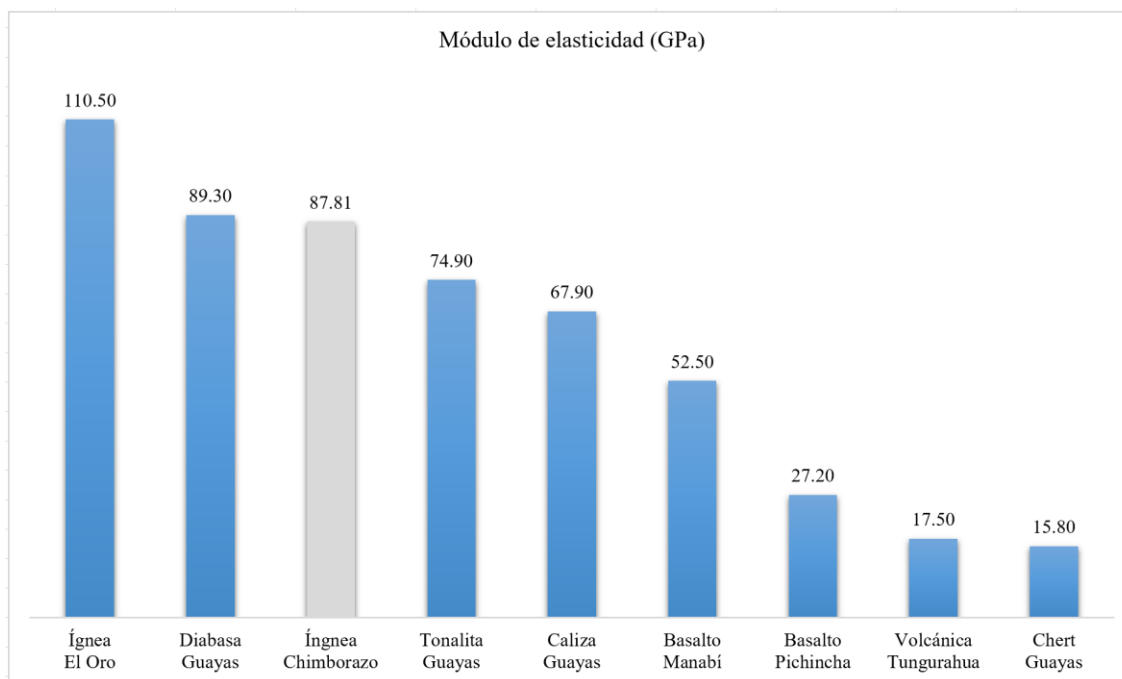


Figura 21. Módulo de elasticidad de agregados en Ecuador

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Según la norma NEC-SE-HM, se presentan valores de módulo de elasticidad para distintos sectores del país siendo 15.8 GPa el valor más bajo y 110.5 GPa el que sobresale de los demás, tomando en cuenta el resultado de esta investigación el material que se extrae en el sector Cerro Negro se encuentra en tercer lugar como material más rígido, lo que le hace que estas propiedades también lo adquiriera al realizar hormigón con este agregado.

6. CONCLUSIONES

Luego de realizar el análisis de cada roca que compone el agregado que se comercializa en el sector Cerro Negro de la ciudad de Riobamba se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El valor de módulo de elasticidad del agregado (E_a) que se distribuye en el sector de Cerro Negro determinado en este trabajo de investigación está comprendido entre 87.81 y 89.12 GPa pero también está dada por la ecuación $E_a = 96.90 * V_A + 42.20 * V_D + 12.90 * V_T$, el mismo que dependerá de las proporciones de andesita, dacita y toba que compone la muestra.
- En este estudio se realizaron 15 ensayos de compresión a probetas cilíndricas de roca para obtener curvas de esfuerzo en función de la deformación unitaria, de los cuales se obtuvo un valor de módulo de elasticidad al 25, 50, 75 y 100 % de la carga aplicada, logrando así un total de 20 valores de módulo de elasticidad por cada tipo de roca y un total de 60 valores de módulo de elasticidad de los tres tipos de roca que componen el agregado triturado distribuido en el sector Cerro Negro.
- Se realizó un estudio de validación de datos ANOVA concluyendo que no existen diferencias significativas entre los grupos de módulo de elasticidad y volumen encontrados en esta investigación.
- El valor de módulo de elasticidad total dependerá del volumen y módulo de elasticidad de cada tipo de roca existente en el agregado.
- El módulo de elasticidad hallado en esta investigación será aplicable cuando las condiciones del agregado contengan el mismo tipo de rocas y el mismo porcentaje de

volumen de estas, debido a que estos dos factores influyen directamente en el valor final de módulo de elasticidad.

- La ecuación que se incluye en la presente investigación se ajusta mejor a la realidad de cada obra ya que al ser un conglomerado, el volumen que ocupa cada tipo de roca puede variar en la producción del agregado, esta ecuación permite estimar de una mejor manera el módulo de elasticidad del agregado (E_a) cuando las condiciones del agregado sean distintas a las encontradas al momento de realizar esta investigación.
- En el análisis comparativo relacionando agregados de otras provincias del país está entre las que mayor rigidez tiene, más específicamente se ubicaría como el tercer material de nueve tipos de roca que nos presentan en la norma NEC-SE-HM, pero, si analizamos con respecto a la región sierra, la roca ígnea del sector Cerro Negro presenta mayor rigidez para la producción del hormigón.

8. RECOMENDACIONES

- Al estimar un valor de módulo de elasticidad es recomendable utilizar la ecuación presentada en esta investigación, verificando el volumen de cada tipo de roca y así adoptar un valor que se ajuste mejor a la realidad de cada obra donde se vaya usar agregado pétreo.
- Para posteriores investigaciones, se recomienda realizar el análisis de los tipos de roca que componga el agregado, debido a que el sector es un conglomerado y podrían aparecer más tipos de roca durante la explotación.
- Realizar un estudio de volumen vs tiempo para determinar la variación de volumen que puedan presentarse durante la extracción de agregado pétreo.
- Verificar los valores de módulo de elasticidad presentado en esta investigación en base a ensayos de probetas de hormigón.

10. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM D3148-02, Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002.
- ASTM D4543-08, Standard Practice for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances, ASTM International. West Conshohocken, PA, 2008.
- INEN 695:2010, Áridos. Muestreo, Quito, 2010
- INEN 2 566:2010, Áridos. Reducción de muestras a tamaño ensayo, Quito, 2010
- Álvarez, I. G. (2016). Rocas y minerales. Obtenido de <https://www.rocasym minerales.net>
- ASTM D3148, S. T. (2002). ASTM International. West Conshohocken.
- Camposano Luque, J. A. (2016). El módulo de elasticidad en el hormigón. El hormigón trabajando a tracción.
- Cottier Caviedes, J. L. (1995). Tecnología del concreto. México DF: CRID.
- García, V. (2016). Resultados de FRX. Riobamba.
- Gonzales Cárdenas, E. (2016). Los volcanes. Obtenido de <https://previa.uclm.es/profesorado/egcardenas/glosario.htm>
- Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico. (2017). Mapa geológico de la República del Ecuador. Quito.

Mc Cormac, J., & Brown, R. (2011). Diseño de Concreto Reforzado. México:

Alfaomega Grupo Editor.

MIDUVI, M. d. (2014). Acuerdo ministerial. Quito.

Ministerio de recursos naturales y energéticos. (1976). Mapa geológico del Ecuador,

Chimborazo, Hoja 69. Quito.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). Direccion Comunitaria Solcial

MIDUVI.

SoftSvista. (2018). Comparar rocas. Obtenido de <http://rocks.comparenature.com/>

11. ANEXOS

Anexo 1. Datos de las probetas de rocas andesitas.

Tabla 15. Datos de probeta andesita N° 2

N° Muestra		2
Procedencia	Cantera Cerro Negro	
Ubicación	Chimborazo-Riobamba	
Coordenadas	765262; 9815530	
Tipo de roca	Andesita	
Masa (kg)	1.333	
Diámetro(mm)	69.25	
	69.25	
	69.27	
	69.23	
	\bar{X}	69.25
Longitud (mm)	138.51	
	138.72	
	138.65	
	\bar{X}	138.63
Volumen (mm ³)	522127.08	
Volumen (m ³)	0.000522127	
Densidad (kg/m ³)	2553.02	

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 16. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 2.

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
17	0.0045136	4.51	1	0.00254	1.83226E-05
20	0.0053101	5.31	1.5	0.00381	2.74839E-05
22.5	0.0059738	5.97	1.813	0.00460502	3.32189E-05
24	0.0063721	6.37	2	0.00508	3.66452E-05
27	0.0071686	7.17	2.5	0.00635	4.58065E-05
30	0.0079651	7.97	3	0.00762	5.49678E-05
33	0.0087616	8.76	3.5	0.00889	6.41291E-05
36	0.0095581	9.56	4	0.01016	7.32904E-05
40	0.0106201	10.62	4.5	0.01143	8.24517E-05
43	0.0114167	11.42	5	0.0127	9.1613E-05
45	0.0119477	11.95	5.333	0.01354582	9.77144E-05
46	0.0122132	12.21	5.5	0.01397	0.000100774
49	0.0130097	13.01	6	0.01524	0.000109936
53	0.0140717	14.07	6.5	0.01651	0.000119097
56	0.0148682	14.87	7	0.01778	0.000128258
59	0.0156647	15.66	7.5	0.01905	0.000137419
63	0.0167267	16.73	8	0.02032	0.000146581
66	0.0175232	17.52	8.5	0.02159	0.000155742
67.5	0.0179215	17.92	8.75	0.022225	0.000160323
69	0.0183198	18.32	9	0.02286	0.000164903
72	0.0191163	19.12	9.5	0.02413	0.000174065
76	0.0201783	20.18	10	0.0254	0.000183226
80	0.0212403	21.24	10.5	0.02667	0.000192387
83	0.0220368	22.04	11	0.02794	0.000201549
87	0.0230988	23.10	11.5	0.02921	0.00021071
90	0.0238953	23.90	12	0.03048	0.000219871

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 17. Datos de probeta andesita N° 3

N° Muestra	3
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765208; 9815527
Tipo de roca	Andesita
Masa (kg)	1.338
Diámetro (mm)	69.21 69.26 69.26 69.29 \bar{X} 69.24
Longitud (mm)	139.43 139.41 138.45 \bar{X} 139.10
Volumen (mm ³)	523670.36
Volumen (m ³)	0.00052367
Densidad (kg/m ³)	2555.04

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 18. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 3.

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
14	0.0037187	3.72	1	0.00254	1.8261E-05
16	0.0042499	4.25	1.5	0.00381	2.7391E-05
21	0.005578	5.58	2	0.00508	3.6521E-05
22.5	0.0059764	5.98	2.375	0.0060325	4.3369E-05
23	0.0061092	6.11	2.5	0.00635	4.5652E-05
26	0.0069061	6.91	3	0.00762	5.4782E-05
30	0.0079686	7.97	3.5	0.00889	6.3912E-05
34	0.009031	9.03	4	0.01016	7.3043E-05
37	0.0098279	9.83	4.5	0.01143	8.2173E-05
40	0.0106247	10.62	5	0.0127	9.1303E-05
44	0.0116872	11.69	5.5	0.01397	0.00010043
45	0.0119528	11.95	5.667	0.01439418	0.00010348
47	0.0124841	12.48	6	0.01524	0.00010956
51	0.0135466	13.55	6.5	0.01651	0.00011869
54	0.0143434	14.34	7	0.01778	0.00012782
57	0.0151403	15.14	7.5	0.01905	0.00013696
61	0.0162027	16.20	8	0.02032	0.00014609
64	0.0169996	17.00	8.5	0.02159	0.00015522
67	0.0177965	17.80	9	0.02286	0.00016435
67.5	0.0179293	17.93	9.083	0.02307082	0.00016586
70	0.0185933	18.59	9.5	0.02413	0.00017348
74	0.0196558	19.66	10	0.0254	0.00018261
78	0.0207183	20.72	10.5	0.02667	0.00019174
81	0.0215151	21.52	11	0.02794	0.00020087
84	0.022312	22.31	11.5	0.02921	0.00021
87	0.0231088	23.11	12	0.03048	0.00021913
90	0.0239057	23.91	12.5	0.03175	0.00022826

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 19. Datos de probeta andesita N° 12

N° Muestra		12
Procedencia	Cantera Cerro Negro	
Ubicación	Chimborazo-Riobamba	
Coordenadas	765106; 9815598	
Tipo de roca	Andesita	
Masa (kg)	1.327	
Diámetro (mm)	69.18	
	69.07	
	69.21	
	68.97	
	\bar{X}	69.11
Longitud (mm)	138.77	
	137.87	
	138.53	
	\bar{X}	138.39
Volumen (mm ³)	519092.74	
Volumen (m ³)	0.000519093	
Densidad (kg/m ³)	2556.38	

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 20. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 12

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
15	0.003999	4.00	1	0.00254	1.8354E-05
19	0.0050654	5.07	1.5	0.00381	2.7531E-05
22	0.0058652	5.87	2	0.00508	3.6708E-05
22.5	0.0059985	6.00	2.083	0.0052908	3.8231E-05
25	0.006665	6.66	2.5	0.00635	4.5885E-05
28	0.0074648	7.46	3	0.00762	5.5062E-05
32	0.0085312	8.53	3.5	0.00889	6.4239E-05
35	0.009331	9.33	4	0.01016	7.3416E-05
38	0.0101308	10.13	4.5	0.01143	8.2593E-05
41	0.0109306	10.93	5	0.0127	9.177E-05
44	0.0117304	11.73	5.5	0.01397	0.00010095
45	0.011997	12.00	5.667	0.0143942	0.00010401
47	0.0125302	12.53	6	0.01524	0.00011012
51	0.0135966	13.60	6.5	0.01651	0.0001193
54	0.0143964	14.40	7	0.01778	0.00012848
58	0.0154628	15.46	7.5	0.01905	0.00013765
61	0.0162626	16.26	8	0.02032	0.00014683
65	0.017329	17.33	8.5	0.02159	0.00015601
67.5	0.0179955	18.00	8.917	0.0226492	0.00016366
68	0.0181288	18.13	9	0.02286	0.00016519
72	0.0191952	19.20	9.5	0.02413	0.00017436
75	0.019995	19.99	10	0.0254	0.00018354
79	0.0210614	21.06	10.5	0.02667	0.00019272
81	0.0215946	21.59	11	0.02794	0.00020189
84	0.0223944	22.39	11.5	0.02921	0.00021107
88	0.0234608	23.46	12	0.03048	0.00022025
90	0.023994	23.99	12.5	0.03175	0.00022942

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 21. Datos de probeta andesita N° 15

N° Muestra	15
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765291; 9815476
Tipo de roca	Andesita
Masa (kg)	1.310
Diámetro (mm)	68.91 69.02 69.05 68.91 \bar{X} 68.97
Longitud (mm)	137.92 138.57 138.42 \bar{X} 138.42
Volumen (mm ³)	513454.89
Volumen (m ³)	0.000513455
Densidad (kg/m ³)	2532.91

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 22. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 15

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
16	0.0042823	4.28	1	0.00254	1.8483E-05
19	0.0050852	5.09	1.5	0.00381	2.7725E-05
22.5	0.006022	6.02	1.938	0.0049225	3.582E-05
23	0.0061558	6.16	2	0.00508	3.6966E-05
27	0.0072264	7.23	2.5	0.00635	4.6208E-05
30	0.0080293	8.03	3	0.00762	5.5449E-05
33	0.0088323	8.83	3.5	0.00889	6.4691E-05
36	0.0096352	9.64	4	0.01016	7.3932E-05
40	0.0107058	10.71	4.5	0.01143	8.3174E-05
44	0.0117764	11.78	5	0.0127	9.2415E-05
45	0.012044	12.04	5.167	0.0131242	9.5502E-05
47	0.0125793	12.58	5.5	0.01397	0.00010166
50	0.0133822	13.38	6	0.01524	0.0001109
54	0.0144528	14.45	6.5	0.01651	0.00012014
57	0.0152557	15.26	7	0.01778	0.00012938
60	0.0160587	16.06	7.5	0.01905	0.00013862
63	0.0168616	16.86	8	0.02032	0.00014786
66	0.0176645	17.66	8.5	0.02159	0.00015711
67.5	0.018066	18.07	8.65	0.021971	0.00015988
71	0.0190028	19.00	9	0.02286	0.00016635
74	0.0198057	19.81	9.5	0.02413	0.00017559
77	0.0206086	20.61	10	0.0254	0.00018483
81	0.0216792	21.68	10.5	0.02667	0.00019407
84	0.0224821	22.48	11	0.02794	0.00020331
87	0.0232851	23.29	11.5	0.02921	0.00021255
90	0.024088	24.09	12	0.03048	0.0002218

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 23. Datos de probeta andesita N° 17

N° Muestra	17
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765284; 9815628
Tipo de roca	Andesita
Masa (kg)	1.334
Diámetro (mm)	69.33 69.21 69.31 69.43 \bar{X} 69.32
Longitud (mm)	138.59 138.62 138.75 \bar{X} 138.65
Volumen (mm ³)	523283.82
Volumen (m ³)	0.000523284
Densidad (kg/m ³)	2549.29

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 24. Carga, esfuerzo y deformación de probeta andesita N° 17

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
18	0.0047694	4.77	1	0.00254	1.8319E-05
21	0.0055643	5.56	1.5	0.00381	2.7479E-05
22.5	0.0059618	5.96	1.75	0.004445	3.2058E-05
24	0.0063592	6.36	2	0.00508	3.6638E-05
28	0.0074191	7.42	2.5	0.00635	4.5798E-05
33	0.0087439	8.74	3	0.00762	5.4957E-05
36	0.0095388	9.54	3.5	0.00889	6.4117E-05
39	0.0103337	10.33	4	0.01016	7.3276E-05
42	0.0111286	11.13	4.5	0.01143	8.2436E-05
45	0.0119235	11.92	4.875	0.0123825	8.9305E-05
46	0.0121885	12.19	5	0.0127	9.1595E-05
49	0.0129834	12.98	5.5	0.01397	0.00010075
53	0.0140433	14.04	6	0.01524	0.00010991
57	0.0151032	15.10	6.5	0.01651	0.00011907
60	0.0158981	15.90	7	0.01778	0.00012823
63	0.016693	16.69	7.5	0.01905	0.00013739
66	0.0174879	17.49	8	0.02032	0.00014655
67.5	0.0178853	17.89	8.25	0.020955	0.00015113
69	0.0182828	18.28	8.5	0.02159	0.00015571
73	0.0193426	19.34	9	0.02286	0.00016487
76	0.0201375	20.14	9.5	0.02413	0.00017403
80	0.0211974	21.20	10	0.0254	0.00018319
83	0.0219923	21.99	10.5	0.02667	0.00019235
86	0.0227872	22.79	11	0.02794	0.00020151
90	0.0238471	23.85	11.5	0.02921	0.00021067

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Anexo 2. Datos de las probetas de rocas dacitas.

Tabla 25. Datos de probeta dacita N° 5

N° Muestra		5
Procedencia	Cantera Cerro Negro	
Ubicación	Chimborazo-Riobamba	
Coordenadas	765229; 9815530	
Tipo de roca	Dacita	
Masa (kg)	1.128	
Diámetro (mm)	69.1	
	69.27	
	69.24	
	69.16	
	\bar{X} 69.13	
Altura (mm)	139.58	
	138.45	
	138.65	
	\bar{X} 138.89	
Volumen (mm ³)	521320.01	
Volumen (m ³)	0.0005213	
Densidad (kg/m ³)	2163.74	

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 26. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 5

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
5	0.0013321	1.33	3	0.00762	5.486E-05
6	0.0015986	1.60	3.5	0.00889	6.401E-05
8	0.0021314	2.13	4	0.01016	7.315E-05
9	0.0023978	2.40	4.5	0.01143	8.229E-05
11	0.0029307	2.93	5	0.0127	9.144E-05
12	0.0031971	3.20	5.5	0.01397	0.0001006
12.5	0.0033303	3.33	5.625	0.0142875	0.0001029
14	0.00373	3.73	6	0.01524	0.0001097
15	0.0039964	4.00	6.5	0.01651	0.0001189
17	0.0045292	4.53	7	0.01778	0.000128
18	0.0047957	4.80	7.5	0.01905	0.0001372
20	0.0053285	5.33	8	0.02032	0.0001463
21	0.005595	5.59	8.5	0.02159	0.0001554
23	0.0061278	6.13	9	0.02286	0.0001646
24	0.0063942	6.39	9.5	0.02413	0.0001737
25	0.0066607	6.66	10	0.0254	0.0001829
27	0.0071935	7.19	10.5	0.02667	0.000192
29	0.0077264	7.73	11	0.02794	0.0002012
30	0.0079928	7.99	11.5	0.02921	0.0002103
32	0.0085256	8.53	12	0.03048	0.0002194
33	0.0087921	8.79	12.5	0.03175	0.0002286
35	0.0093249	9.32	13	0.03302	0.0002377
36	0.0095913	9.59	13.5	0.03429	0.0002469
37	0.0098578	9.86	14	0.03556	0.000256
37.5	0.009991	9.99	14.125	0.0358775	0.0002583
39	0.0103906	10.39	14.5	0.03683	0.0002652
40	0.010657	10.66	15	0.0381	0.0002743
41	0.0109235	10.92	15.5	0.03937	0.0002835
42	0.0111899	11.19	16	0.04064	0.0002926
44	0.0117228	11.72	16.5	0.04191	0.0003017
45	0.0119892	11.99	17	0.04318	0.0003109
47	0.012522	12.52	17.5	0.04445	0.00032
48	0.0127885	12.79	18	0.04572	0.0003292
50	0.0133213	13.32	18.5	0.04699	0.0003383

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 27. Datos de probeta dacita N° 6

N° Muestra	6
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765117; 9815539
Tipo de roca	Dacita
Masa (kg)	1.123
Diámetro (mm)	68.98 68.81 68.91 69.01 \bar{X} 68.93
Longitud (mm)	139.02 139.12 139.07 \bar{X} 139.07
Volumen (mm ³)	518929.54
Volumen (m ³)	0.0005189
Densidad (kg/m ³)	2164.07

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 28. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 6

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
7	0.001876	1.88	2	0.00508	3.653E-05
8	0.002144	2.14	2.5	0.00635	4.566E-05
10	0.0026799	2.68	3	0.00762	5.479E-05
11	0.0029479	2.95	3.5	0.00889	6.392E-05
12.5	0.0033499	3.35	3.875	0.0098425	7.077E-05
13	0.0034839	3.48	4	0.01016	7.306E-05
14	0.0037519	3.75	4.5	0.01143	8.219E-05
15	0.0040199	4.02	5	0.0127	9.132E-05
17	0.0045559	4.56	5.5	0.01397	0.0001005
18	0.0048239	4.82	6	0.01524	0.0001096
20	0.0053599	5.36	6.5	0.01651	0.0001187
21	0.0056279	5.63	7	0.01778	0.0001278
23	0.0061639	6.16	7.5	0.01905	0.000137
24	0.0064319	6.43	8	0.02032	0.0001461
25	0.0066998	6.70	8.5	0.02159	0.0001552
27	0.0072358	7.24	9	0.02286	0.0001644
28	0.0075038	7.50	9.5	0.02413	0.0001735
30	0.0080398	8.04	10	0.0254	0.0001826
31	0.0083078	8.31	10.5	0.02667	0.0001918
33	0.0088438	8.84	11	0.02794	0.0002009
34	0.0091118	9.11	11.5	0.02921	0.00021
35	0.0093798	9.38	12	0.03048	0.0002192
37	0.0099158	9.92	12.5	0.03175	0.0002283
37.5	0.0100498	10.05	12.625	0.0320675	0.0002306
39	0.0104518	10.45	13	0.03302	0.0002374
40	0.0107198	10.72	13.5	0.03429	0.0002466
42	0.0112557	11.26	14	0.03556	0.0002557
43	0.0115237	11.52	14.5	0.03683	0.0002648
44	0.0117917	11.79	15	0.0381	0.000274
46	0.0123277	12.33	15.5	0.03937	0.0002831
47	0.0125957	12.60	16	0.04064	0.0002922
48	0.0128637	12.86	16.5	0.04191	0.0003014
50	0.0133997	13.40	17	0.04318	0.0003105

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 29. Datos de probeta dacita N° 8

N° Muestra	8
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765231; 9815530
Tipo de roca	Dacita
Masa (kg)	1.126
Diámetro (mm)	69.21 69.03 69.18 69.15 \bar{X} 69.12
Longitud (mm)	138.91 139.02 138.95 \bar{X} 138.96
Volumen (mm ³)	521419.35
Volumen (m ³)	0.0005214
Densidad (kg/m ³)	2159.49

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 30. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 8

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
8	0.002132	2.13	3	0.00762	5.484E-05
9	0.0023985	2.40	3.5	0.00889	6.398E-05
11	0.0029315	2.93	4	0.01016	7.311E-05
12	0.003198	3.20	4.5	0.01143	8.225E-05
12.5	0.0033313	3.33	4.625	0.0117475	8.454E-05
14	0.003731	3.73	5	0.0127	9.139E-05
15	0.0039976	4.00	5.5	0.01397	0.0001005
17	0.0045306	4.53	6	0.01524	0.0001097
18	0.0047971	4.80	6.5	0.01651	0.0001188
20	0.0053301	5.33	7	0.01778	0.000128
21	0.0055966	5.60	7.5	0.01905	0.0001371
22	0.0058631	5.86	8	0.02032	0.0001462
24	0.0063961	6.40	8.5	0.02159	0.0001554
25	0.0066626	6.66	9	0.02286	0.0001645
27	0.0071956	7.20	9.5	0.02413	0.0001736
28	0.0074621	7.46	10	0.0254	0.0001828
30	0.0079951	8.00	10.5	0.02667	0.0001919
31	0.0082616	8.26	11	0.02794	0.0002011
33	0.0087946	8.79	11.5	0.02921	0.0002102
34	0.0090611	9.06	12	0.03048	0.0002193
35	0.0093276	9.33	12.5	0.03175	0.0002285
37	0.0098606	9.86	13	0.03302	0.0002376
37.5	0.0099939	9.99	13.125	0.0333375	0.0002399
39	0.0103936	10.39	13.5	0.03429	0.0002468
40	0.0106601	10.66	14	0.03556	0.0002559
41	0.0109266	10.93	14.5	0.03683	0.000265
43	0.0114596	11.46	15	0.0381	0.0002742
44	0.0117261	11.73	15.5	0.03937	0.0002833
46	0.0122592	12.26	16	0.04064	0.0002925
47	0.0125257	12.53	16.5	0.04191	0.0003016
49	0.0130587	13.06	17	0.04318	0.0003107
50	0.0133252	13.33	17.5	0.04445	0.0003199

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 31. Datos de probeta dacita N° 16

N° Muestra	16
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765274; 9815607
Tipo de roca	Dacita
Masa (kg)	1.128
Diámetro (mm)	69.24 69.27 69.24 69.26 \bar{X} 69.25
Longitud (mm)	138.94 138.43 138.58 \bar{X} 138.65
Volumen (mm ³)	522252.67
Volumen (m ³)	0.000522253
Densidad (kg/m ³)	2159.87

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 32. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 16

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
6	0.001592907	1.59	4	0.01016	7.328E-05
7	0.001858392	1.86	4.5	0.01143	8.244E-05
8	0.002123876	2.12	5	0.0127	9.16E-05
10	0.002654845	2.65	5.5	0.01397	0.0001008
12	0.003185814	3.19	6	0.01524	0.0001099
12.5	0.003318557	3.32	6.25	0.015875	0.0001145
13	0.003451299	3.45	6.5	0.01651	0.0001191
15	0.003982268	3.98	7	0.01778	0.0001282
16	0.004247752	4.25	7.5	0.01905	0.0001374
18	0.004778721	4.78	8	0.02032	0.0001466
19	0.005044206	5.04	8.5	0.02159	0.0001557
21	0.005575175	5.58	9	0.02286	0.0001649
22	0.005840659	5.84	9.5	0.02413	0.000174
24	0.006371629	6.37	10	0.0254	0.0001832
25	0.006637113	6.64	10.5	0.02667	0.0001924
27	0.007168082	7.17	11	0.02794	0.0002015
28	0.007433567	7.43	11.5	0.02921	0.0002107
30	0.007964536	7.96	12	0.03048	0.0002198
31	0.00823002	8.23	12.5	0.03175	0.000229
32	0.008495505	8.50	13	0.03302	0.0002382
34	0.009026474	9.03	13.5	0.03429	0.0002473
35	0.009291958	9.29	14	0.03556	0.0002565
37	0.009822927	9.82	14.5	0.03683	0.0002656
37.5	0.00995567	9.96	14.75	0.037465	0.0002702
38	0.010088412	10.09	15	0.0381	0.0002748
39	0.010353896	10.35	15.5	0.03937	0.000284
41	0.010884865	10.88	16	0.04064	0.0002931
43	0.011415834	11.42	16.5	0.04191	0.0003023
45	0.011946803	11.95	17	0.04318	0.0003114
46	0.012212288	12.21	17.5	0.04445	0.0003206
47	0.012477773	12.48	18	0.04572	0.0003298
49	0.013008742	13.01	18.5	0.04699	0.0003389
50	0.013274226	13.27	19	0.04826	0.0003481

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 33. Datos de probeta dacita N° 22

N° Muestra	22
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765141; 9815491
Tipo de roca	Dacita
Masa (kg)	1.108
Diámetro (mm)	68.45 68.50 68.49 48.47 \bar{X} 68.48
Longitud (mm)	138.65 139.43 138.58 \bar{X} 138.89
Volumen (mm ³)	511575.40
Volumen (m ³)	0.0005116
Densidad (kg/m ³)	2165.86

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 34. Carga, esfuerzo y deformación de probeta dacita N° 22

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
6	0.0016289	1.63	2	0.00508	3.658E-05
7	0.0019004	1.90	2.5	0.00635	4.572E-05
9	0.0024434	2.44	3	0.00762	5.486E-05
10	0.0027149	2.71	3.5	0.00889	6.401E-05
11	0.0029864	2.99	4	0.01016	7.315E-05
12.5	0.0033936	3.39	4.375	0.0111125	8.001E-05
13	0.0035293	3.53	4.5	0.01143	8.23E-05
14	0.0038008	3.80	5	0.0127	9.144E-05
16	0.0043438	4.34	5.5	0.01397	0.0001006
17	0.0046153	4.62	6	0.01524	0.0001097
18	0.0048868	4.89	6.5	0.01651	0.0001189
20	0.0054298	5.43	7	0.01778	0.000128
21	0.0057013	5.70	7.5	0.01905	0.0001372
22	0.0059727	5.97	8	0.02032	0.0001463
24	0.0065157	6.52	8.5	0.02159	0.0001555
25	0.0067872	6.79	9	0.02286	0.0001646
27	0.0073302	7.33	9.5	0.02413	0.0001737
28	0.0076017	7.60	10	0.0254	0.0001829
29	0.0078732	7.87	10.5	0.02667	0.000192
31	0.0084161	8.42	11	0.02794	0.0002012
32	0.0086876	8.69	11.5	0.02921	0.0002103
33	0.0089591	8.96	12	0.03048	0.0002195
35	0.0095021	9.50	12.5	0.03175	0.0002286
36	0.0097736	9.77	13	0.03302	0.0002377
37.5	0.0101808	10.18	13.375	0.0339725	0.0002446
38	0.0103166	10.32	13.5	0.03429	0.0002469
39	0.010588	10.59	14	0.03556	0.000256
40	0.0108595	10.86	14.5	0.03683	0.0002652
42	0.0114025	11.40	15	0.0381	0.0002743
43	0.011674	11.67	15.5	0.03937	0.0002835
44	0.0119455	11.95	16	0.04064	0.0002926
46	0.0124885	12.49	16.5	0.04191	0.0003018
47	0.0127599	12.76	17	0.04318	0.0003109
48	0.0130314	13.03	17.5	0.04445	0.00032
50	0.0135744	13.57	18	0.04572	0.0003292

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Anexo 3. Datos de las probetas de roca toba.

Tabla 35. Datos de probeta de toba N° 4

N° Muestra	4
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765240; 9815540
Tipo de roca	Toba
Masa (kg)	0.998
Diámetro (mm)	68.71 69.21 69.08 69.02 \bar{X} 69.01
Longitud (mm)	138.52 139.37 139.31 \bar{X} 139.07
Volumen (mm ³)	520084.66
Volumen (m ³)	0.0005201
Densidad (kg/m ³)	1918.92

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 36. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 4

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
7	0.0018717	1.87	1	0.00254	1.826E-05
8	0.0021391	2.14	2.5	0.00635	4.566E-05
9	0.0024065	2.41	3	0.00762	5.479E-05
10	0.0026739	2.67	4	0.01016	7.306E-05
11	0.0029413	2.94	5.5	0.01397	0.0001005
12	0.0032087	3.21	6.5	0.01651	0.0001187
12.5	0.0033424	3.34	7	0.01778	0.0001279
13	0.0034761	3.48	7.5	0.01905	0.000137
14	0.0037435	3.74	9	0.02286	0.0001644

15	0.0040109	4.01	10	0.0254	0.0001826
16	0.0042783	4.28	11	0.02794	0.0002009
17	0.0045457	4.55	12.5	0.03175	0.0002283
19	0.0050805	5.08	14.5	0.03683	0.0002648
20	0.0053478	5.35	15.5	0.03937	0.0002831
21	0.0056152	5.62	17	0.04318	0.0003105
22	0.0058826	5.88	18	0.04572	0.0003288
23	0.00615	6.15	19.5	0.04953	0.0003562
24	0.0064174	6.42	20	0.0508	0.0003653
25	0.0066848	6.68	21	0.05334	0.0003836
26	0.0069522	6.95	22	0.05588	0.0004018
27	0.0072196	7.22	24	0.06096	0.0004384
28	0.007487	7.49	24.5	0.06223	0.0004475
29	0.0077544	7.75	26	0.06604	0.0004749
30	0.0080218	8.02	27	0.06858	0.0004931
31	0.0082892	8.29	28.5	0.07239	0.0005205
32	0.0085566	8.56	29	0.07366	0.0005297
33	0.0088239	8.82	30	0.0762	0.0005479
34	0.0090913	9.09	31	0.07874	0.0005662
35	0.0093587	9.36	33	0.08382	0.0006027
36	0.0096261	9.63	33.5	0.08509	0.0006119
37	0.0098935	9.89	34.5	0.08763	0.0006301
37.5	0.0100272	10.03	35.25	0.089535	0.0006438
38	0.0101609	10.16	36	0.09144	0.0006575
39	0.0104283	10.43	37	0.09398	0.0006758
40	0.0106957	10.70	38	0.09652	0.0006941
41	0.0109631	10.96	39	0.09906	0.0007123
42	0.0112305	11.23	40.5	0.10287	0.0007397
43	0.0114979	11.50	42	0.10668	0.0007671
44	0.0117653	11.77	42.5	0.10795	0.0007762
45	0.0120327	12.03	43.5	0.11049	0.0007945
46	0.0123	12.30	45	0.1143	0.0008219
48	0.0128348	12.83	47	0.11938	0.0008584
49	0.0131022	13.10	48	0.12192	0.0008767
50	0.0133696	13.37	49.5	0.12573	0.0009041

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 37. Datos de probeta de toba N° 7

N° Muestra	7
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765240; 9815540
Tipo de roca	Toba
Masa (kg)	1.006
Diámetro (mm)	69.13 69.04 69.11 68.98 \bar{X} 69.06
Longitud (mm)	140.16 140.12 139.99 \bar{X} 140.09
Volumen (mm ³)	524671.26
Volumen (m ³)	0.0005247
Densidad (kg/m ³)	1917.39

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 38. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 7

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
3	0.000801	0.80	1	0.00254	1.813E-05
4	0.001068	1.07	2	0.00508	3.626E-05
5	0.001335	1.34	3.5	0.00889	6.346E-05
6	0.001602	1.60	4.5	0.01143	8.159E-05
7	0.001869	1.87	5.5	0.01397	9.972E-05
8	0.002136	2.14	6.5	0.01651	0.0001179
9	0.002403	2.40	8	0.02032	0.000145
10	0.0026701	2.67	9	0.02286	0.0001632
11	0.0029371	2.94	10	0.0254	0.0001813
12	0.0032041	3.20	11.5	0.02921	0.0002085
12.5	0.0033376	3.34	12	0.03048	0.0002176

13	0.0034711	3.47	12.5	0.03175	0.0002266
14	0.0037381	3.74	14	0.03556	0.0002538
15	0.0040051	4.01	15	0.0381	0.000272
16	0.0042721	4.27	16	0.04064	0.0002901
17	0.0045391	4.54	17.5	0.04445	0.0003173
18	0.0048061	4.81	18	0.04572	0.0003264
19	0.0050731	5.07	19.5	0.04953	0.0003536
20	0.0053401	5.34	20.5	0.05207	0.0003717
21	0.0056071	5.61	22	0.05588	0.0003989
22	0.0058741	5.87	23.5	0.05969	0.0004261
23	0.0061411	6.14	24	0.06096	0.0004351
24	0.0064081	6.41	25.4	0.064516	0.0004605
25	0.0066751	6.68	26.5	0.06731	0.0004805
26	0.0069421	6.94	27.5	0.06985	0.0004986
27	0.0072091	7.21	29	0.07366	0.0005258
28	0.0074761	7.48	30.5	0.07747	0.000553
29	0.0077432	7.74	31	0.07874	0.0005621
30	0.0080102	8.01	32	0.08128	0.0005802
31	0.0082772	8.28	33.5	0.08509	0.0006074
32	0.0085442	8.54	35	0.0889	0.0006346
33	0.0088112	8.81	36	0.09144	0.0006527
34	0.0090782	9.08	37.5	0.09525	0.0006799
35	0.0093452	9.35	38	0.09652	0.000689
36	0.0096122	9.61	39	0.09906	0.0007071
37	0.0098792	9.88	40.5	0.10287	0.0007343
37.5	0.0100127	10.01	41.25	0.104775	0.0007479
38	0.0101462	10.15	42	0.10668	0.0007615
39	0.0104132	10.41	43	0.10922	0.0007796
40	0.0106802	10.68	43.5	0.11049	0.0007887
41	0.0109472	10.95	45	0.1143	0.0008159
42	0.0112142	11.21	46.5	0.11811	0.0008431
43	0.0114812	11.48	47.5	0.12065	0.0008612
44	0.0117482	11.75	49	0.12446	0.0008884
45	0.0120152	12.02	50	0.127	0.0009066
46	0.0122822	12.28	51	0.12954	0.0009247
47	0.0125492	12.55	52.5	0.13335	0.0009519
48	0.0128163	12.82	53.5	0.13589	0.00097
49	0.0130833	13.08	54.5	0.13843	0.0009882
50	0.0133503	13.35	55.5	0.14097	0.0010063

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 39. Datos de probeta de toba N° 9

N° Muestra	9
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765175; 9815669
Tipo de roca	Toba
Masa (kg)	1.007
Diámetro (mm)	69.38 69.04 69.09 69.39 \bar{X} 69.23
Longitud (mm)	139.31 138.68 138.91 \bar{X} 138.97
Volumen (mm ³)	523029.82
Volumen (m ³)	0.000523
Densidad (kg/m ³)	1925.32

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 40. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 9

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
4	0.0010628	1.06	1	0.00254	1.828E-05
5	0.0013285	1.33	2.5	0.00635	4.569E-05
6	0.0015942	1.59	3	0.00762	5.483E-05
7	0.0018599	1.86	4.5	0.01143	8.225E-05
8	0.0021256	2.13	6	0.01524	0.0001097
9	0.0023913	2.39	7	0.01778	0.0001279
10	0.002657	2.66	8	0.02032	0.0001462
11	0.0029227	2.92	9	0.02286	0.0001645
12	0.0031883	3.19	10.5	0.02667	0.0001919
12.5	0.0033212	3.32	11	0.02794	0.0002011
13	0.003454	3.45	11.5	0.02921	0.0002102

14	0.0037197	3.72	13	0.03302	0.0002376
15	0.0039854	3.99	14	0.03556	0.0002559
16	0.0042511	4.25	15.5	0.03937	0.0002833
17	0.0045168	4.52	16	0.04064	0.0002924
18	0.0047825	4.78	17.5	0.04445	0.0003199
19	0.0050482	5.05	18.5	0.04699	0.0003381
20	0.0053139	5.31	20	0.0508	0.0003656
22	0.0058453	5.85	22	0.05588	0.0004021
23	0.006111	6.11	23.5	0.05969	0.0004295
24	0.0063767	6.38	24.5	0.06223	0.0004478
25	0.0066424	6.64	26	0.06604	0.0004752
26	0.0069081	6.91	27	0.06858	0.0004935
27	0.0071738	7.17	28.5	0.07239	0.0005209
28	0.0074395	7.44	29	0.07366	0.0005301
29	0.0077052	7.71	30.5	0.07747	0.0005575
30	0.0079709	7.97	31.5	0.08001	0.0005757
31	0.0082366	8.24	33	0.08382	0.0006032
32	0.0085023	8.50	34	0.08636	0.0006214
33	0.008768	8.77	35	0.0889	0.0006397
34	0.0090336	9.03	36.5	0.09271	0.0006671
35	0.0092993	9.30	37	0.09398	0.0006763
36	0.009565	9.57	39	0.09906	0.0007128
37	0.0098307	9.83	40	0.1016	0.0007311
37.5	0.0099636	9.96	40.5	0.10287	0.0007402
38	0.0100964	10.10	41	0.10414	0.0007494
39	0.0103621	10.36	42.5	0.10795	0.0007768
41	0.0108935	10.89	44	0.11176	0.0008042
42	0.0111592	11.16	46	0.11684	0.0008408
43	0.0114249	11.42	47	0.11938	0.0008591
44	0.0116906	11.69	48	0.12192	0.0008773
45	0.0119563	11.96	49.5	0.12573	0.0009047
46	0.012222	12.22	50	0.127	0.0009139
47	0.0124877	12.49	51.5	0.13081	0.0009413
48	0.0127534	12.75	53	0.13462	0.0009687
49	0.0130191	13.02	54	0.13716	0.000987
50	0.0132848	13.28	55.5	0.14097	0.0010144

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 41. Datos de probeta de toba N° 10

N° Muestra	10
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765269; 9815628
Tipo de roca	Toba
Masa (kg)	1.002
Diámetro (mm)	68.7 69.04 69.09 69.14 \bar{X} 68.92
Longitud (mm)	141.18 139.96 139.41 \bar{X} 140.18
Volumen (mm ³)	522970.03
Volumen (m ³)	0.000523
Densidad (kg/m ³)	1915.98

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 42. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 10

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001")	Deformación (mm)	Deformación unitaria
6	0.0016083	1.61	1	0.00254	1.812E-05
7	0.0018764	1.88	2	0.00508	3.624E-05
8	0.0021444	2.14	3	0.00762	5.436E-05
9	0.0024125	2.41	4	0.01016	7.248E-05
10	0.0026805	2.68	5.5	0.01397	9.966E-05
11	0.0029486	2.95	6.5	0.01651	0.0001178
12	0.0032166	3.22	7.5	0.01905	0.0001359
12.5	0.0033507	3.35	8.25	0.020955	0.0001495
13	0.0034847	3.48	9	0.02286	0.0001631
14	0.0037527	3.75	10	0.0254	0.0001812
15	0.0040208	4.02	11	0.02794	0.0001993
16	0.0042888	4.29	12	0.03048	0.0002174

17	0.0045569	4.56	13	0.03302	0.0002355
18	0.0048249	4.82	14	0.03556	0.0002537
19	0.005093	5.09	15.5	0.03937	0.0002808
20	0.005361	5.36	16.5	0.04191	0.000299
21	0.0056291	5.63	17.5	0.04445	0.0003171
22	0.0058972	5.90	18.5	0.04699	0.0003352
23	0.0061652	6.17	20	0.0508	0.0003624
24	0.0064333	6.43	21	0.05334	0.0003805
25	0.0067013	6.70	22	0.05588	0.0003986
26	0.0069694	6.97	23.5	0.05969	0.0004258
27	0.0072374	7.24	24	0.06096	0.0004349
28	0.0075055	7.51	25.5	0.06477	0.000462
30	0.0080416	8.04	27.5	0.06985	0.0004983
31	0.0083096	8.31	28.5	0.07239	0.0005164
32	0.0085777	8.58	30	0.0762	0.0005436
33	0.0088457	8.85	31	0.07874	0.0005617
34	0.0091138	9.11	32.5	0.08255	0.0005889
35	0.0093818	9.38	33	0.08382	0.0005979
36	0.0096499	9.65	34	0.08636	0.0006161
37	0.0099179	9.92	35.5	0.09017	0.0006432
37.5	0.010052	10.05	36	0.09144	0.0006523
39	0.010454	10.45	37.5	0.09525	0.0006795
40	0.0107221	10.72	38.5	0.09779	0.0006976
41	0.0109901	10.99	40	0.1016	0.0007248
43	0.0115263	11.53	42	0.10668	0.000761
44	0.0117943	11.79	43	0.10922	0.0007791
45	0.0120624	12.06	44.5	0.11303	0.0008063
46	0.0123304	12.33	45.5	0.11557	0.0008244
47	0.0125985	12.60	46.5	0.11811	0.0008425
48	0.0128665	12.87	48	0.12192	0.0008697
49	0.0131346	13.13	49	0.12446	0.0008878
50	0.0134026	13.40	50	0.127	0.000906

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 43. Datos de probeta de toba N° 13

N° Muestra	13
Procedencia	Cantera Cerro Negro
Ubicación	Chimborazo-Riobamba
Coordenadas	765099; 9815658
Tipo de roca	Toba
Masa (kg)	1.001
Diámetro (mm)	68.75 68.57 68.98 68.95 \bar{X} 68.85
Longitud (mm)	140.12 139.84 139.93 \bar{X} 139.96
Volumen (mm ³)	521089.17
Volumen (m ³)	0.0005211
Densidad (kg/m ³)	1920.98

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Tabla 44. Carga, esfuerzo y deformación de probeta de toba N° 13

Carga (kN)	Esfuerzo (GPa)	Esfuerzo (MPa)	Deformación (0.0001'')	Deformación (mm)	Deformación unitaria
4	0.0010744	1.07	1	0.00254	1.815E-05
5	0.001343	1.34	2	0.00508	3.63E-05
6	0.0016116	1.61	3	0.00762	5.444E-05
7	0.0018802	1.88	4.5	0.01143	8.166E-05
8	0.0021488	2.15	6	0.01524	0.0001089
9	0.0024174	2.42	6.5	0.01651	0.000118
10	0.002686	2.69	8	0.02032	0.0001452
11	0.0029546	2.95	8.5	0.02159	0.0001543
12	0.0032232	3.22	10	0.0254	0.0001815
12.5	0.0033575	3.36	10.5	0.02667	0.0001905
13	0.0034918	3.49	11	0.02794	0.0001996
14	0.0037604	3.76	12.5	0.03175	0.0002268

15	0.004029	4.03	13.5	0.03429	0.000245
16	0.0042976	4.30	15	0.0381	0.0002722
17	0.0045662	4.57	16	0.04064	0.0002904
18	0.0048348	4.83	17.5	0.04445	0.0003176
19	0.0051034	5.10	18	0.04572	0.0003267
20	0.005372	5.37	19.5	0.04953	0.0003539
21	0.0056406	5.64	20	0.0508	0.000363
22	0.0059091	5.91	21.5	0.05461	0.0003902
23	0.0061777	6.18	22.5	0.05715	0.0004083
24	0.0064463	6.45	24	0.06096	0.0004355
25	0.0067149	6.71	24.5	0.06223	0.0004446
26	0.0069835	6.98	26	0.06604	0.0004718
27	0.0072521	7.25	27	0.06858	0.00049
28	0.0075207	7.52	28.5	0.07239	0.0005172
29	0.0077893	7.79	29.5	0.07493	0.0005354
31	0.0083265	8.33	32	0.08128	0.0005807
32	0.0085951	8.60	32.5	0.08255	0.0005898
33	0.0088637	8.86	34	0.08636	0.000617
34	0.0091323	9.13	35	0.0889	0.0006352
35	0.0094009	9.40	36	0.09144	0.0006533
36	0.0096695	9.67	37.5	0.09525	0.0006805
37	0.0099381	9.94	38.5	0.09779	0.0006987
37.5	0.0100724	10.07	39.25	0.099695	0.0007123
38	0.0102067	10.21	40	0.1016	0.0007259
39	0.0104753	10.48	40.5	0.10287	0.000735
40	0.0107439	10.74	41	0.10414	0.0007441
41	0.0110125	11.01	43	0.10922	0.0007803
42	0.0112811	11.28	44	0.11176	0.0007985
43	0.0115497	11.55	45.5	0.11557	0.0008257
44	0.0118183	11.82	46	0.11684	0.0008348
45	0.0120869	12.09	47.5	0.12065	0.000862
46	0.0123555	12.36	49	0.12446	0.0008892
47	0.0126241	12.62	50.5	0.12827	0.0009165
48	0.0128927	12.89	51	0.12954	0.0009255
49	0.0131613	13.16	52	0.13208	0.0009437
50	0.0134299	13.43	53	0.13462	0.0009618

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

A continuación, se muestra las curvas Esfuerzo vs Deformación unitaria, el esfuerzo se expresa en giga pascales (GPa) para poder obtener una mejor apreciación del módulo de elasticidad (E).

Anexo 4. Curvas esfuerzo vs deformación unitaria de probetas de roca andesita.

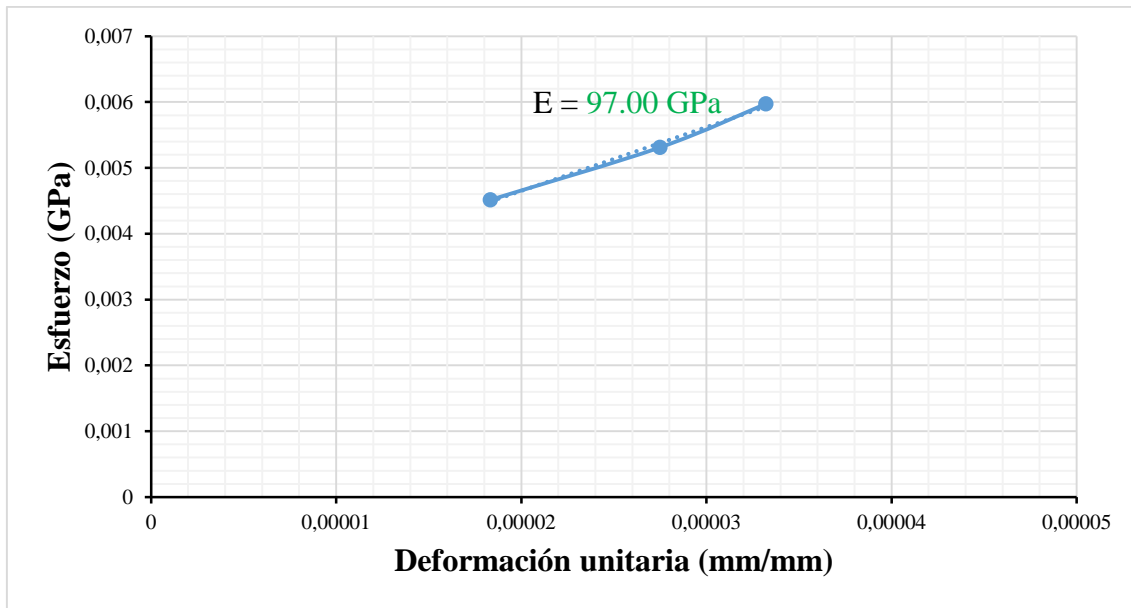


Figura 22. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 2.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

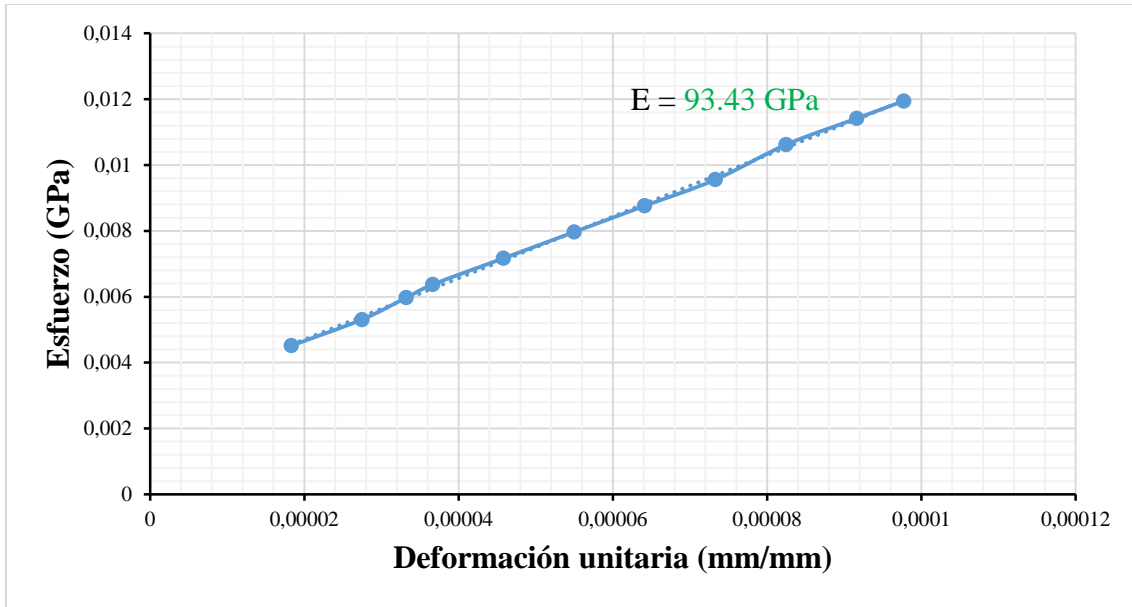


Figura 23. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 2.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

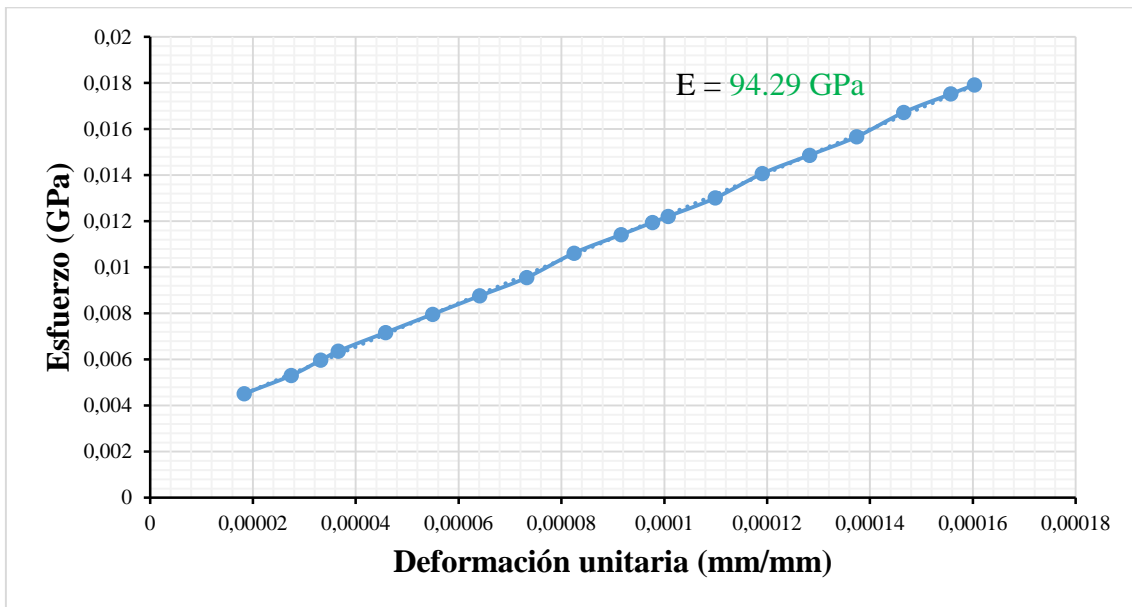


Figura 24. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 2.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando

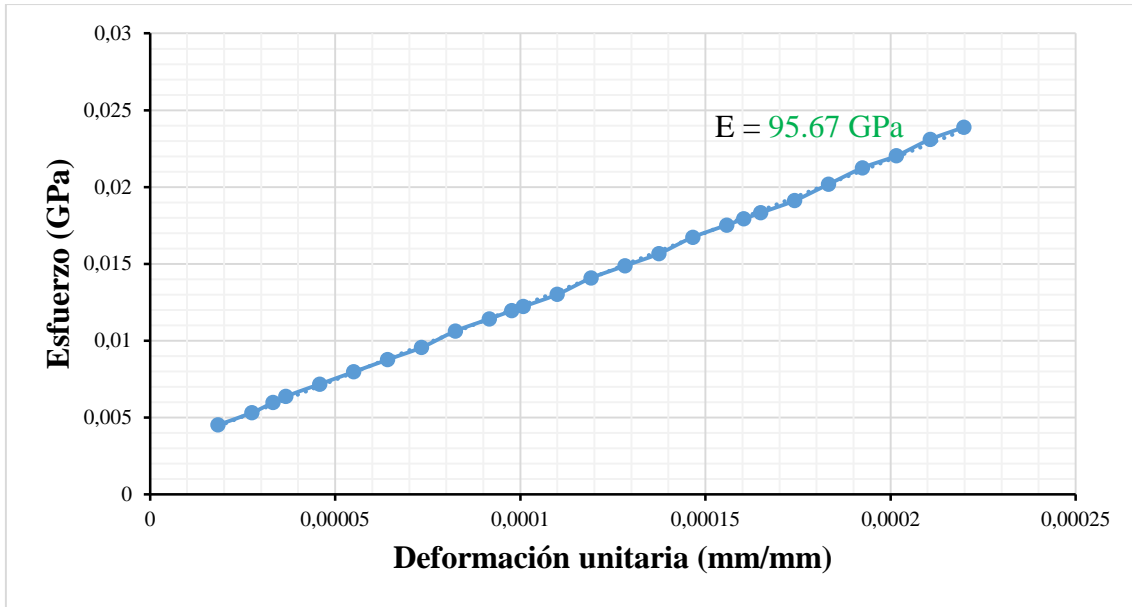


Figura 25. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 2.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

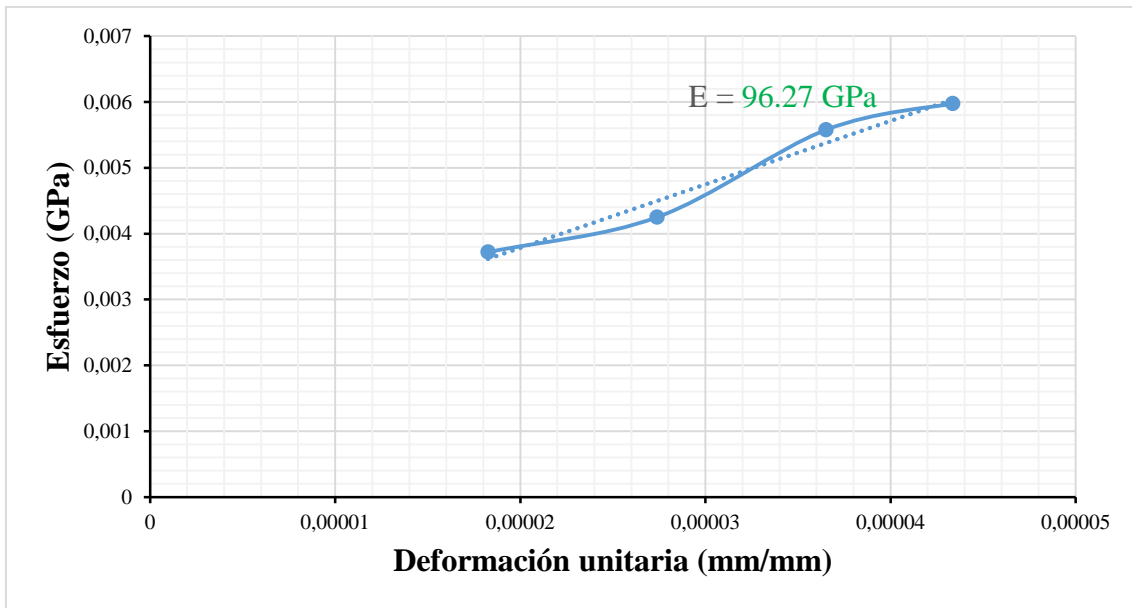


Figura 26. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 3.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

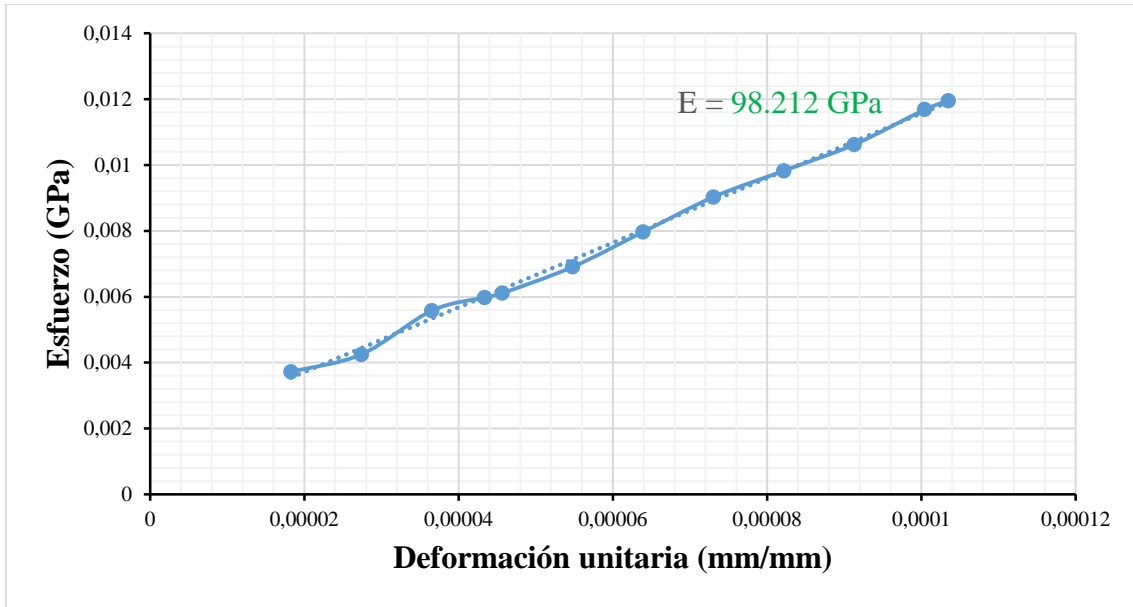


Figura 27. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 3.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

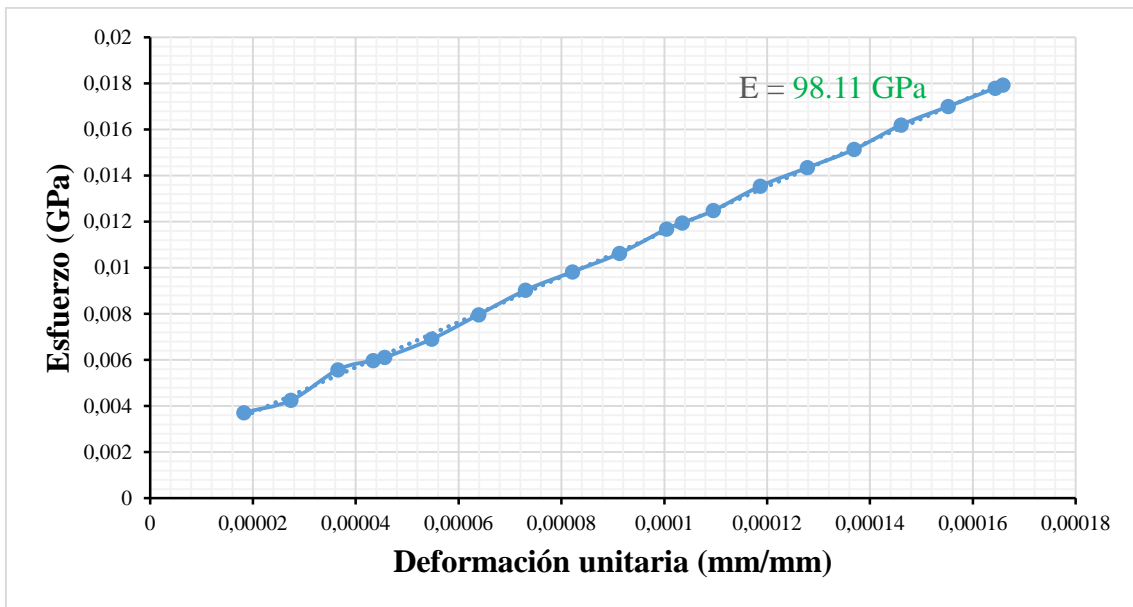


Figura 28. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 3.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

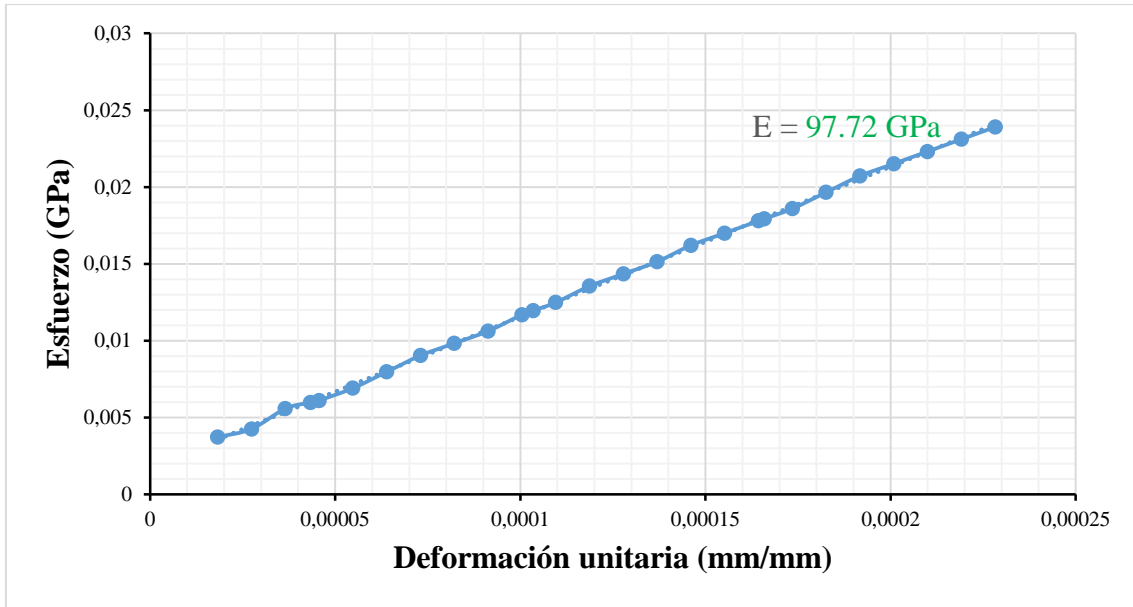


Figura 29. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 3.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

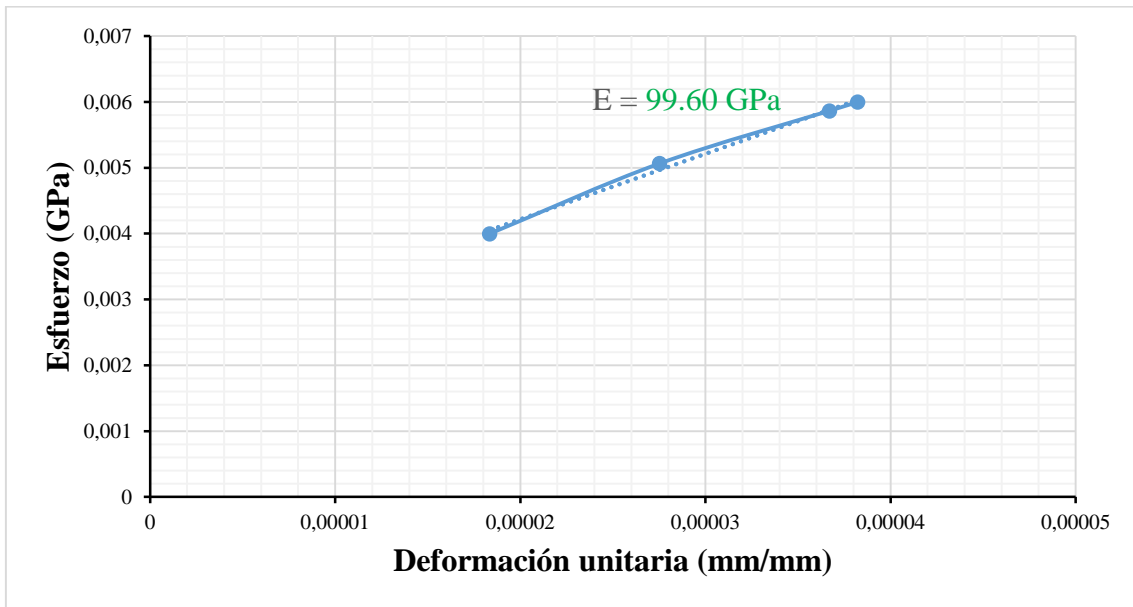


Figura 30. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 12.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

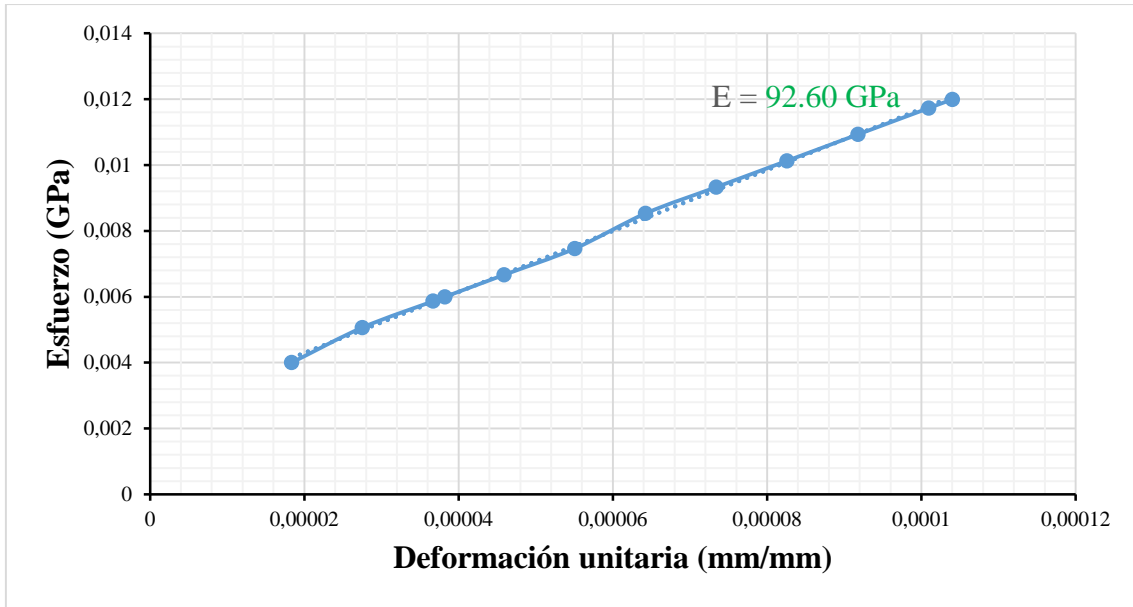


Figura 31. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 12.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

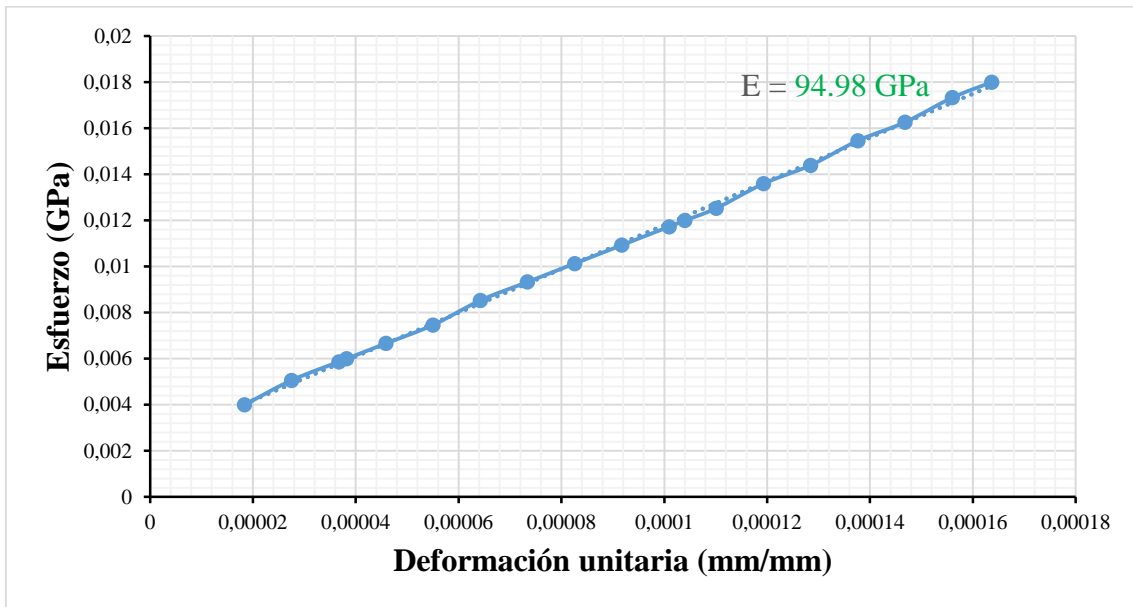


Figura 32. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 12.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

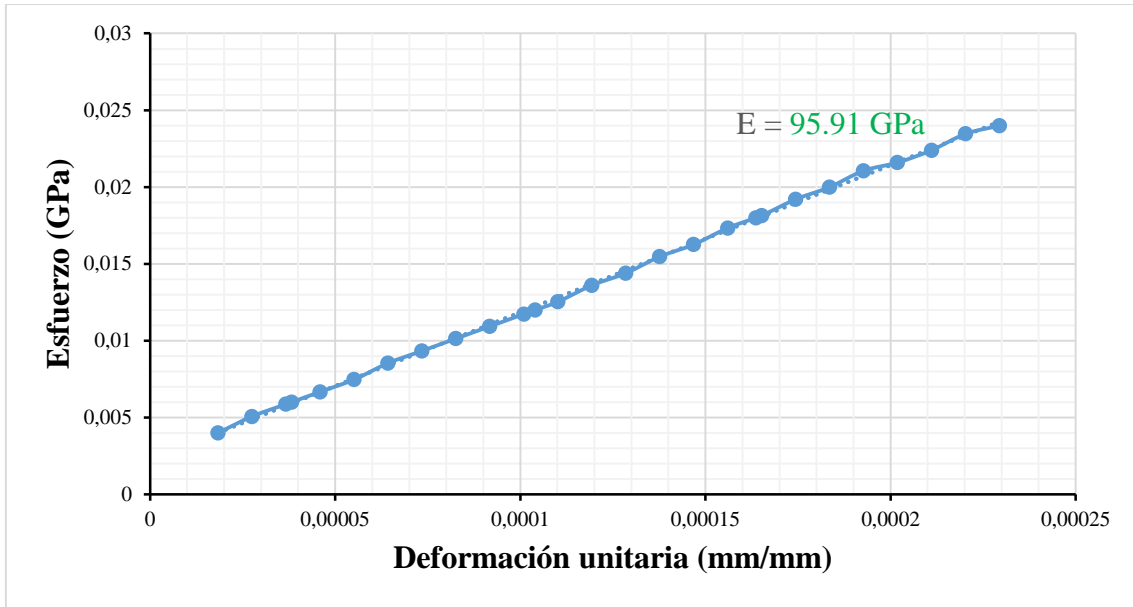


Figura 33. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 12.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

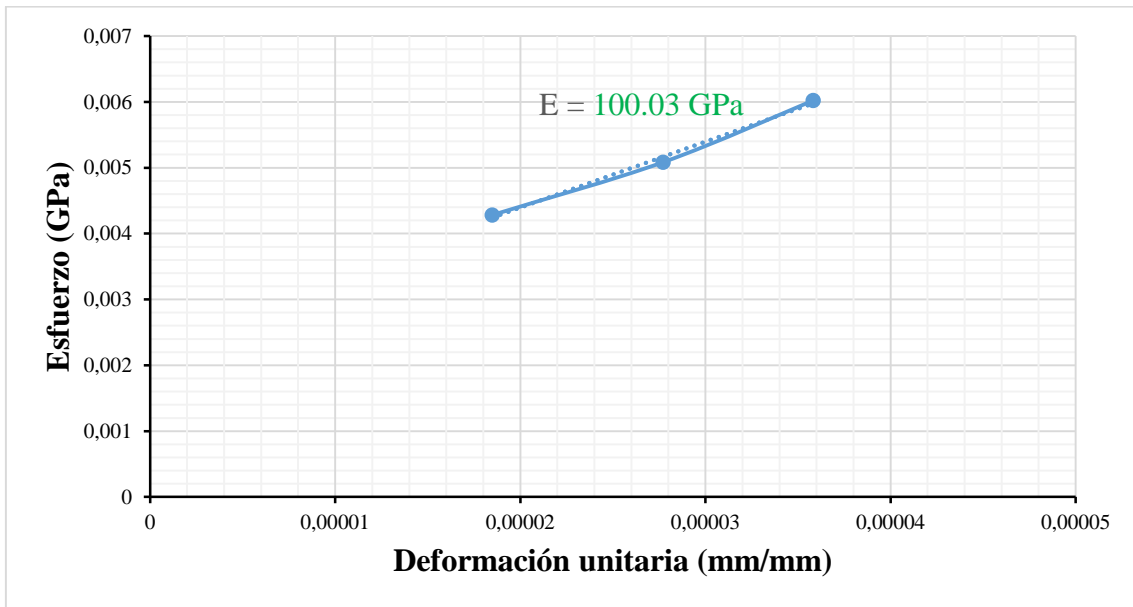


Figura 34. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 15.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

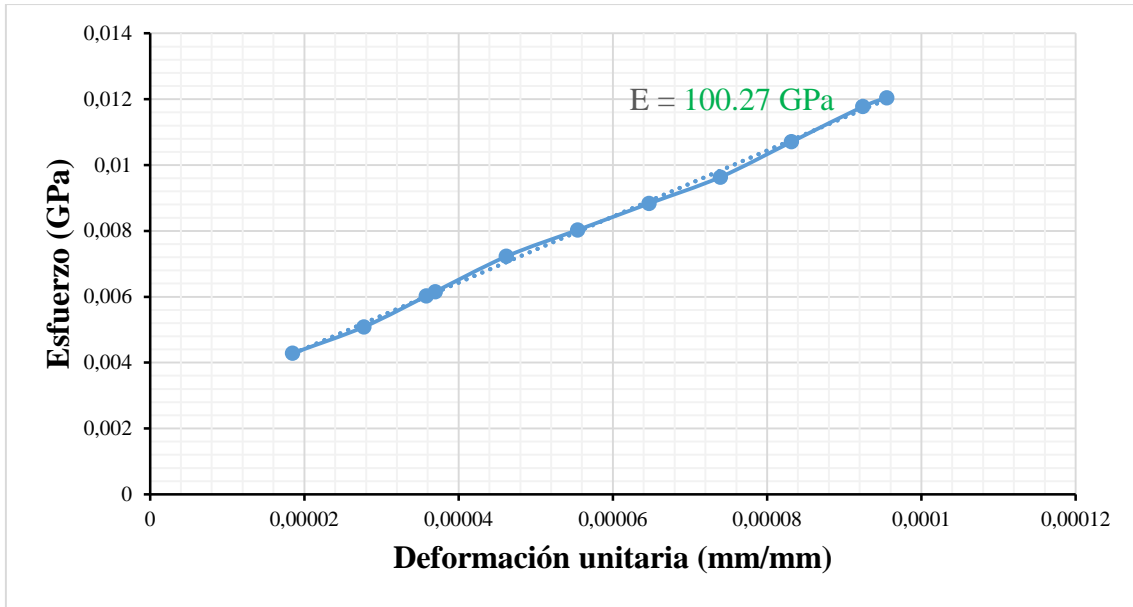


Figura 35. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 15.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

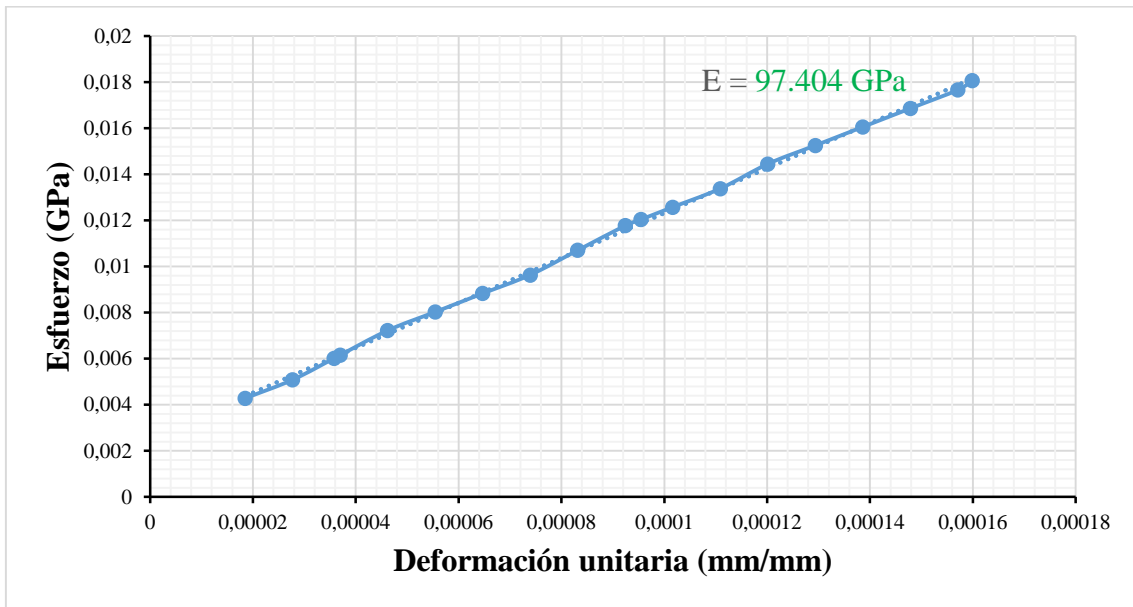


Figura 36. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 15.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

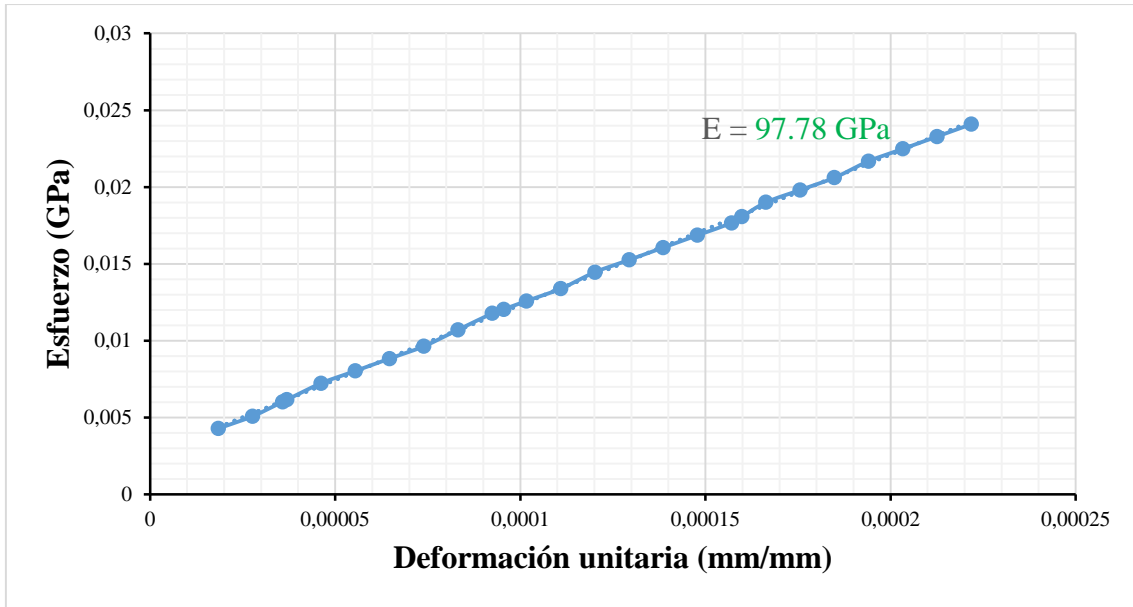


Figura 37. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 15.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

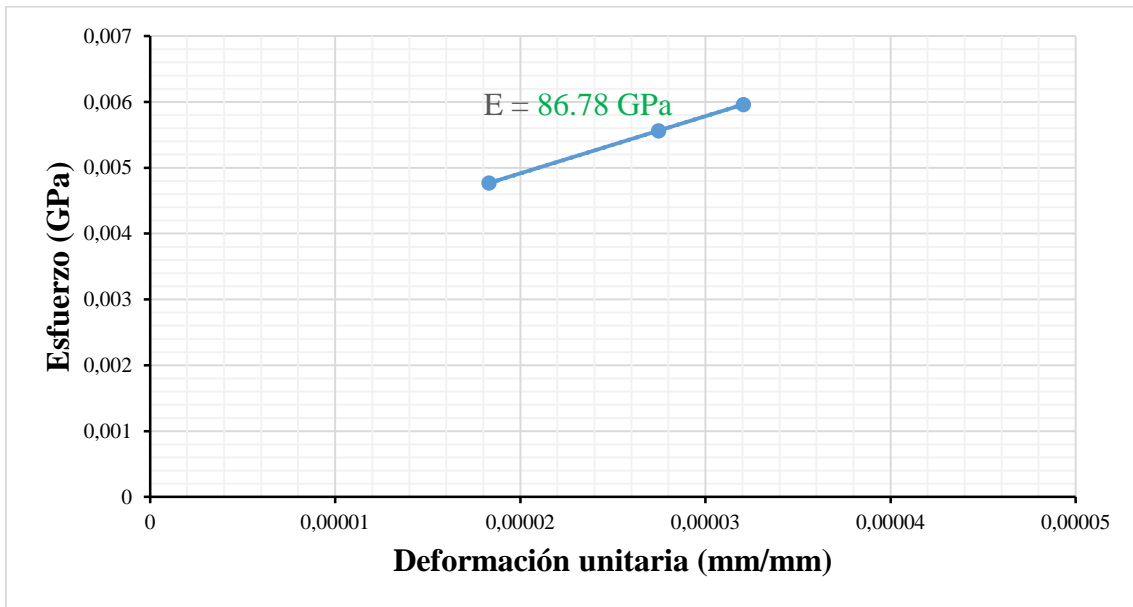


Figura 38. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 17.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

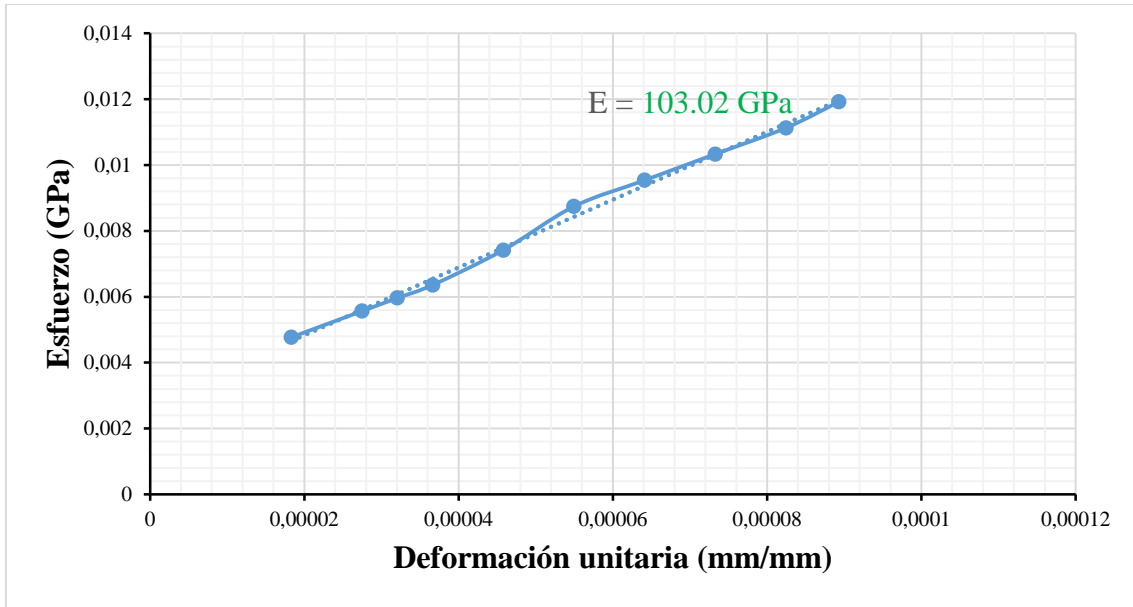


Figura 39. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 17.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

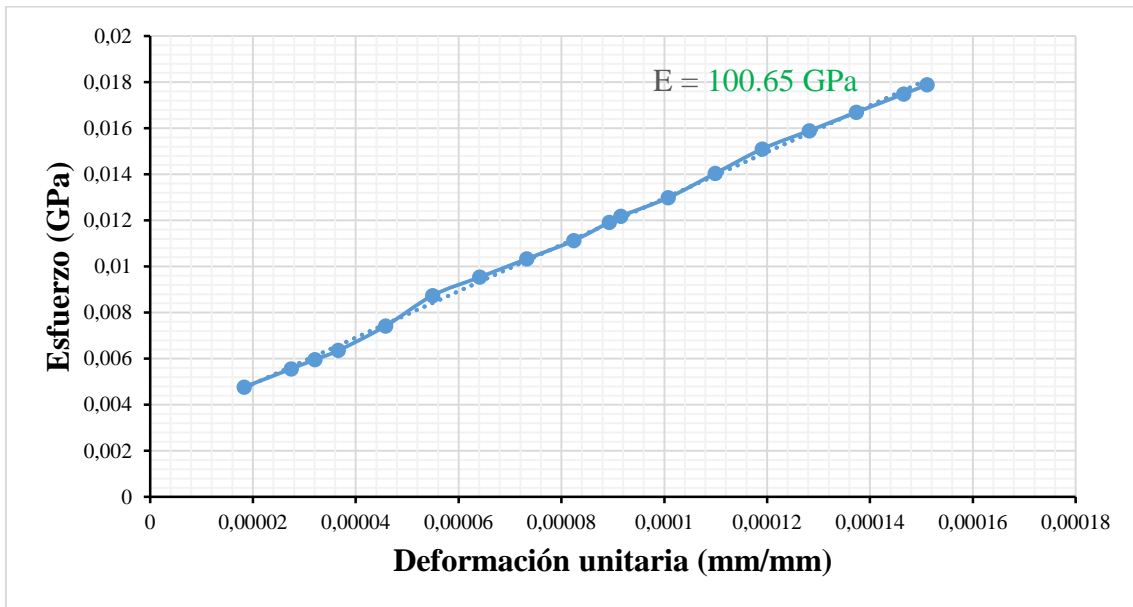


Figura 40. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 17.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

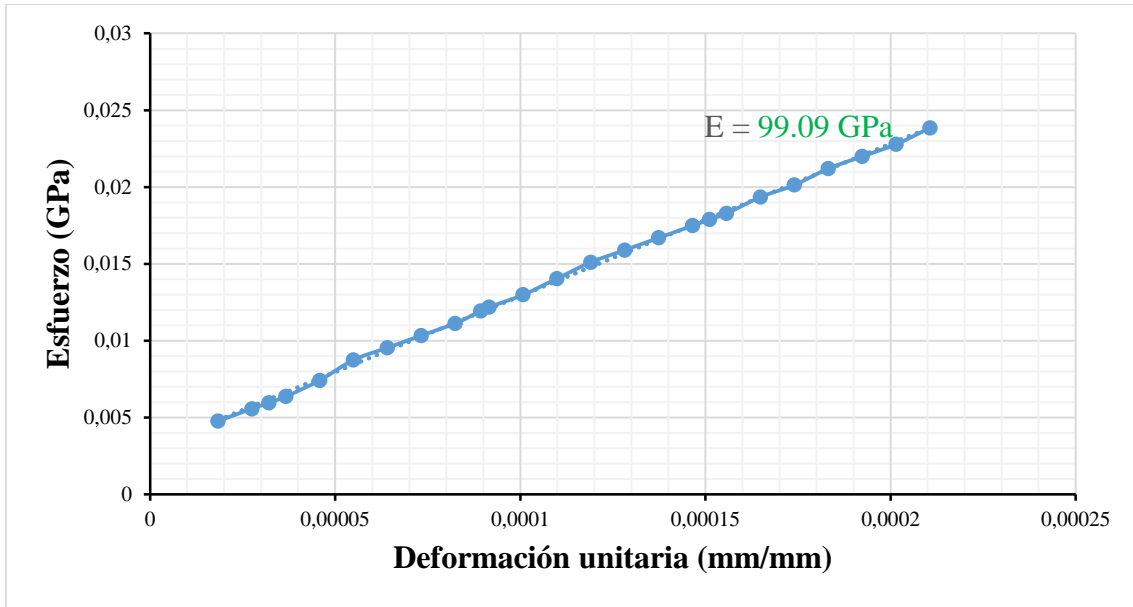


Figura 41. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 17.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Anexo 5. Curvas esfuerzo vs deformación unitaria de probetas de roca dacita.

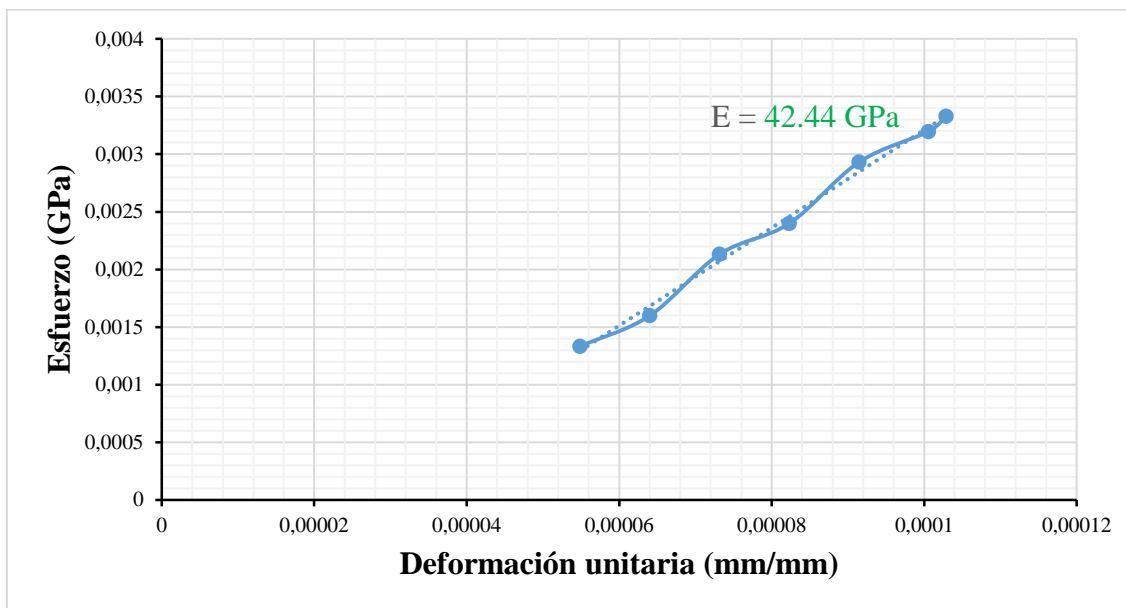


Figura 42. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 5.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

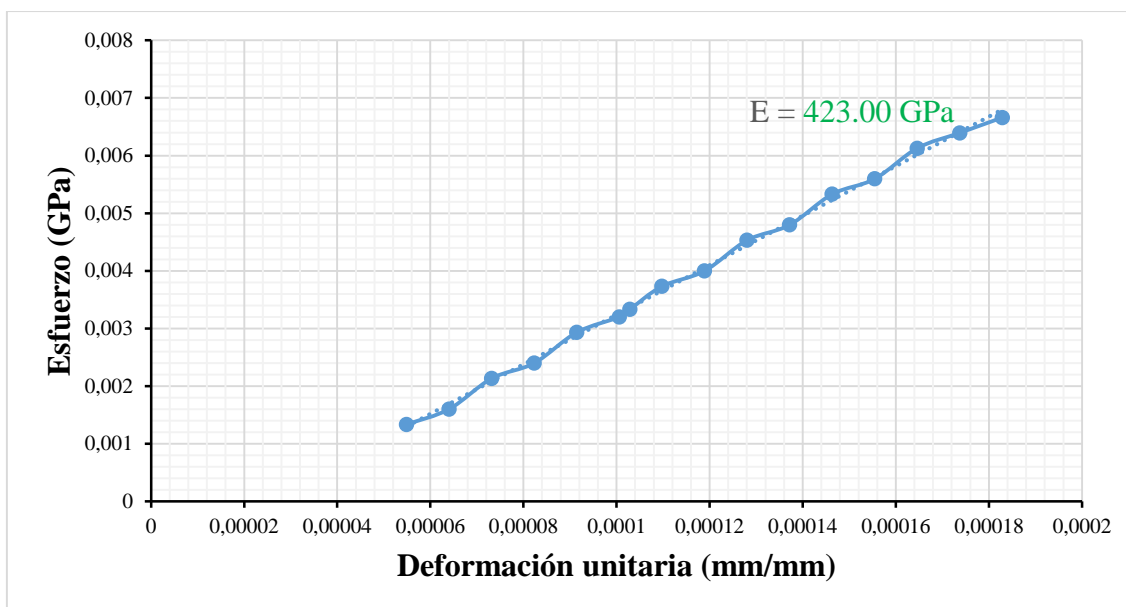


Figura 43. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 5.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

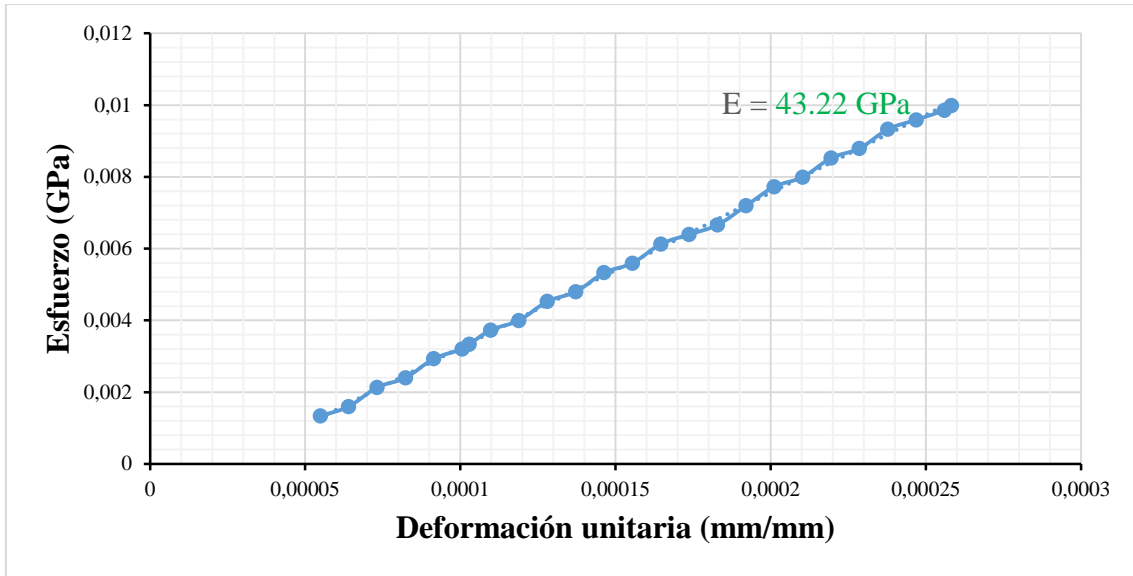


Figura 44. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 5.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

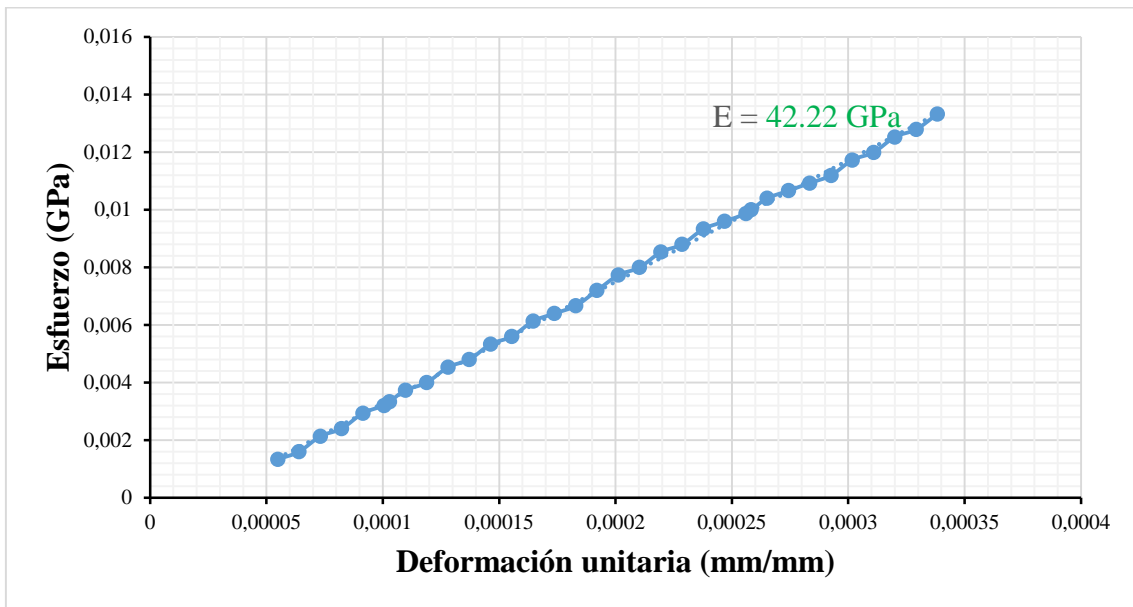


Figura 45. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 5.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

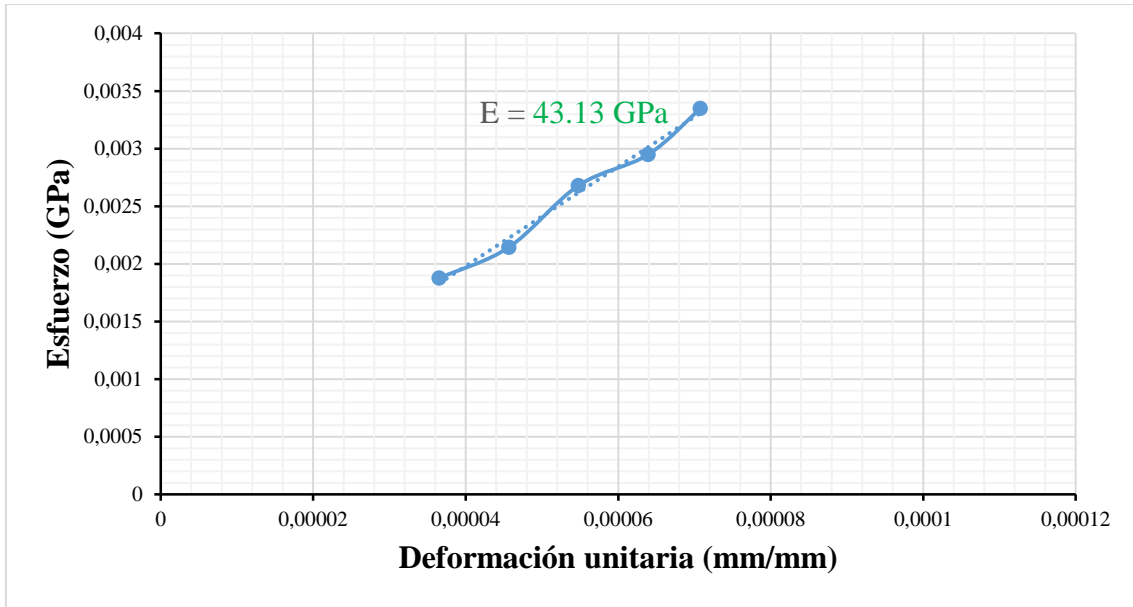


Figura 46. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 6.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

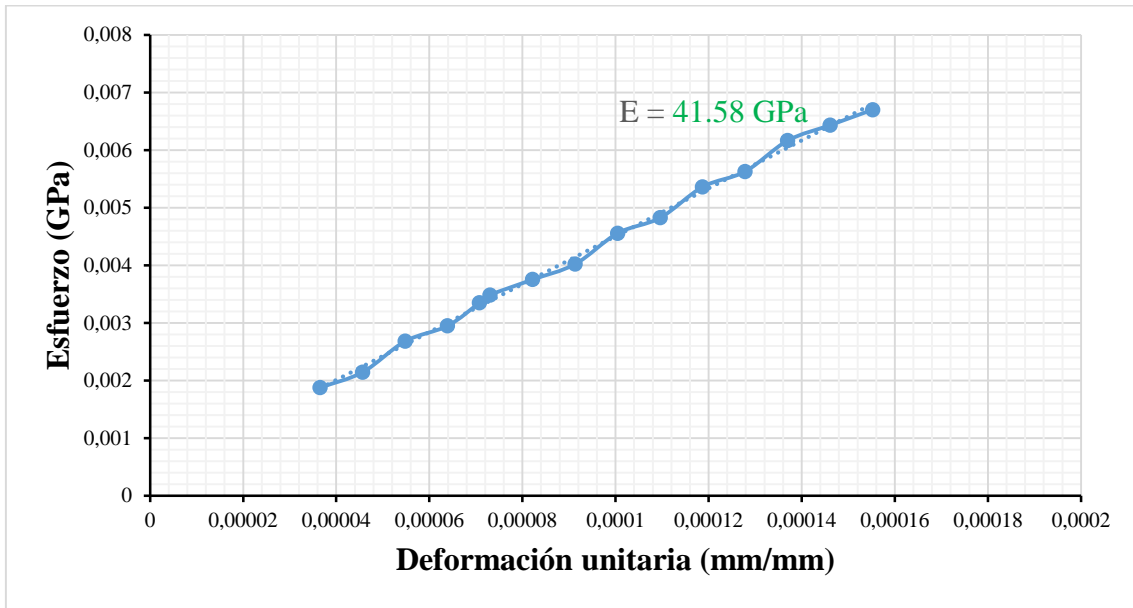


Figura 47. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 6.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

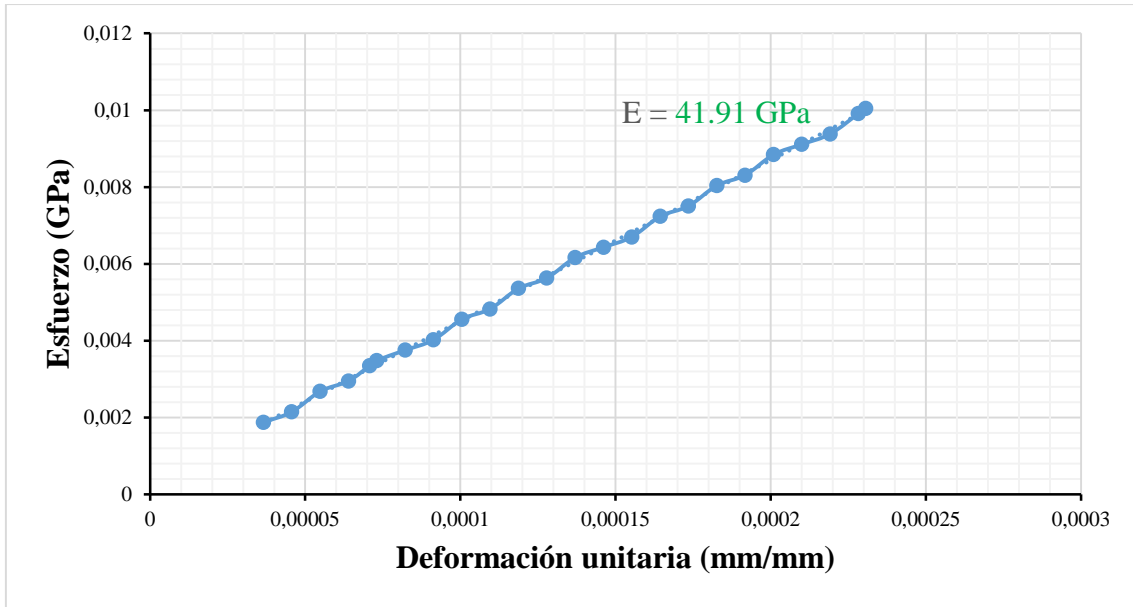


Figura 48. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 6.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

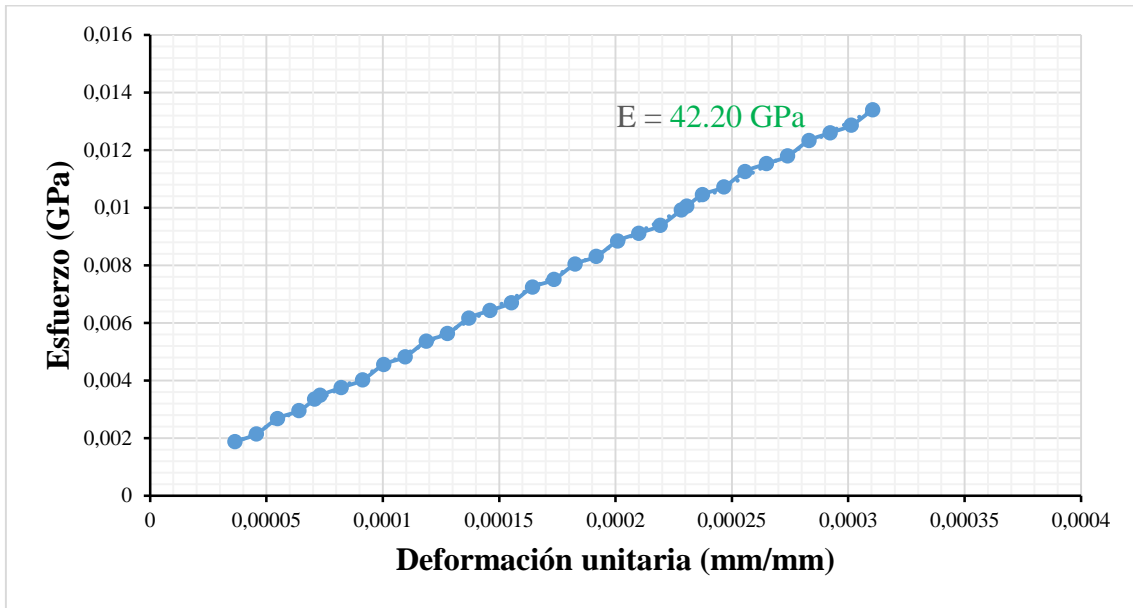


Figura 49. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 6.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

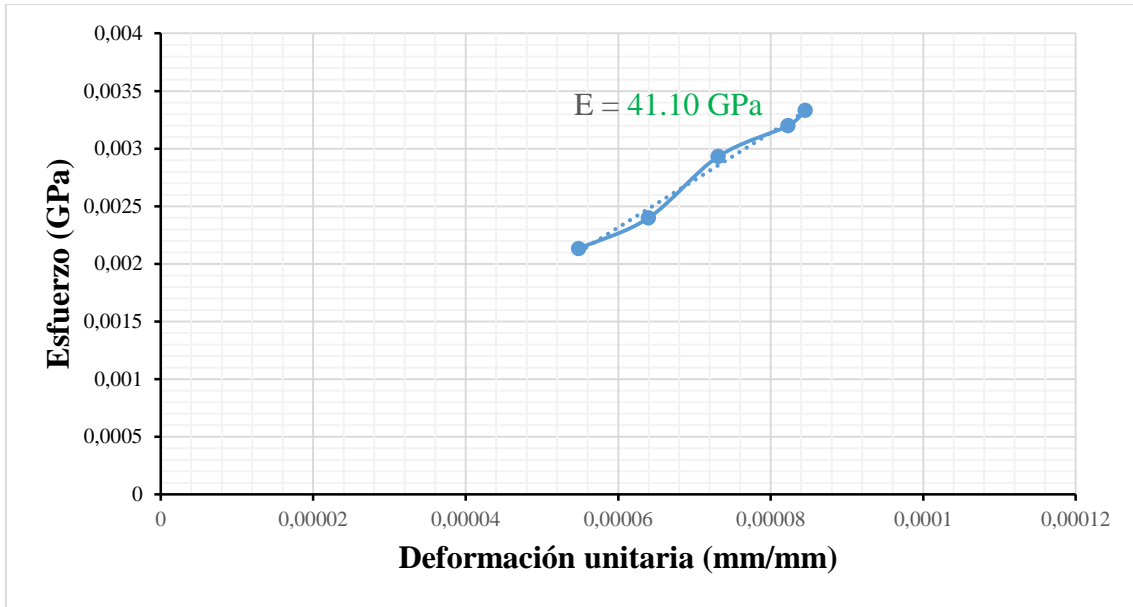


Figura 50. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 8.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

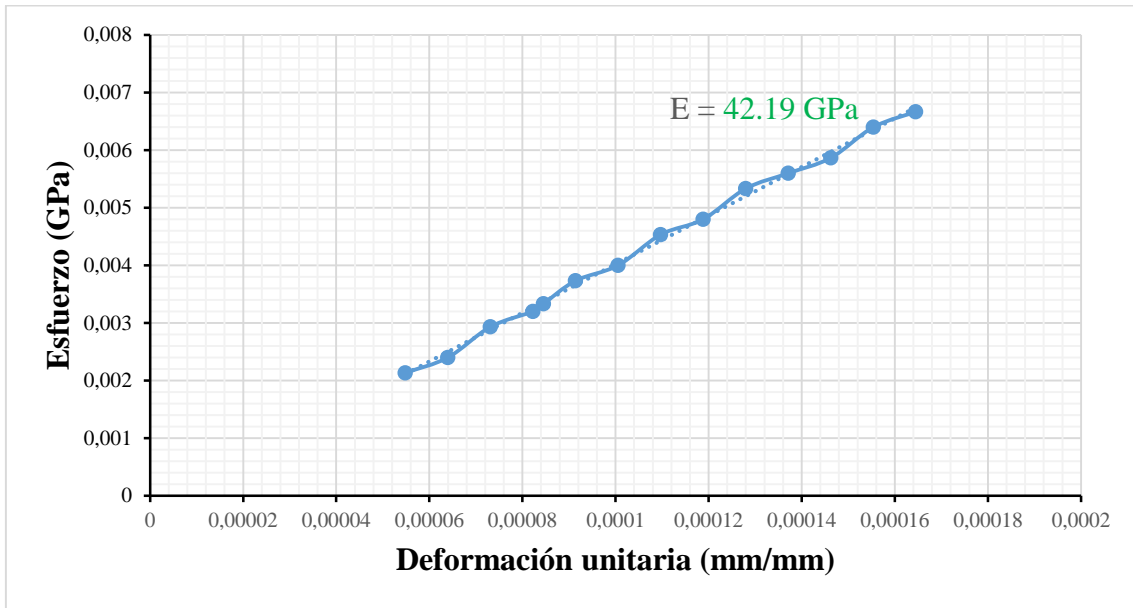


Figura 51. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 8.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

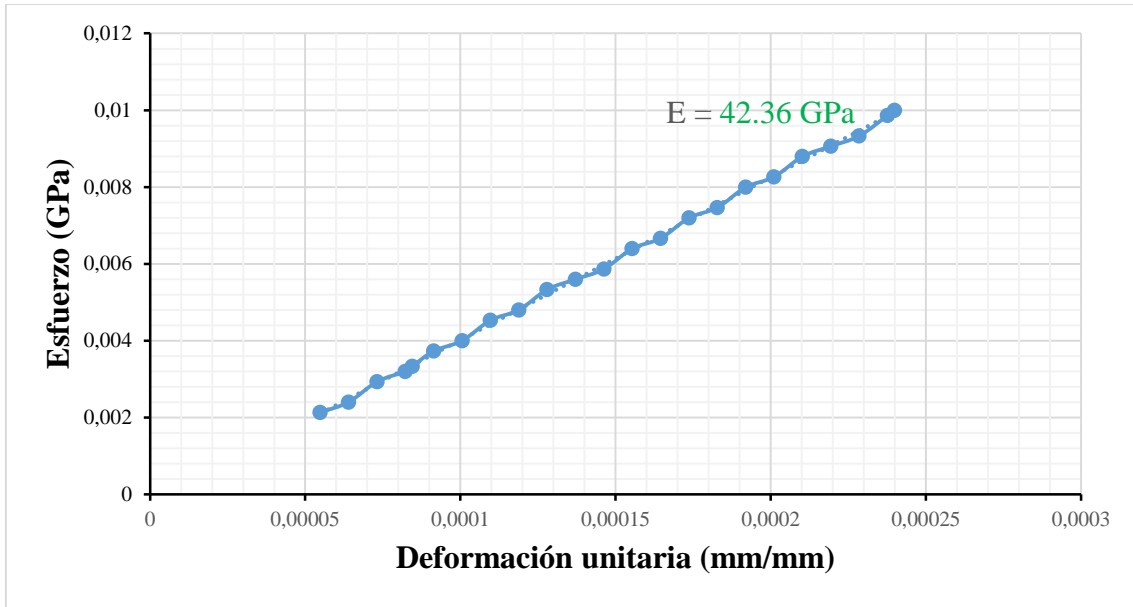


Figura 52. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 8.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

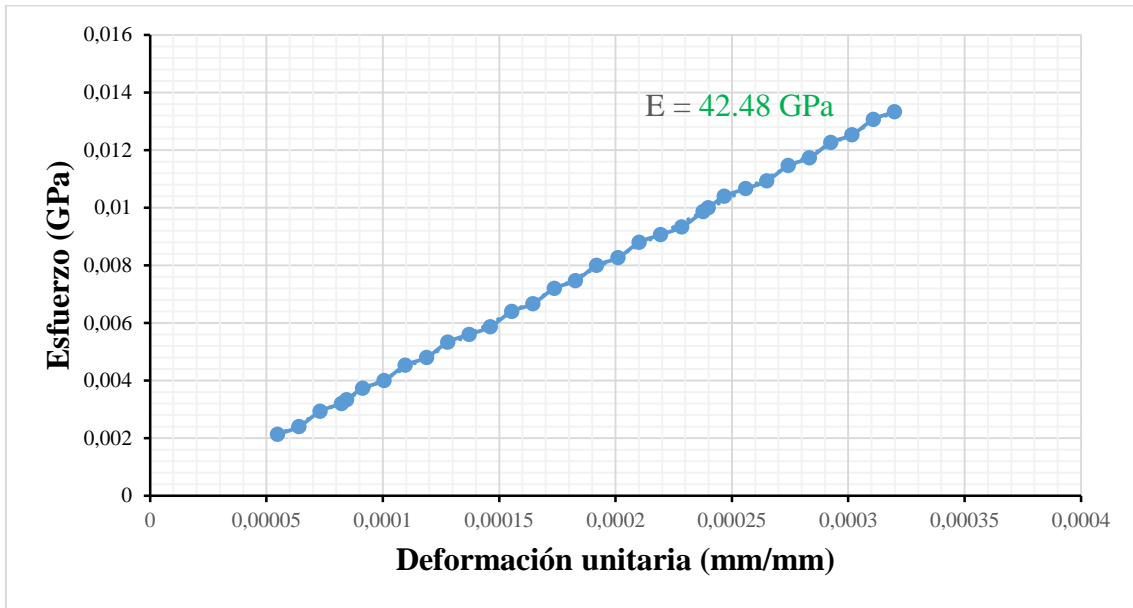


Figura 53. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 8.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

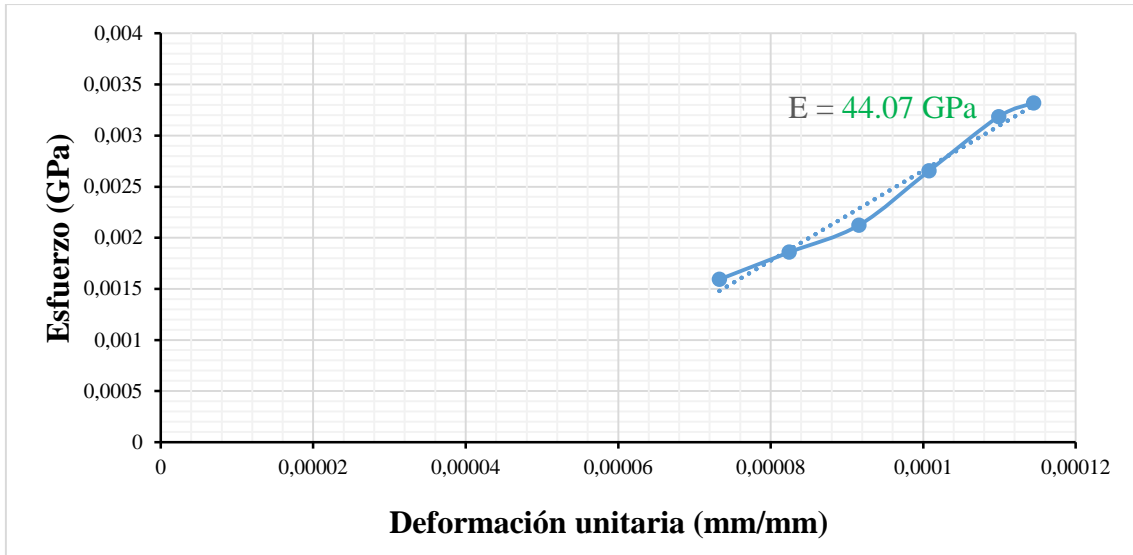


Figura 54. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 16.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

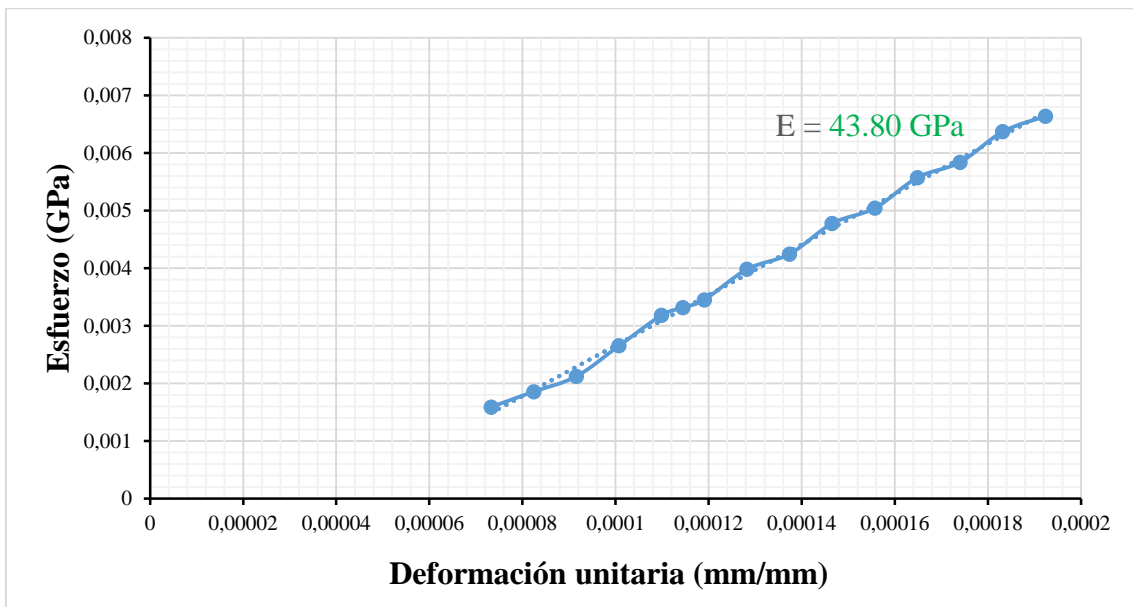


Figura 55. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 16.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

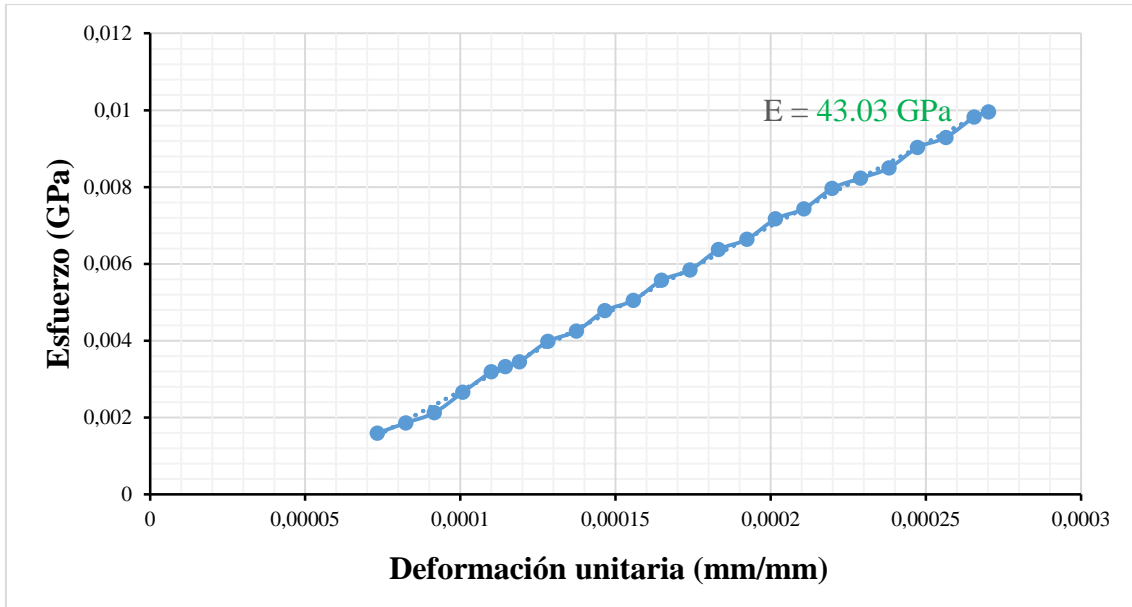


Figura 56. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 16.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

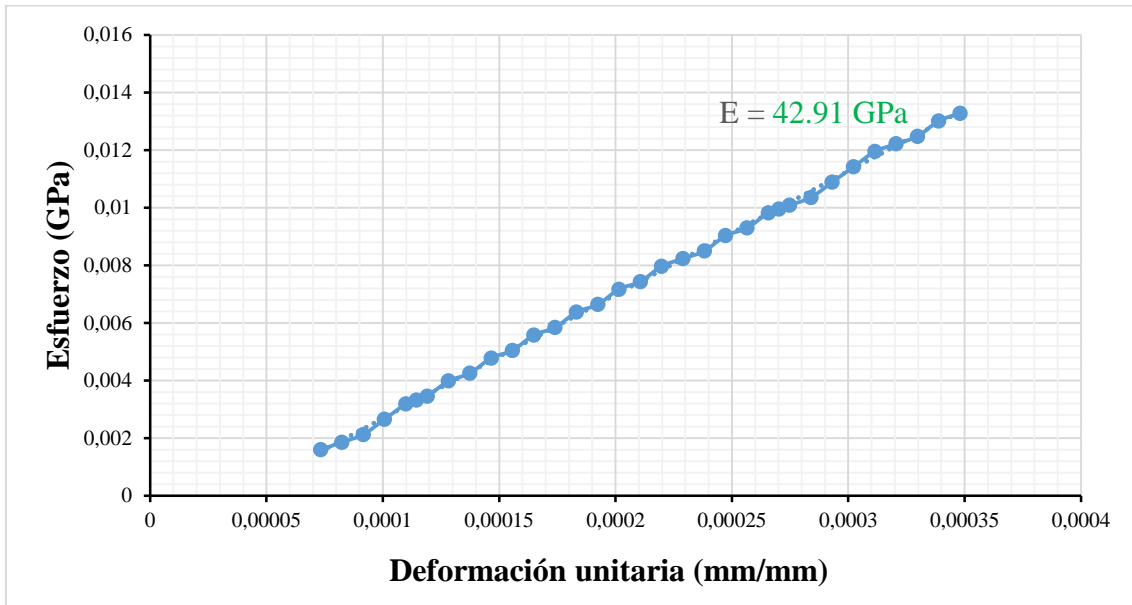


Figura 57. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 16.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

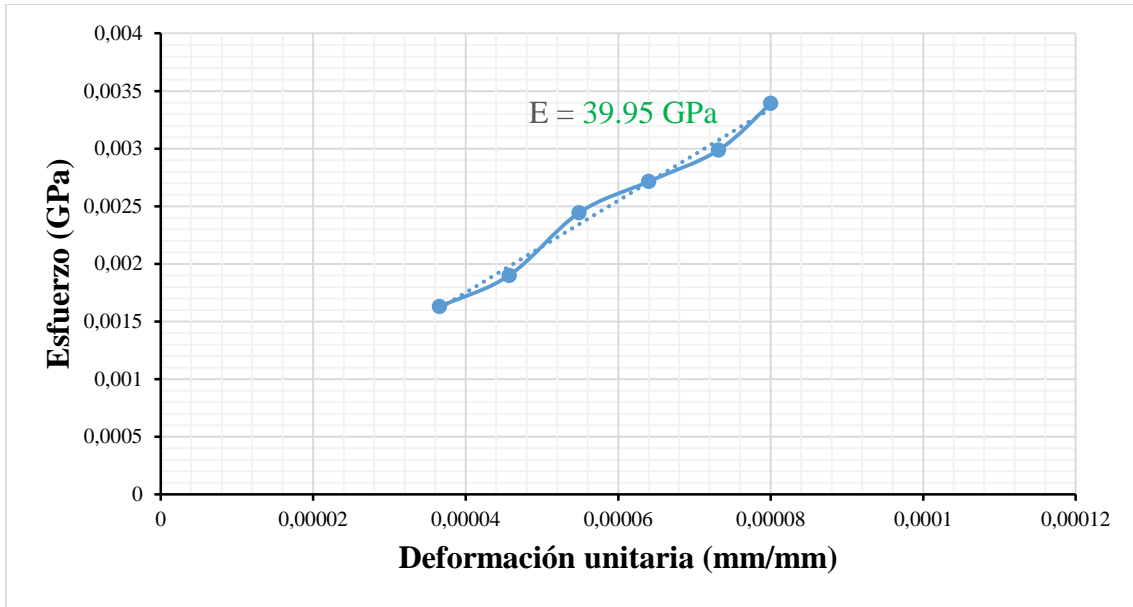


Figura 58. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 22.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

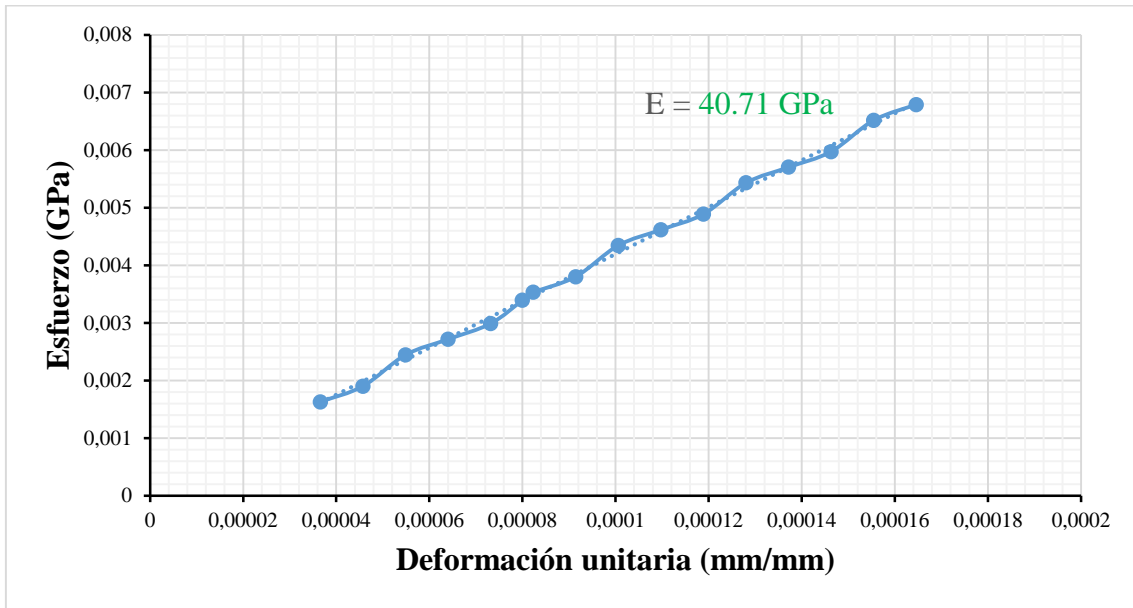


Figura 59. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 22.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

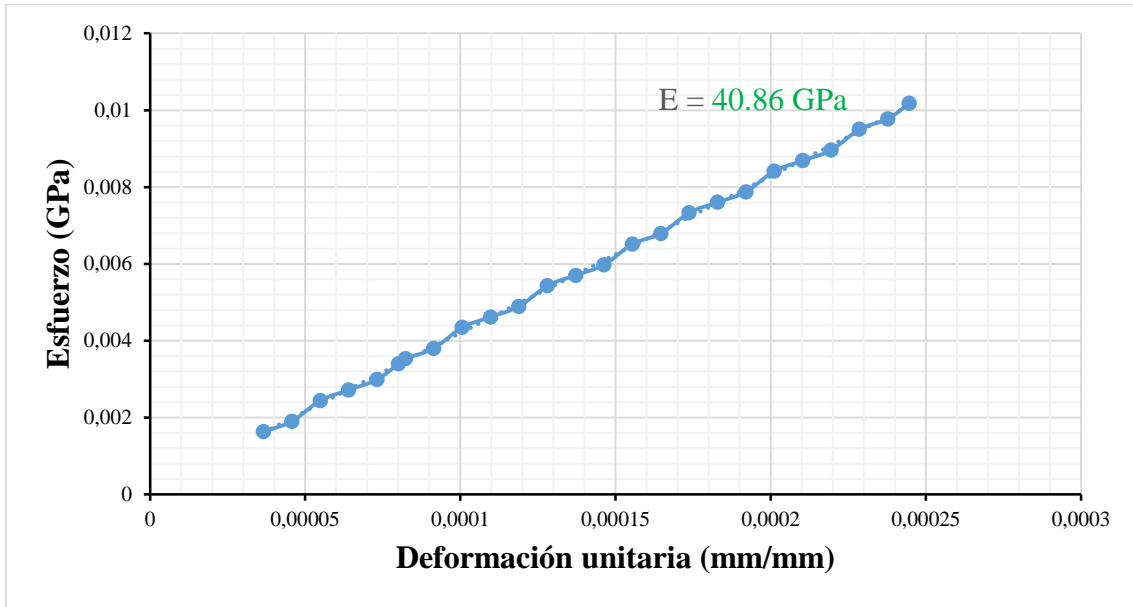


Figura 60. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 22.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

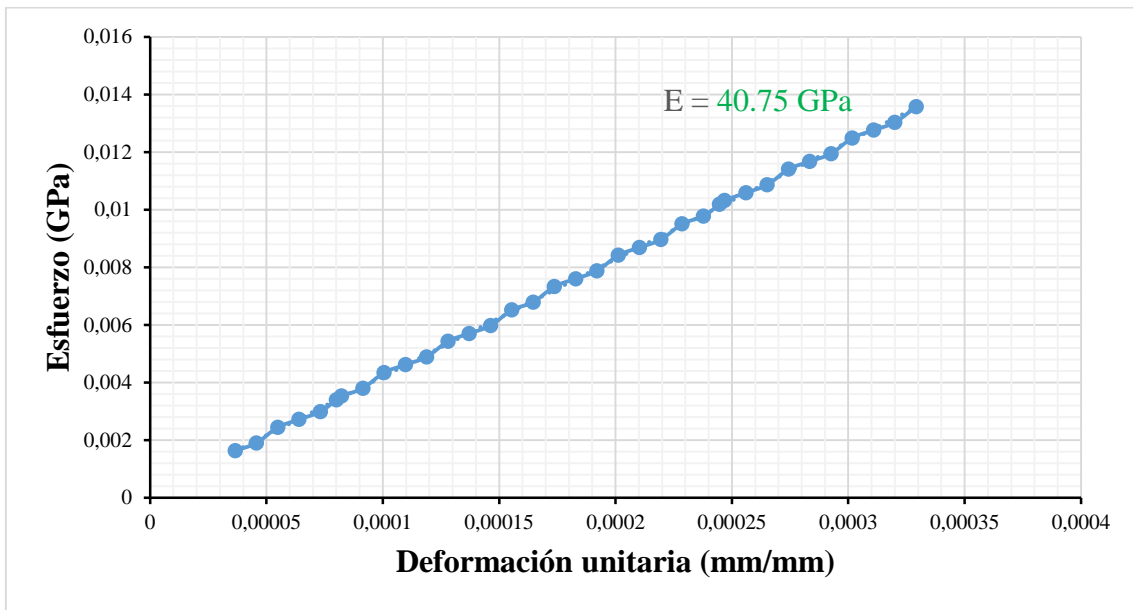


Figura 61. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 22.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Anexo 6. Curvas esfuerzo vs deformación unitaria de probetas de roca toba.

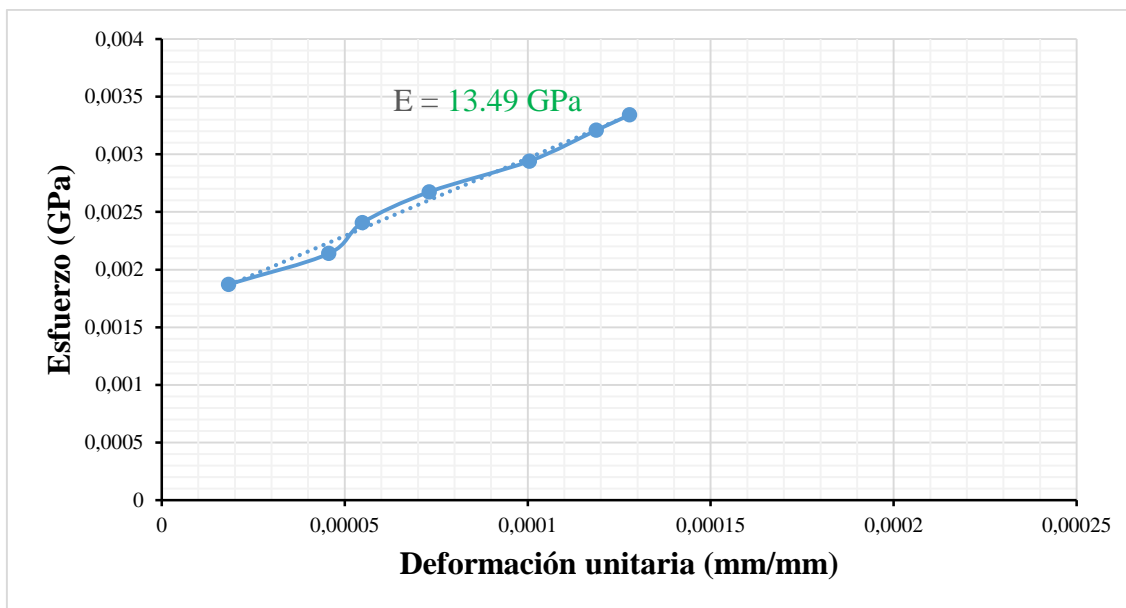


Figura 62. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 4.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

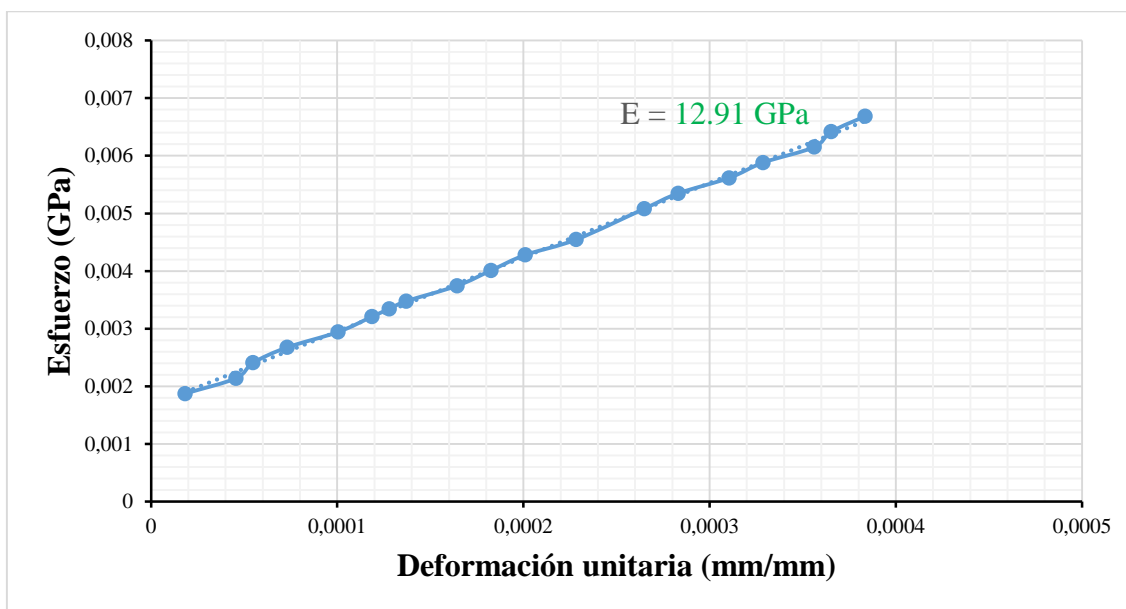


Figura 63. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 4.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

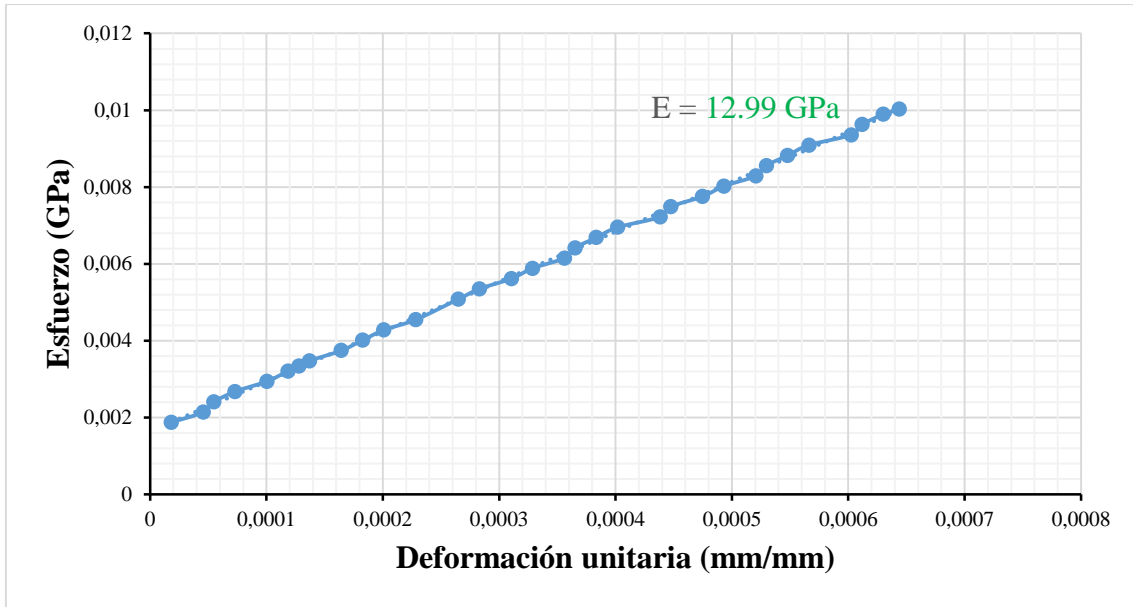


Figura 64. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 4.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

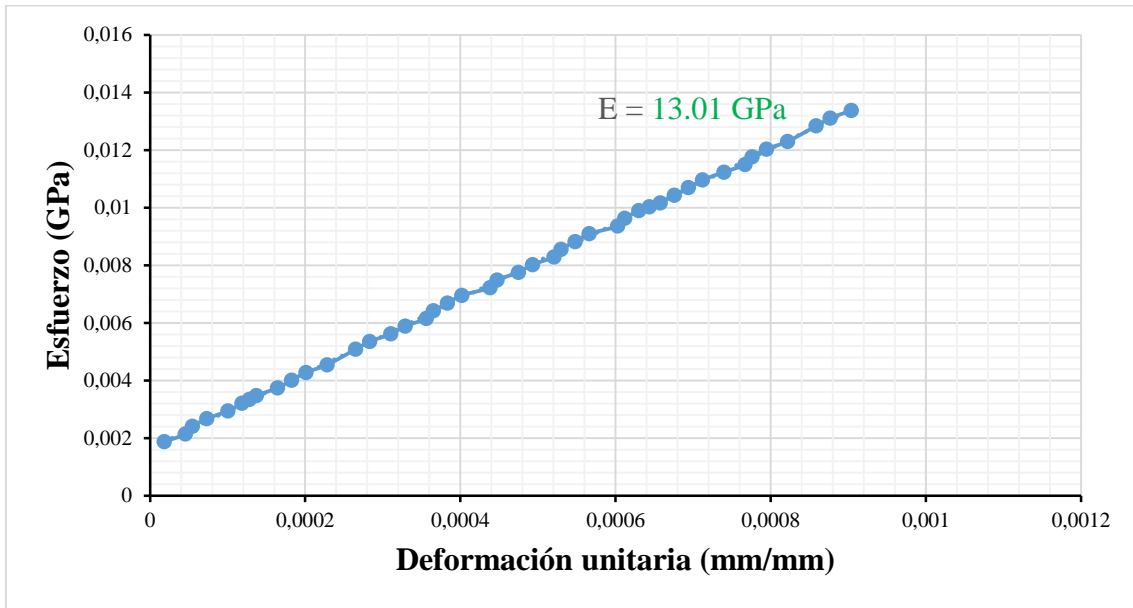


Figura 65. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 4.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

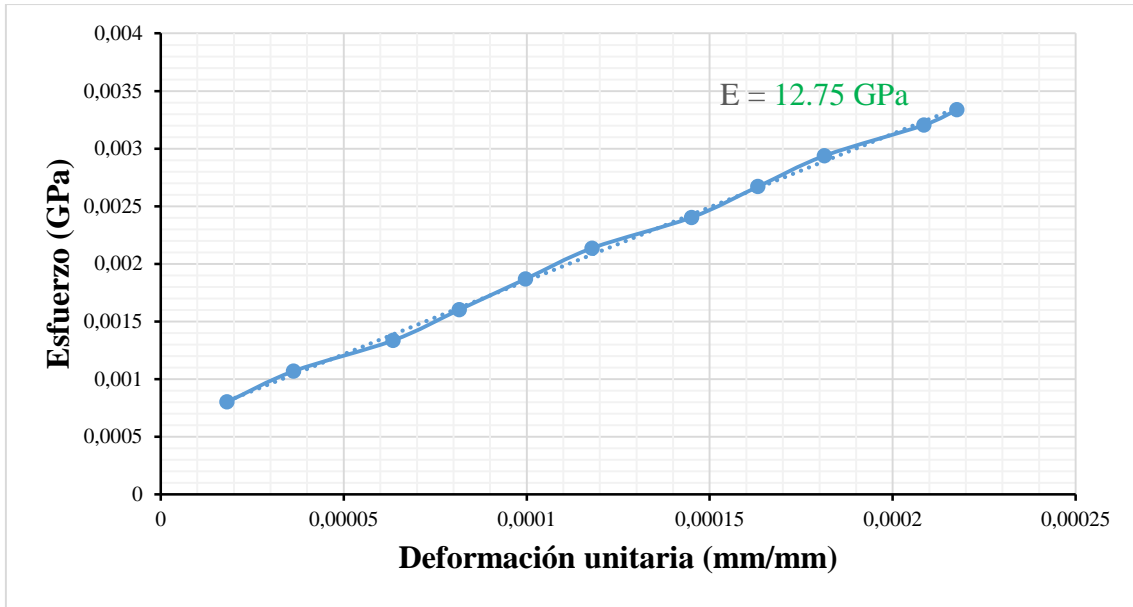


Figura 66. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 7.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

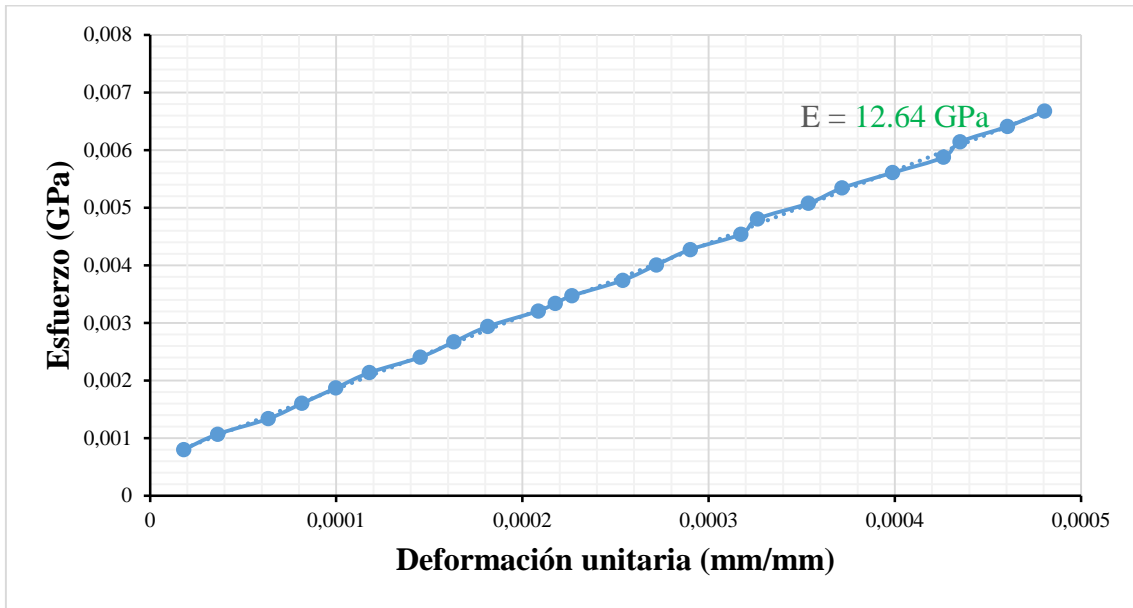


Figura 67. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 7.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

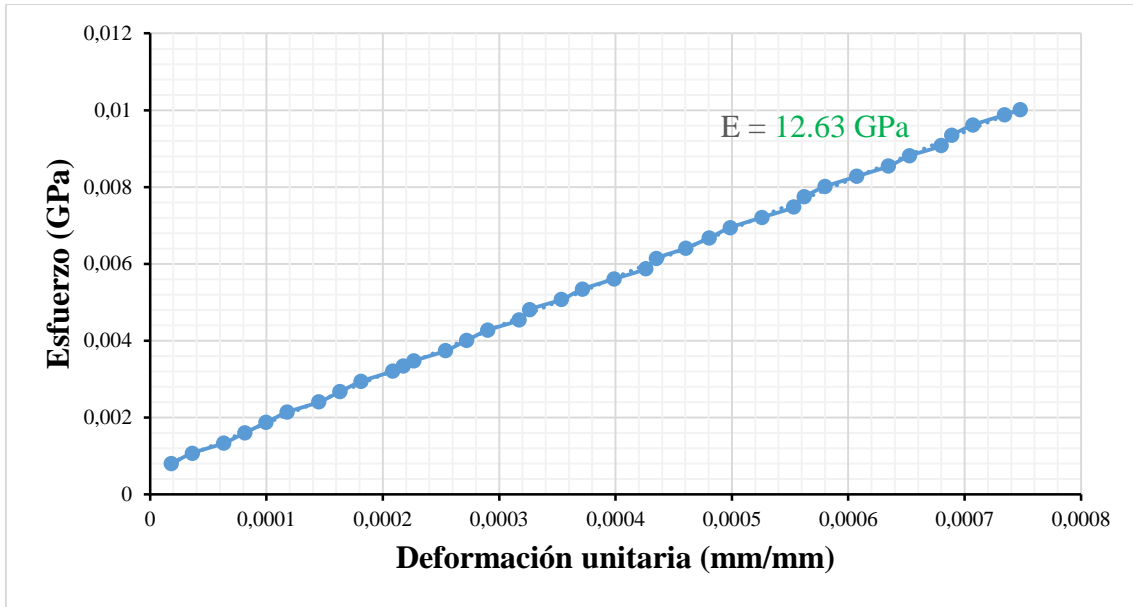


Figura 68. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 7.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

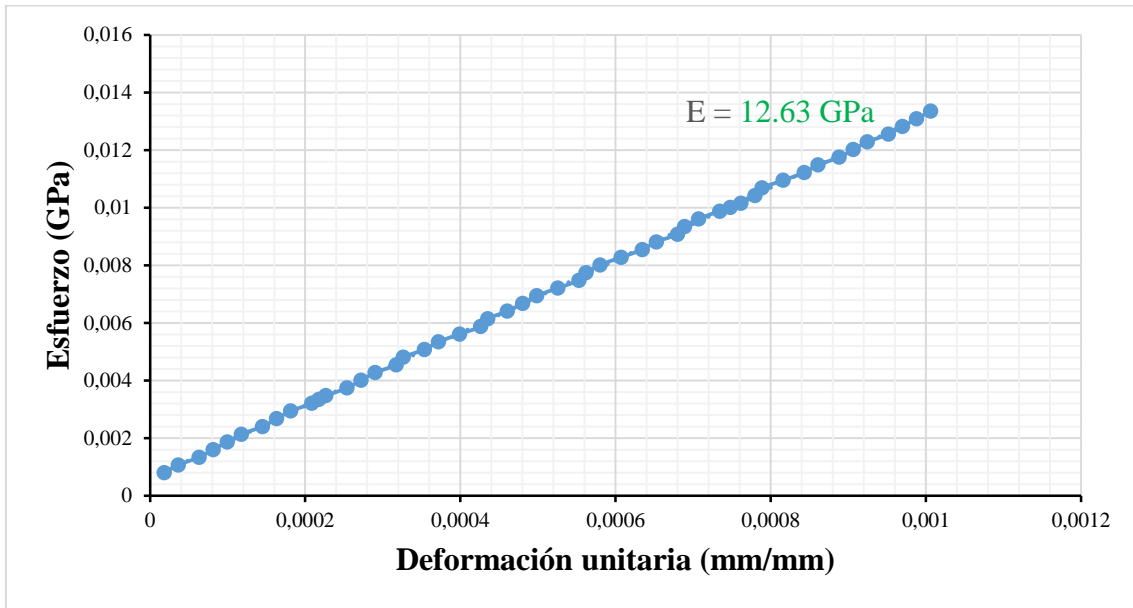


Figura 69. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 7.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

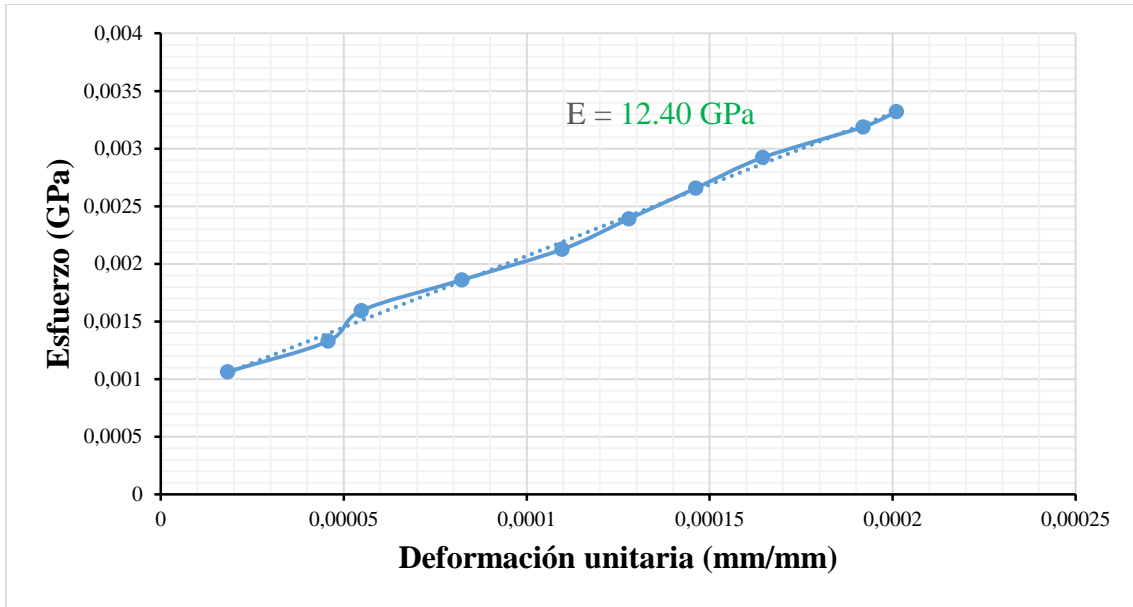


Figura 70. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 9.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

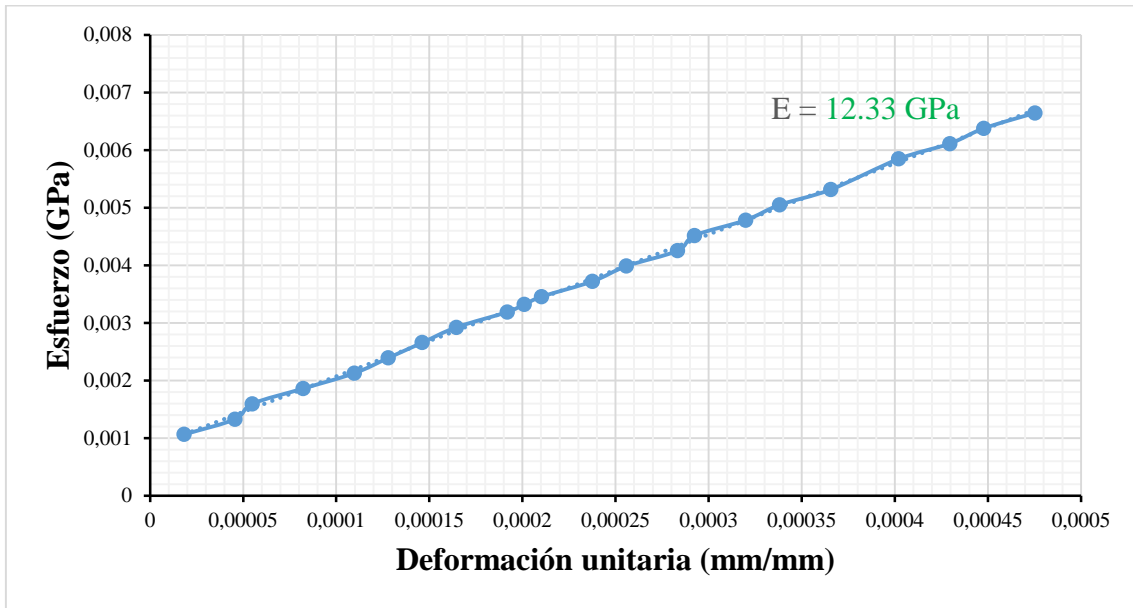


Figura 71. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 9.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

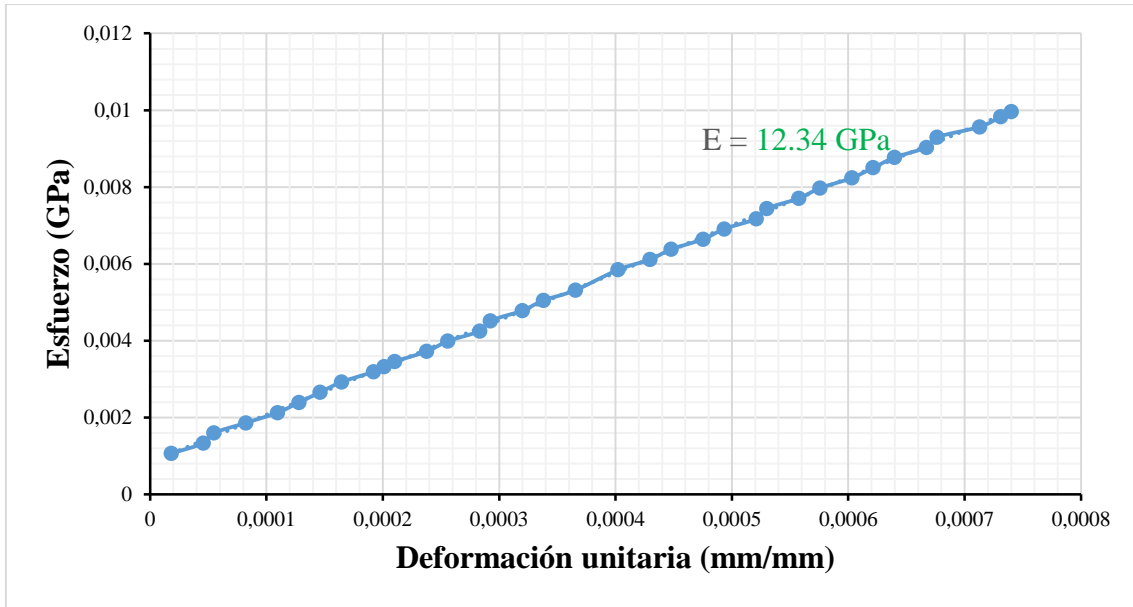


Figura 72. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 9.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

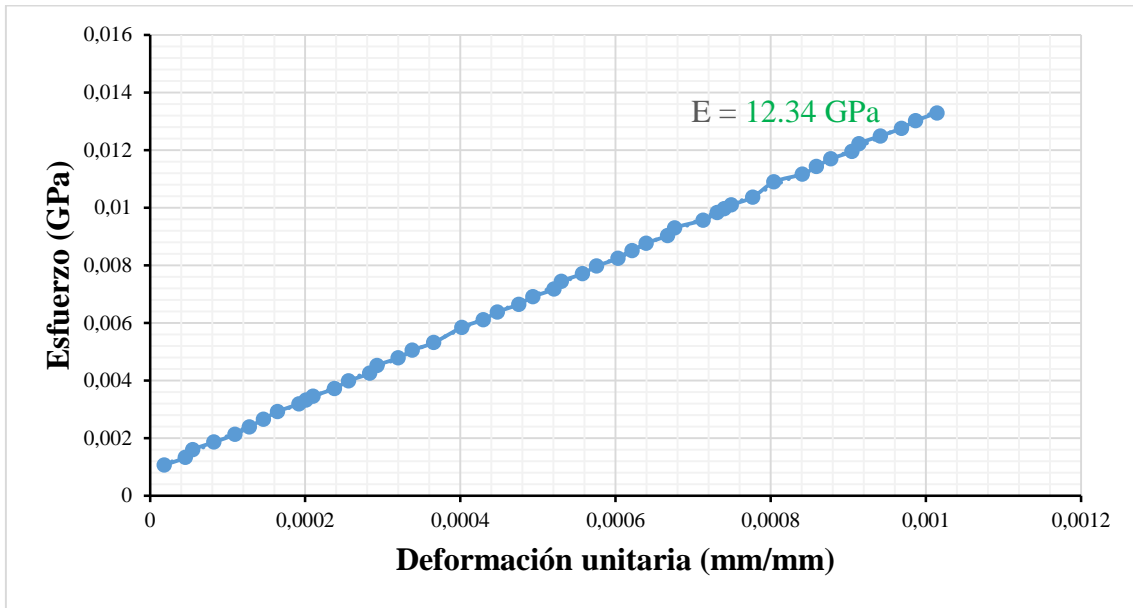


Figura 73. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 9.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

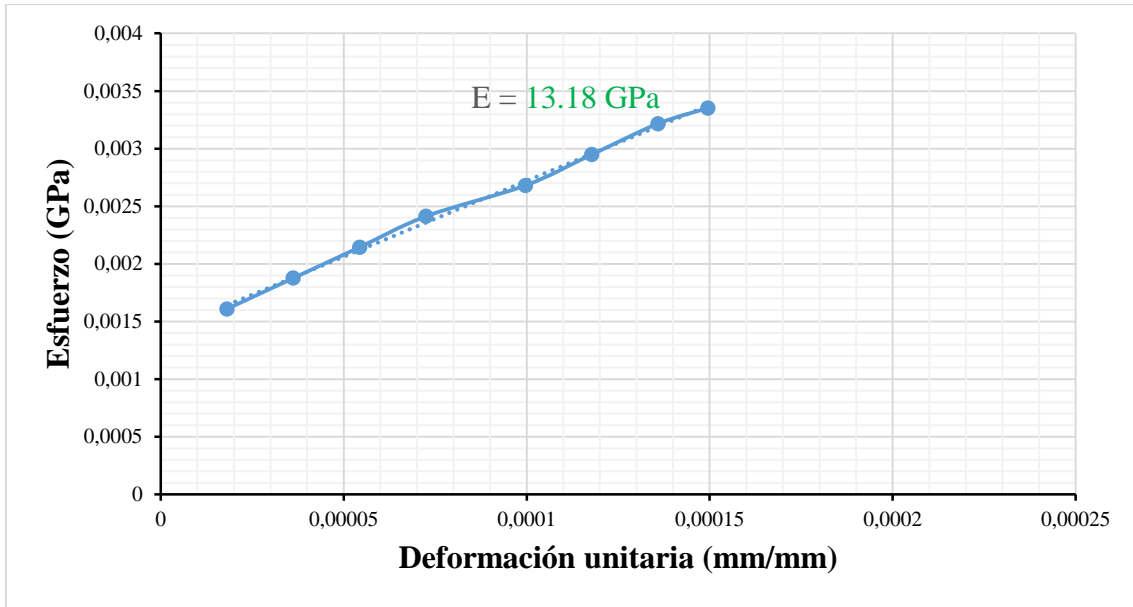


Figura 74. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 10.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

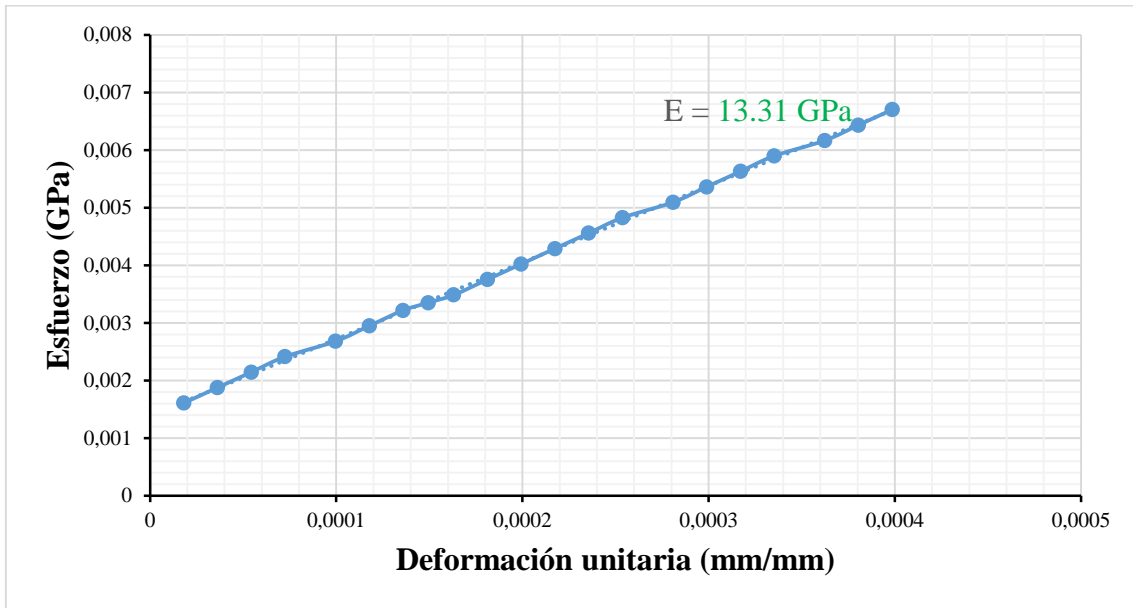


Figura 75. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 10.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

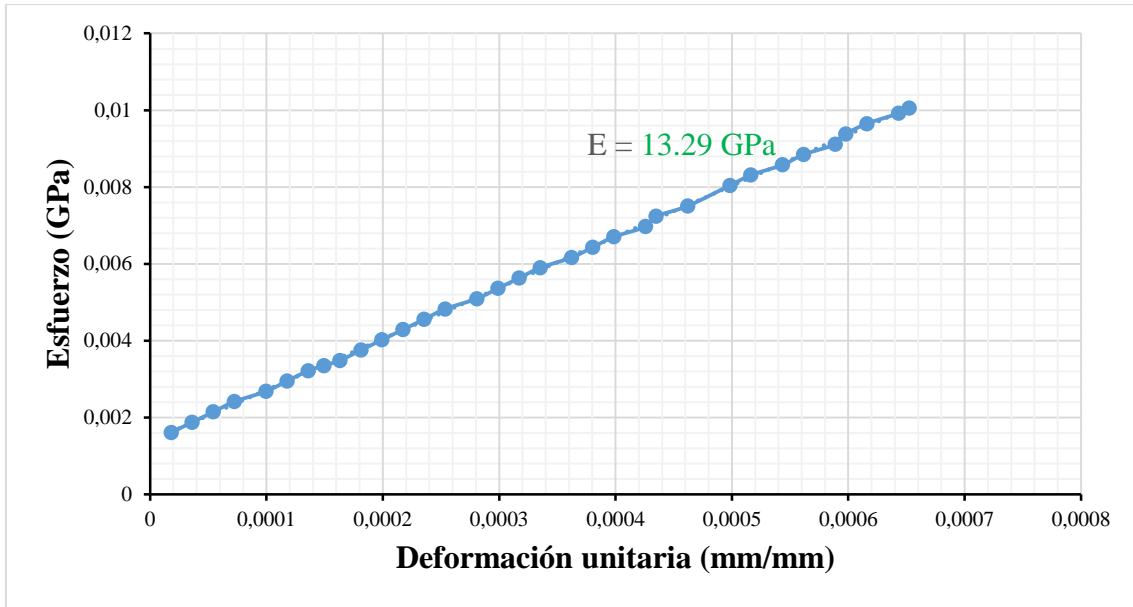


Figura 76. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 10.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

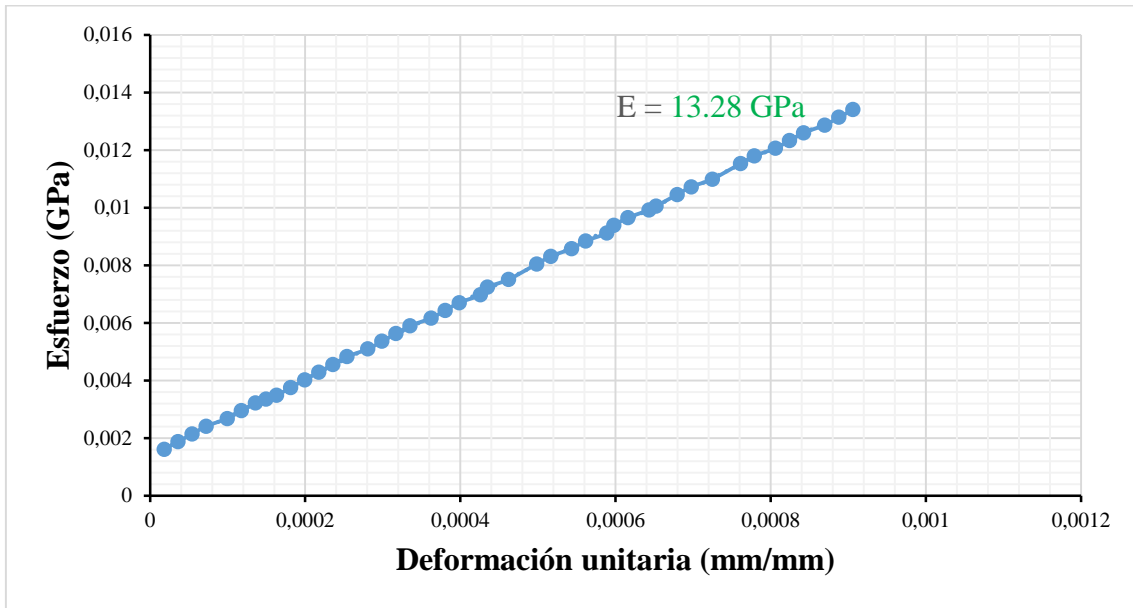


Figura 77. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 10.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

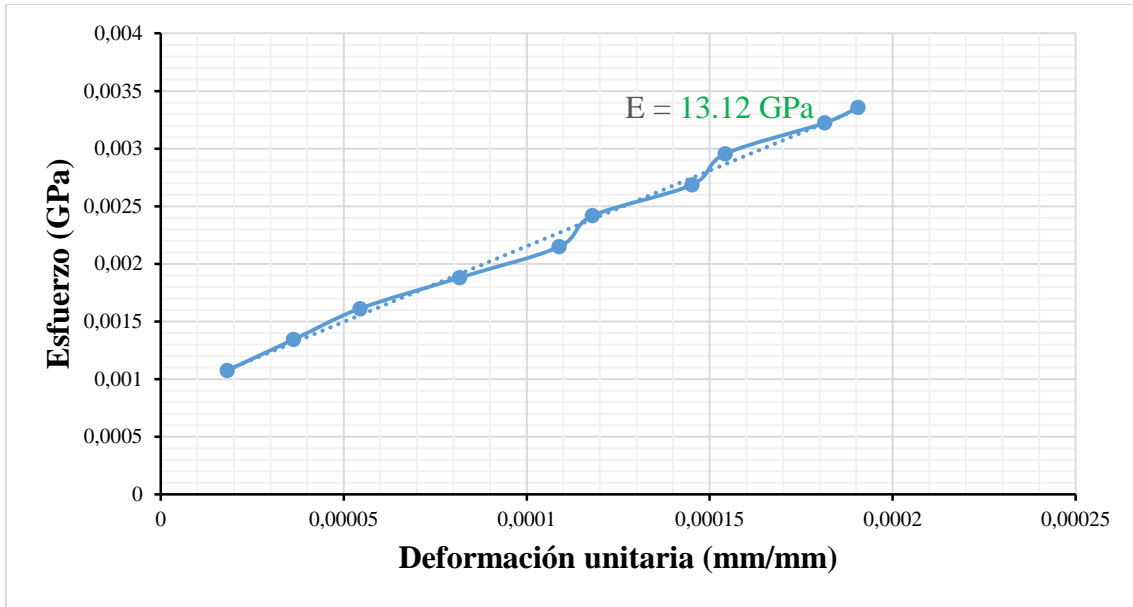


Figura 78. Esfuerzo vs deformación unitaria, 25% de su resistencia, muestra 13.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

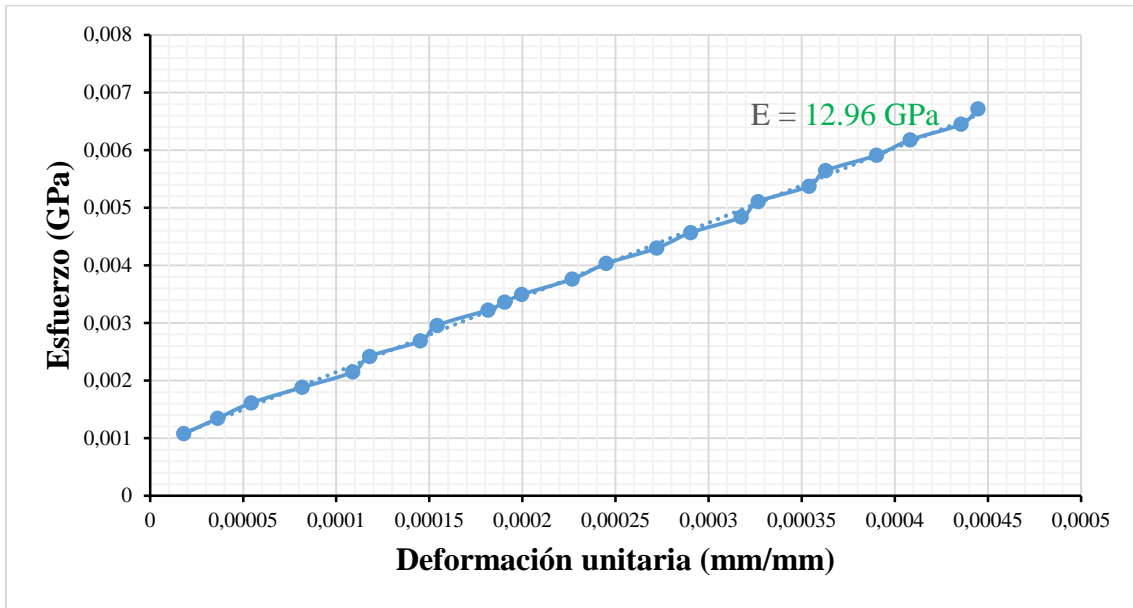


Figura 79. Esfuerzo vs deformación unitaria, 50% de su resistencia, muestra 13.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

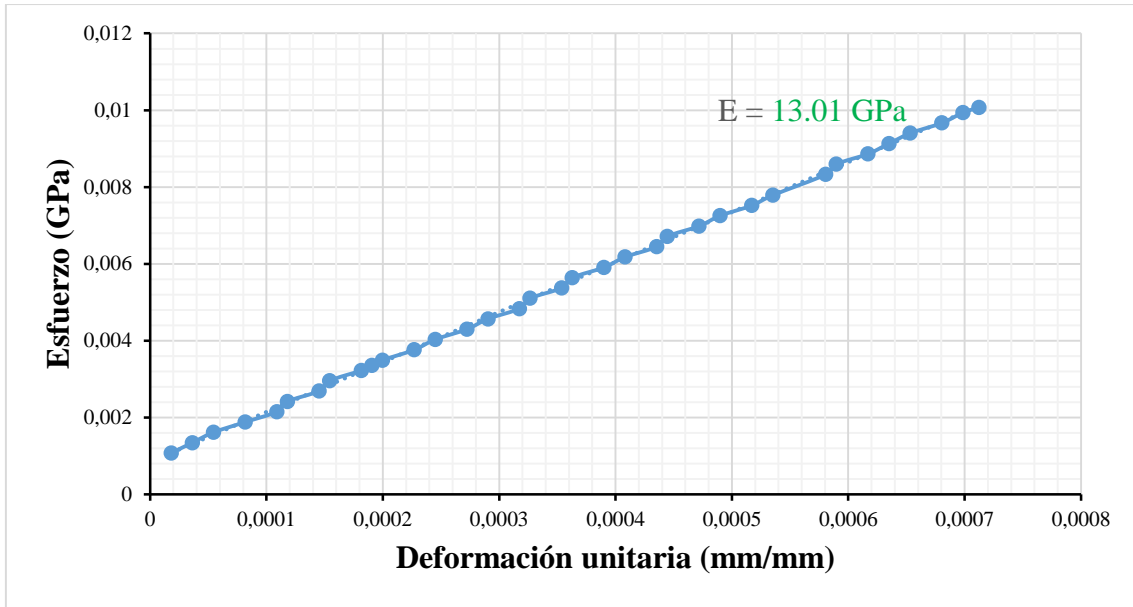


Figura 80. Esfuerzo vs deformación unitaria, 75% de su resistencia, muestra 13.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

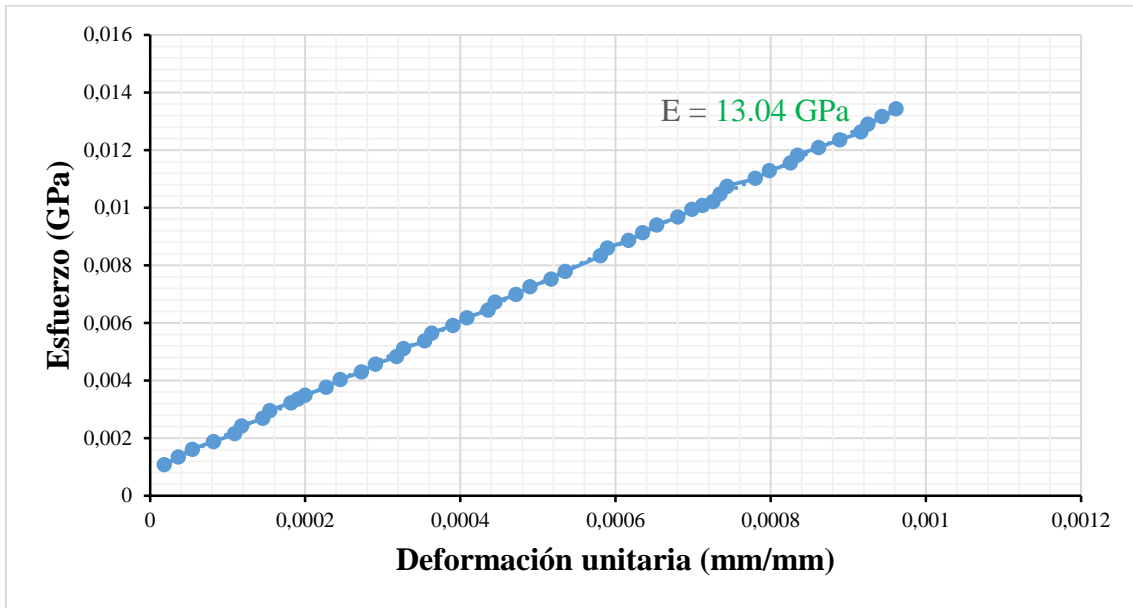


Figura 81. Esfuerzo vs deformación unitaria, 100% de su resistencia, muestra 13.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Anexo 7. Ubicación de rocas para la obtención de probetas



Figura 82. Ubicación en la cantera de cada muestra de roca extraída.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.

Anexo 8. Evidencia fotográfica



Figura 83. Coordenadas y altura de la cantera Cerro Negro.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.



Figura 84. Extracción de núcleos de roca.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.



Figura 85. Ensayo de compresión en probeta de roca.

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.



Figura 86. Obtención de muestras de agregado

Elaborado por: Allauca Maji Henry Fernando.