

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**Caracterización de la curva esfuerzo-deformación de prismas de
mampostería con bloques de concreto de 20x20x40 cm bajo
carga axial**

Trabajo de Graduación

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

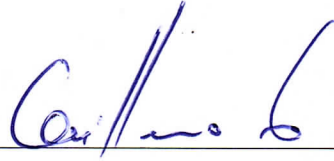
Presenta:

Víctor Andrés Vargas Rodríguez

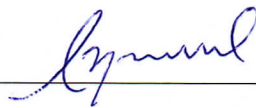
Director de Proyecto de Graduación:
Ing. Guillermo González Beltrán, PhD

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Miembros del Tribunal



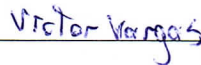
Director. Ing. Guillermo González Beltrán, PhD



Asesor. Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.



Asesora. Ing. Andrea Ramírez Villalba



Estudiante. Víctor Andrés Vargas Rodríguez

2023, Setiembre, 07

El suscrito, Víctor Andrés Vargas Rodríguez, cédula 2-0758-0256, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B47413, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación Caracterización de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 20x20x40 cm bajo carga axial, bajo la Dirección del Ing. Guillermo González, Ph.D, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación. Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedicatoria

A mis padres María Isabel Rodríguez Vargas y Juan Bautista Vargas Artavia por su apoyo y compañía incondicional.

Agradecimientos

A mis padres María Isabel Rodríguez Vargas y Juan Bautista Vargas Artavia por el constante apoyo y amor incondicional durante toda mi vida.

A el Ing. Guillermo González Beltrán, la Ing. Andrea Ramírez Villalba y el Ing. Alejandro Navas Carro por su ayuda brindada, sus consejos y disposición durante este proyecto de graduación.

De igual manera, a las empresas Productos de Concreto e INTACO por la donación de materiales necesarios para poder realizar esta investigación.

A todas las personas que de alguna manera formaron parte de este proceso.

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
1.1. Problema Específico	1
1.2. Importancia	1
1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema	2
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Delimitación del problema	5
1.5.1. Alcance	5
1.5.2. Limitaciones.....	6
1.6. Metodología.....	7
2. Marco Teórico	10
2.1. Propiedades de los componentes de la mampostería de concreto	10
2.1.1. Bloques	10
2.1.2. Mortero de Pega.....	12
2.1.3. Concreto de relleno	14
2.2. Resistencia a la compresión de los prismas de mampostería.....	15
2.3. Curva esfuerzo deformación y módulo de elasticidad	16
3. Programa Experimental.....	17
3.1. Unidades de mampostería	17
3.2. Mortero de pega	17
3.3. Concreto de relleno.....	18
3.4. Prismas de mampostería.....	19
3.4.1. Proceso de construcción.....	19
3.4.2. Curado.....	22

3.4.3.	Coronamiento	22
3.5.	Compresión axial y medición de deformaciones de la mampostería	23
3.5.1.	Instrumentación y carga	23
4.	Presentación y análisis de resultados.....	28
4.1.	Bloques de mampostería	28
4.2.	Mortero de pega	30
4.3.	Concreto de relleno.....	33
4.4.	Prismas de mampostería.....	37
4.4.1.	Efecto de la resistencia del mortero.....	40
4.4.2.	Efecto de la resistencia del concreto de relleno.....	41
4.4.3.	Efecto de los bloques de mampostería.....	42
4.5.	Modos de falla	43
4.6.	Curva esfuerzo deformación.....	45
4.7.	Módulo de elasticidad.....	49
4.8.	Deformación Unitaria	52
5.	Conclusiones y recomendaciones	55
5.1.	Componentes de los prismas de mampostería.....	55
5.2.	Curva esfuerzo deformación.....	56
5.3.	Módulo de elasticidad (E'_m), resistencia en compresión (f'_m) y deformaciones (ϵ_m).....	56
5.4.	Recomendaciones	58
6.	Bibliografía	59
A.	Anexos.....	64
A.1.	Cuadros completos de dimensiones y datos de unidades de mampostería y prismas de mampostería	64
A.2.	Diagramas de caja	74

A.3. Curvas esfuerzo-deformación agrupadas por tipo de mortero, prismas rellenos y prismas vacíos.....	82
A.4. Curvas esfuerzo-deformación individuales	85
A.5. Curvas módulo de elasticidad y esfuerzos en los distintos prismas	115

Tabla de Figuras

Figura 1. Diagrama de la metodología de trabajo.....	9
Figura 2. Diferentes tipos de piezas de mampostería.	10
Figura 3. Proporciones por volumen para fabricación de concreto.	14
Figura 4. Prismas de mampostería.	15
Figura 5. Valores de $f'm$ para las diferentes clases de mampostería.....	16
Figura 6. Curva esfuerzo deformación y módulo de elasticidad de la mampostería	16
Figura 7. Simbología de las dimensiones de las unidades de mampostería	17
Figura 8. Ensamble para fabricar prismas de concreto de relleno.	18
Figura 9. Combinación de variables utilizadas en el estudio	19
Figura 10. Prueba de la cuchara invertida.....	20
Figura 11. Prismas de mampostería rellenos	21
Figura 12. Prismas de concreto de relleno	21
Figura 13. Prismas embolsados en zona de curado	22
Figura 14. Coronamiento de prismas.....	22
Figura 15. Vista superior del accesorio para medir deformaciones	23
Figura 16. Vista frontal montaje para medir deformaciones	24
Figura 17. Vista lateral del montaje para medir deformaciones.....	24
Figura 18. Montaje para medir deformaciones	25
Figura 19. Dimensiones de placa superior e inferior.....	26
Figura 20. Diseño del montaje para la cabeza móvil.....	27
Figura 21. Montaje para cabeza móvil.....	27
Figura 22. Nomenclatura de unidades de mampostería para medición	28
Figura 23. Cubos de mortero	32
Figura 24. Resistencia en compresión del mortero en las 2 pruebas realizadas	32

Figura 25. Resistencia promedio en compresión de los prismas de concreto de relleno	35
Figura 26. Prueba de compresión en el prisma de concreto de relleno CRS1	36
Figura 27. Promedio de resistencia a la compresión para cada tipo de prisma relleno y vacío	39
Figura 28. Esquema de posibles modos de falla.....	43
Figura 29. Modos de falla característicos en la cara frontal de los prismas	44
Figura 30. Modos de falla característicos en la cara lateral de los prismas.....	44
Figura 31. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con prismas rellenos.....	47
Figura 32. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con prismas vacíos.....	47
Figura 33. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con mortero M.....	48
Figura 34. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con mortero N.....	48
Figura 35. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con mortero S	49
Figura 36. Relación entre módulo de elasticidad y resistencia en compresión de la mampostería	51
Figura 37. Deformaciones unitarias en el punto de esfuerzo máximo obtenidas del ensayo en compresión de la mampostería	53
Figura 38. Deformaciones últimas obtenidas del ensayo en compresión de la mampostería	53
Figura A 1. Diagrama de caja, deformación en punto de carga máxima separada en cada variable.....	74
Figura A 2. Diagrama de caja, deformación en punto de carga máxima	74
Figura A 3. Diagrama de caja, deformación en punto de carga máxima separada por tipo de mortero	75
Figura A 4. Diagrama de caja, deformación en punto de carga máxima separada en rellenos y vacíos.....	75
Figura A 5. Diagrama de caja, deformación última registrada separada en cada variable	76
Figura A 6. Diagrama de caja, deformación última registrada	76
Figura A 7. Diagrama de caja, deformación última registrada separada por tipo de mortero	77

Figura A 8. Diagrama de caja, deformación última registrada separada en rellenos y vacíos.....	77
Figura A 9. Diagrama de caja, esfuerzo máximo separado en cada variable	78
Figura A 10. Diagrama de caja, esfuerzo máximo	78
Figura A 11. Diagrama de caja, esfuerzo máximo separado por tipo de mortero ..	79
Figura A 12. Diagrama de caja, esfuerzo máximo separado en rellenos y vacíos ..	79
Figura A 13. Diagrama de caja, módulo de elasticidad separado en cada variable	80
Figura A 14. Diagrama de caja, módulo de elasticidad	80
Figura A 15. Diagrama de caja, módulo de elasticidad separado por tipo de mortero	81
Figura A 16. Diagrama de caja, módulo de elasticidad separado en rellenos y vacíos	81
Figura A 17. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero M relleno.....	82
Figura A 18. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero M vacío.....	82
Figura A 19. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero N relleno	83
Figura A 20. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero N vacío	83
Figura A 21. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero S relleno.....	84
Figura A 22. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero S vacío	84
Figura A 23. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero M relleno LVDT 1 ...	85
Figura A 24. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero M relleno LVDT 2 ...	85
Figura A 25. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero M relleno LVDT 1 ...	86
Figura A 26. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero M relleno LVDT 2 ...	86
Figura A 27. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero M relleno LVDT 1 ...	87
Figura A 28. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero M relleno LVDT 2 ...	87
Figura A 29. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero M relleno LVDT 1 ...	88
Figura A 30. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero M relleno LVDT 2 ...	88
Figura A 31. Grafica esfuerzo-deformación prisma 6 mortero M relleno LVDT 1 ...	89
Figura A 32. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero M vacío LVDT 1	89
Figura A 33. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero M vacío LVDT 2	90
Figura A 34. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero M vacío LVDT 1	90
Figura A 35. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero M vacío LVDT 2	91
Figura A 36. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero M vacío LVDT 1	91

Figura A 37. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero M vacío LVDT 2	92
Figura A 38. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero M vacío LVDT 1	92
Figura A 39. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero M vacío LVDT 2	93
Figura A 40. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero M vacío LVDT 1	93
Figura A 41. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero M vacío LVDT 2	94
Figura A 42. Grafica esfuerzo-deformación prisma 6 mortero M vacío LVDT 1	94
Figura A 43. Grafica esfuerzo-deformación prisma 6 mortero M vacío LVDT 2	95
Figura A 44. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero N relleno LVDT 1....	95
Figura A 45. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero N relleno LVDT 2....	96
Figura A 46. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero N relleno LVDT 1....	96
Figura A 47. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero N relleno LVDT 2....	97
Figura A 48. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero N relleno LVDT 1....	97
Figura A 49. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero N relleno LVDT 2....	98
Figura A 50. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero N relleno LVDT 1....	98
Figura A 51. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero N relleno LVDT 2....	99
Figura A 52. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero N relleno LVDT 1....	99
Figura A 53. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero N relleno LVDT 2..	100
Figura A 54. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero N vacío LVDT 1	100
Figura A 55. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero N vacío LVDT 2	101
Figura A 56. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero N vacío LVDT 1	101
Figura A 57. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero N vacío LVDT 2	102
Figura A 58. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero N vacío LVDT 1	102
Figura A 59. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero N vacío LVDT 2	103
Figura A 60. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero N vacío LVDT 1	103
Figura A 61. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero N vacío LVDT 2	104
Figura A 62. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero N vacío LVDT 1	104
Figura A 63. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero N vacío LVDT 2	105
Figura A 64. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero S relleno LVDT 1..	105
Figura A 65. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero S relleno LVDT 2..	106
Figura A 66. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero S relleno LVDT 1..	106
Figura A 67. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero S relleno LVDT 2..	107
Figura A 68. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero S relleno LVDT 1..	107

Figura A 69. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero S relleno LVDT 2..	108
Figura A 70. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero S relleno LVDT 1..	108
Figura A 71. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero S relleno LVDT 2..	109
Figura A 72. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero S relleno LVDT 1..	109
Figura A 73. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero S relleno LVDT 2..	110
Figura A 74. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero S vacío LVDT 1.....	110
Figura A 75. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero S vacío LVDT 2.....	111
Figura A 76. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero S vacío LVDT 1.....	111
Figura A 77. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero S vacío LVDT 2.....	112
Figura A 78. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero S vacío LVDT 1....	112
Figura A 79. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero S vacío LVDT 2.....	113
Figura A 80. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero S vacío LVDT 1.....	113
Figura A 81. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero S vacío LVDT 2.....	114
Figura A 82. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero S vacío LVDT 1.....	114
Figura A 83. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero S vacío LVDT 2.....	115
Figura A 84. Valores de esfuerzo máximo en los diferentes prismas.....	115
Figura A 85. Valores de módulo de elasticidad en los diferentes prismas.....	116
Figura A 86. Grafica para verificar una tendencia normal en los residuales de resistencia.....	116
Figura A 87. Grafica para verificar una tendencia normal en los residuales de módulo de elasticidad.....	117

Tabla de Cuadros

Cuadro 1. Valores de f'_m y E_m de la maestría de Alejandro Navas.....	2
Cuadro 2. Clasificación de bloques de concreto del CSCR-10-14.....	11
Cuadro 3. Requisitos mínimos de espesor de caras externas e internas.....	11
Cuadro 4. Clasificación del mortero de pega según CSCR-10-14.....	12
Cuadro 5. Dimensiones de las unidades de mampostería.....	17
Cuadro 6. Dimensiones en mm de las unidades de mampostería.....	28
Cuadro 7. Propiedades físicas y geométricas de las unidades de mampostería.....	29
Cuadro 8. Propiedades mecánicas de las unidades de mampostería.....	29
Cuadro 9. Resistencia en compresión del mortero.....	31

Cuadro 10. Resistencia en compresión del mortero segunda prueba.....	33
Cuadro 11. Dimensiones promedio de los prismas de concreto de relleno	34
Cuadro 12. Resistencia en compresión prismas de concreto	34
Cuadro 13. Resumen de resultados promedio de resistencias	36
Cuadro 14. Dimensiones de los prismas y factor de corrección.....	37
Cuadro 15. Resumen de resultados de prismas de mampostería agrupados por tipo de mortero	37
Cuadro 16. Resistencia en compresión de los prismas de mampostería en comparación con la resistencia en compresión de los bloques de mampostería y prismas de concreto, comparación entre prismas rellenos y huecos.....	38
Cuadro 17. Resultados del análisis de varianza con 2 variables para la resistencia de los.....	38
Cuadro 18. Diferencia de resistencia en compresión de los bloques de mampostería	42
Cuadro 19. Resistencia en compresión de los prismas de mampostería con coeficiente de variación	45
Cuadro 20. Resumen de resultados de deformación y módulo de elasticidad de prismas de mampostería.....	49
Cuadro 21. Promedios de módulo de elasticidad con su desviación estándar y coeficiente de variación	50
Cuadro 22. Prismas con deformación final medida al 80% de carga máxima	54
Cuadro A 1. dimensiones en mm de todas las caras en las unidades de mampostería	64
Cuadro A 2. Datos de prismas de concreto de relleno.....	65
Cuadro A 3. Relación de altura y espesor, así como el factor de corrección para prismas de mampostería.....	67
Cuadro A 4. Resultados de prismas de mampostería con mortero tipo M	68
Cuadro A 5. Resultados de prismas de mampostería con mortero tipo N	69
Cuadro A 6. Resultados de prismas de mampostería con mortero tipo S.....	70
Cuadro A 7. Dimensiones de los prismas con mortero tipo M.....	71
Cuadro A 8. Dimensiones de los prismas con mortero tipo N	72
Cuadro A 9. Dimensiones de los prismas con mortero tipo S.....	73

Abreviaturas

f'_m : Resistencia a compresión de la mampostería

f'_b : Resistencia a compresión de los bloques de concreto

f'_g : Resistencia a compresión del concreto de relleno

E_m : Módulo de Elasticidad

ε_m : Deformación unitaria en el punto de carga máxima

ε : Deformación unitaria última

MR: Prismas de mampostería con mortero tipo M con concreto de relleno

MV: Prismas de mampostería con mortero tipo M sin concreto de relleno (vacíos)

NR: Prismas de mampostería con mortero tipo N con concreto de relleno

NV: Prismas de mampostería con mortero tipo N sin concreto de relleno (vacíos)

SR: Prismas de mampostería con mortero tipo S con concreto de relleno

SV: Prismas de mampostería con mortero tipo S sin concreto de relleno (vacíos)

CRM: Prisma de concreto de relleno utilizado en confección de prismas de mampostería con mortero tipo M

CRN: Prisma de concreto de relleno utilizado en confección de prismas de mampostería con mortero tipo N

CRS: Prisma de concreto de relleno utilizado en confección de prismas de mampostería con mortero tipo S

Vargas Rodríguez, Víctor Andrés.

Caracterización de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 20x20x40 cm bajo carga axial

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.:

V. Vargas R., 2020

xv, 63, [54]h; ils. Col. – 39 refs.

El presente estudio tiene como propósito Caracterizar la curva de esfuerzo-deformación que muestra el comportamiento en compresión axial de prismas de mampostería de concreto utilizando bloques de 200x200x400 mm por medio de pruebas experimentales para verificar si los valores específicos de diseño son adecuados.

Para esto, se utilizaron prismas de mampostería conformados por bloques de concreto de 20 cm de espesor, clase A. morteros tipo M, N y S así como prismas con concreto de relleno y sin este (rellenos y vacíos) para un total de 6 combinaciones de prismas fallados a compresión; Relacionando la resistencia de los componentes con la resistencia del prisma e identificando el módulo de elasticidad y deformación ultima de los prismas.

Los materiales que conforman los prismas cumplen con los valores de resistencia mínima indicados en el CSCR 10-14 y los datos generados en esta investigación permiten comparar los parámetros de diseño de la mampostería presentes en la normativa internacional con el comportamiento del material nacional utilizado.

Los resultados obtenidos amplíen la muestra de datos de materiales nacionales para futuras investigaciones u otros proyectos que los requieran.

PALABRAS CLAVE: MAMPOSTERÍA, PRISMAS DE MAMPOSTERÍA, DEFORMACIÓN UNITARIA, MÓDULO DE ELASTICIDAD, RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Director: Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D.
Escuela de Ingeniería Civil

Vargas Rodríguez, Víctor Andrés.

Characterization of the stress-strain curve of masonry prisms with 20x20x40 cm concrete blocks under axial load

Graduation Project – Civil Engineering – San José, C.R.:

V. Vargas R., 2020

xv, 63, [54]h; ils. Col. – 39 refs.

The purpose of this study is to characterize the stress-strain curve that shows the behavior in axial compression of concrete masonry prisms using 200x200x400 mm blocks through experimental tests to verify if the specific design values are adequate.

For this, masonry prisms made up of 20 cm thick concrete blocks, class A, type M, N and S mortars, as well as prisms with and without concrete filling (filled and empty) were used for a total of 6 combinations of compression failed prisms; Relating the resistance of the components with the resistance of the prism and identifying the modulus of elasticity and ultimate deformation of the prisms.

The materials that make up the prisms comply with the minimum resistance values indicated in CSCR 10-14 and the data generated in this investigation allow comparing the design parameters of the masonry present in international regulations with the behavior of the national material. used.

The results obtained expand the data sample of national materials for future research or other projects that require them.

KEY WORDS: MASONRY, MASONRY PRISMS, UNITARY DEFORMATION, MODULE OF ELASTICITY, COMPRESSIVE STRENGTH.

Director: Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D.
School of Civil Engineering

1. Introducción

1.1. Problema Específico

La mampostería de concreto es un sistema constructivo muy utilizado en proyectos comerciales y residenciales en Costa Rica; debido a esto se evidencia que el entender el comportamiento que tienen los materiales que conforman la mampostería es importante para asegurar un comportamiento adecuado de estas.

En nuestro país, el Código Sísmico de Costa Rica 2010-14 establece los requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de este tipo de material. Estos requisitos se basan en parte en las especificaciones del código "Requisitos para estructuras de mampostería en edificaciones" (Building Code Requirements for Masonry Structures, TMS 402-08/ACI 530-08/ASCE 5-08).

Entre el CSCR 2010-14 y el TMS 402-08 existen algunas diferencias como por ejemplo, que el código nacional indica que la mampostería debe de diseñarse por medio del método de resistencia y el valor último de deformación unitaria (ϵ_{mu}) es de 0,003 mientras que el TMS indica un valor de deformación unitaria de 0.0025. Debido a esto se obtienen datos con los bloques a utilizar en las pruebas experimentales para realizar la comparación de su comportamiento.

A pesar de que se han hecho estudios no se ha llegado a resultados concluyentes con respecto a la curva esfuerzo- deformación de la mampostería hecha en Costa Rica por lo que la presente investigación busca expandir los datos y análisis existentes en este ámbito.

1.2. Importancia

Parte del diseño de estructuras de mampostería se basa en suposiciones o simplificaciones que se generan por medio de la forma característica que posee la curva esfuerzo-deformación, así como sus esfuerzos y deformaciones últimas. Sin embargo, según Navas (1999), la validez de estas expresiones utilizadas es cuestionable debido a que existe una limitada cantidad de información experimental a nivel local, por lo que es necesario realizar ensayos de compresión con materiales disponibles a nivel nacional para obtener resultados que puedan ser utilizados para investigaciones futuras o para su consideración en futuras actualizaciones del Código Sísmico de Costa Rica.

El estudio realizado es de gran importancia debido a que mediante las pruebas realizadas se obtiene información valiosa para realizar diseños más seguros. De igual manera, el resultado del estudio brinda nuevos datos que se pueden utilizar en futuras investigaciones así como futuras actualizaciones o revisiones del código sísmico de Costa Rica

1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema

La primera versión del código sísmico de Costa Rica en incluir especificaciones de diseño para distintos materiales estructurales fue la segunda edición del código aprobada en 1986, la cual indica requisitos generales para la mampostería basándose en el código uniforme de construcción de Estados Unidos en ese momento (Uniform Building code, UBC). En esta versión del código se utiliza un valor de f'_m de 95 kg/cm².

Navas (1999) presenta un proyecto de maestría titulado "Propiedades mecánicas de la mampostería de concreto" en el cual se realiza una investigación experimental midiendo propiedades mecánicas de la mampostería como la resistencia a la compresión, resistencia al cortante en las juntas del mortero, entre otros. En esta investigación Navas utilizó prismas sin concreto de relleno con bloques de 12x20x40 cm. Utilizando como variables el tipo de mortero y la resistencia de las unidades de mampostería. Esta investigación brinda valores de f'_m de para mortero tipo M para tipo N y para tipo S, con valores de E_m presentes en el cuadro 1

Cuadro 1. Valores de f'_m y E_m de la maestría de Alejandro Navas

	f'_m kg/cm ² (MPa)	E_m kg/cm ² (MPa)
M	146 kg/cm ² (14.32 MPa)	130 566 kg/cm ² (12 804 MPa)
N	90 kg/cm ² (8.83 MPa)	94 252 kg/cm ² (9 243MPa)
S	129 kg/cm ² (12.65 MPa)	118 814 (11 652 MPa)

De igual manera Rodríguez (1999) realiza una investigación titulada "Medición de las propiedades estructurales en la mampostería de Bloques de concreto" en la que utilizando bloques de 15x20x40 cm con mortero tipo S y diferentes resistencias de concreto de relleno obtiene f'_m de 82 kg/cm² (8.04 MPa), 97 kg/cm² (9.51 MPa) y 115 kg/cm² (11.3 MPa) así como E_m de 76 812 kg/cm² (7532 MPa), 94169 kg/cm² (9235 MPa) y 85 942 kg/cm² (8428 MPa).

Carvajal (2000), en su proyecto de licenciatura titulado "Propiedades mecánicas de la mampostería de bloques rellenos de concreto de 12x20x40 cm" utilizando bloques de 12x20x40 cm y diferentes resistencias de concreto de relleno obtiene un f'_m de 128 kg/cm² (12.55 MPa) y un E_m de 148 681 kg/cm² (14 581 MPa).

Cascante (2001) realizó una investigación titulada "Propiedades mecánicas de la mampostería de bloques rellenos de concreto de 20x20x40 cm" en la cual utiliza prismas de mampostería rellenos y obtiene un f'_m de 164 kg/cm² (16.08 MPa) y un E_m de 170 978 kg/cm² (16 767 MPa). Estas investigaciones, presentan resultados que sirven como punto de comparación para un mayor entendimiento de la relación entre materiales con el cual se está trabajando en el proyecto así como su curva esfuerzo deformación.

Navas (2007) relaciona los resultados obtenidos anteriormente para identificar los comportamientos mecánicos generales en la resistencia a la compresión de la mampostería de concreto nacional.

En el 2010 se publica la cuarta versión del código sísmico de Costa Rica y se le realiza una revisión en el 2014. En ese código, se brinda los requisitos de diseño para estructuras de mampostería, por lo que los datos de deformación última, esfuerzo máximo y relación de los elementos en estructuras de mampostería obtenidos en el proyecto se pueden utilizar para realizar una comparación con los presentes en esta versión del código.

Núñez (2019) y Vaca (2019) en sus proyectos de licenciatura realizaron investigaciones experimentales para obtener una caracterización de la curva esfuerzo-deformación con prismas de mampostería de 12 cm y 15 cm de espesor para el caso de Núñez, de 13.6 cm y 20 cm para el caso de Vaca. Estos dos documentos son de gran utilidad ya que poseen similitud al presente y a su vez, los hallazgos de resistencia a la compresión, modos de falla, deformación última y módulo de elasticidad para prismas de mampostería con bloques de distintas dimensiones permiten un mejor entendimiento del comportamiento de los prismas en estudio.

Núñez (2019) en su investigación: "Caracterización de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 120 mm y 150 mm de espesor bajo carga axial concéntrica" obtiene un f_m de 153 kg/cm² (15 MPa) y una deformación en el punto de carga máxima de 0.0038

Vaca (2019) en su en su proyecto de licenciatura titulado "Curva esfuerzo-deformación de mampostería con bloques de 20x20x40 cm y 13,6x13,6x28,6 cm" y utilizando mortero de tipo N y S así como prismas rellenos y vacíos obtiene un f'_m igual a 146 kg/cm² (14.3 MPa), $E_m = 93608$ kg/cm² (9180 MPa) y una deformación ε_{mu} igual a 0.0034.

Vargas (2020) realizó una investigación titulada "Efecto del mortero de pega y el concreto de relleno en la resistencia en compresión de la mampostería nacional" en la cual indica que la resistencia a compresión del mortero de pega y la resistencia a compresión del concreto de relleno tienen una influencia directa en la resistencia a compresión de la mampostería y describe su relación.

Internacionalmente se han realizado diversas investigaciones sobre el comportamiento a compresión de la mampostería de concreto entre las cuales se mencionan Hamid (1978) "Behavior Characteristics of Block Masonry" permite observar los tipos de falla más comunes en la mampostería presente en su investigación así como las causas de estas fallas, Boulton (1979) "Concrete Masonry Prism Testing", Drysdale, Hamid y Baker (1979).

Drysdale, Hamid y Baker (2008) "Masonry Structures Behavior and Design" en el cual indican que existe un rango de E_m/f_m entre 400 y 1290.

Todas estas investigaciones son de gran utilidad en el presente estudio ya que muestran el comportamiento y relaciones entre los materiales aun siendo estos materiales no fabricados en nuestro país, también presentan posibles causas de error o problemas que tuvieron en sus investigaciones e igualmente brindan una base sobre la cual otras investigaciones se han realizado sobre el tema de estudio.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Caracterizar la curva de esfuerzo-deformación que muestra el comportamiento en compresión axial de prismas de mampostería de concreto utilizando bloques de 200x200x400 mm por medio de pruebas experimentales para verificar si los valores específicos de diseño son adecuados.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar ensayos de laboratorio para caracterizar los materiales de los prismas a utilizar (mortero, concreto de relleno y bloques de mampostería). Así como generar las curvas esfuerzo-deformación a partir de los ensayos realizados con prismas huecos y rellenos de 200x200x400 mm
- Comparar las curvas esfuerzo-deformación en prismas de mampostería con 6 distintas configuraciones con prismas huecos y rellenos utilizando mortero tipo M, tipo S y tipo N.
- Obtener el módulo de elasticidad E'_m , resistencia en compresión f'_m y deformaciones últimas ϵ_{mu} de prismas de mampostería de concreto de 200x200x400 mm y compararlos con los valores específicos de diseño utilizados actualmente

1.5. Delimitación del problema

1.5.1. Alcance

El estudio se limita a la evaluación de prismas de mampostería por medio de pruebas experimentales con cargas de compresión axial, esto con la finalidad de obtener las propiedades de la curva esfuerzo-deformación, así como el módulo de elasticidad E'_m , resistencia en compresión f'_m y deformaciones últimas ϵ_{mu} para diferentes configuraciones en las variables que conforman los prismas.

Se consideran 5 variables en la presente investigación las cuales son:

- 3 tipos de mortero premezclado M, N y S
- Prismas de mampostería rellenos (con concreto de relleno) y prismas de mampostería vacíos (sin concreto de relleno)

Siendo un total de 6 posibles combinaciones.

Para determinar la cantidad de especímenes a utilizar se considera lo indicado por Navas (1999), el cual menciona la variabilidad de los materiales, precisión de equipos y menciona que en pruebas experimentales de mampostería pueden esperarse errores hasta del 20 %.

Por lo que se utiliza la siguiente expresión para determinar la cantidad de especímenes de prueba:

$$d = \frac{Z * S_x}{\sqrt{n}}$$

Donde

d : Error estándar

Z : Estadístico Z para la distribución normal estándar

S_x : Desviación estándar

n : Tamaño de muestra

Por lo tanto, con un intervalo de confianza del 95 % se tiene un estadístico Z de 1.96. A su vez, Núñez (2019) y Vaca (2019) indican que a partir de una premuestra de prismas de mampostería ensayados en compresión en las instalaciones del LanammeUCR, se obtuvo una desviación estándar de 2,07 MPa (21,2 kg/cm²) con un promedio aritmético de 14,5 MPa (148 kg/cm²).

Con estos datos se despeja el tamaño de la muestra, obteniendo un valor de 4.3 por lo que se seleccionan 5 especímenes por variable para un total de 30 especímenes.

1.5.2. Limitaciones

La falla de los prismas de mampostería no se realiza a los 28 días de su confección debido a que no se encontraban listos todos los componentes para el montaje de la cabeza esférica necesaria en la máquina utilizada.

La máquina utilizada para la falla de los prismas de mampostería presenta un error cuando se ensayaron los prismas con mortero M. Al día siguiente no se puede utilizar la máquina lo que causa un atraso en la falla de prismas de mampostería con concreto N y S. También se genera una variación en el tiempo de falla en los prismas de mampostería.

1.6. Metodología

Se desarrolla el estudio por medio de cuatro etapas I) consulta bibliográfica, II) caracterización de materiales III) análisis de resultados y IV) confección de conclusiones y recomendaciones.

Primeramente, se realiza una búsqueda de información existente mediante el uso de proyectos de graduación, códigos e investigaciones internacionales y nacionales, así como artículos u otras publicaciones referentes al tema de interés y de igual manera las normas requeridas para la realización de los ensayos.

Como segunda etapa se realiza la caracterización de los materiales con los que se van a confeccionar los prismas, con la finalidad de comprender el comportamiento de todos los componentes que van a influenciar los ensayos, de manera que los resultados tengan un error aceptable. Para esto se realizan ensayos a los componentes individuales así como al conjunto en el prisma de mampostería utilizando 3 tipos de mortero y a prismas rellenos o vacíos como variables.

Se inicia realizando los ensayos a los bloques de concreto siguiendo lo indicado en la norma INTE C50 (ASTM C140/C140M-21). Se miden las dimensiones del bloque, su masa sumergida, masa saturada, seca al horno, capacidad de carga y otras indicadas en la norma.

Se fabrican los prismas de mampostería con ayuda de un albañil experimentado a lo largo de 3 días distintos realizando 10 prismas con cada tipo de mortero cada uno de los días. De estos 10 prismas de mampostería 5 se rellenan y 5 se dejan vacíos, este proceso se hace siguiendo la norma INTE C55(ASTM C1314-21).

En el mismo momento que se realiza la batida del mortero para la confección de los prismas de mampostería, se selecciona una muestra y se moldean los cubos de 50 mm de mortero, ya sea tipo M, N o S y se ingresan a la cámara húmeda. Para esto se sigue lo indicado en la norma INTE C55 (ASTM C1314-20

Por la tarde de ese mismo día, cuando se realiza la batida de concreto de relleno para los 5 prismas correspondientes, se confeccionan los prismas de concreto de relleno siguiendo la norma INTE C56 (ASTM 1019-20).

Tanto los cubos de mortero como los prismas de concreto de relleno se ingresan a la cámara húmeda luego de ser desmoldados al día siguiente de su confección, los cubos de mortero se sumergen en agua con cal. Por otra parte, los prismas de mampostería se dejan sin mover en bolsas desde su confección hasta su coronamiento.

Se realiza el diseño de un montaje para medir las deformaciones de los prismas de mampostería y a su vez se confecciona un diseño de acople para utilizar un cabeza esférica necesaria en la falla de los prismas. Se solicita la confección de estos elementos al personal a cargo en el LanammeUCR.

Posterior mente se realiza la medición de dimensiones de los prismas de mampostería y prismas de concreto de relleno así como su respectivo coronamiento.

Se realiza la falla a compresión de los prismas de concreto de relleno y los cubos de mortero siguiendo lo indicado en sus respectivas normas y se registran los datos resultantes.

Se realiza el montaje de la cabeza esférica necesaria en la maquina a utilizar para la falla de los prismas. Se coloca el accesorio para medir las deformaciones en un prisma y se falla a compresión registrando la carga utilizada en el tiempo y su deformación, así como otros datos necesarios.

La tercera etapa consiste en un procesamiento de datos para generar las curvas esfuerzo-deformación y con estas obtener f_m , E_m y ϵ_{mu} . Se obtiene también propiedades físicas y geométricas de los bloques de mampostería, cubos de mortero, prismas de concreto de relleno y prismas de mampostería.

Conforme es necesario, se realiza una nueva consulta bibliográfica y se analizan más los resultados para llegar a un análisis más completo y conocer mejor el efecto de las variables en los ensayos.

Como etapa IV se realiza las conclusiones y recomendaciones obtenidas con la investigación.

El diagrama de la metodología se puede observar en la figura 1.

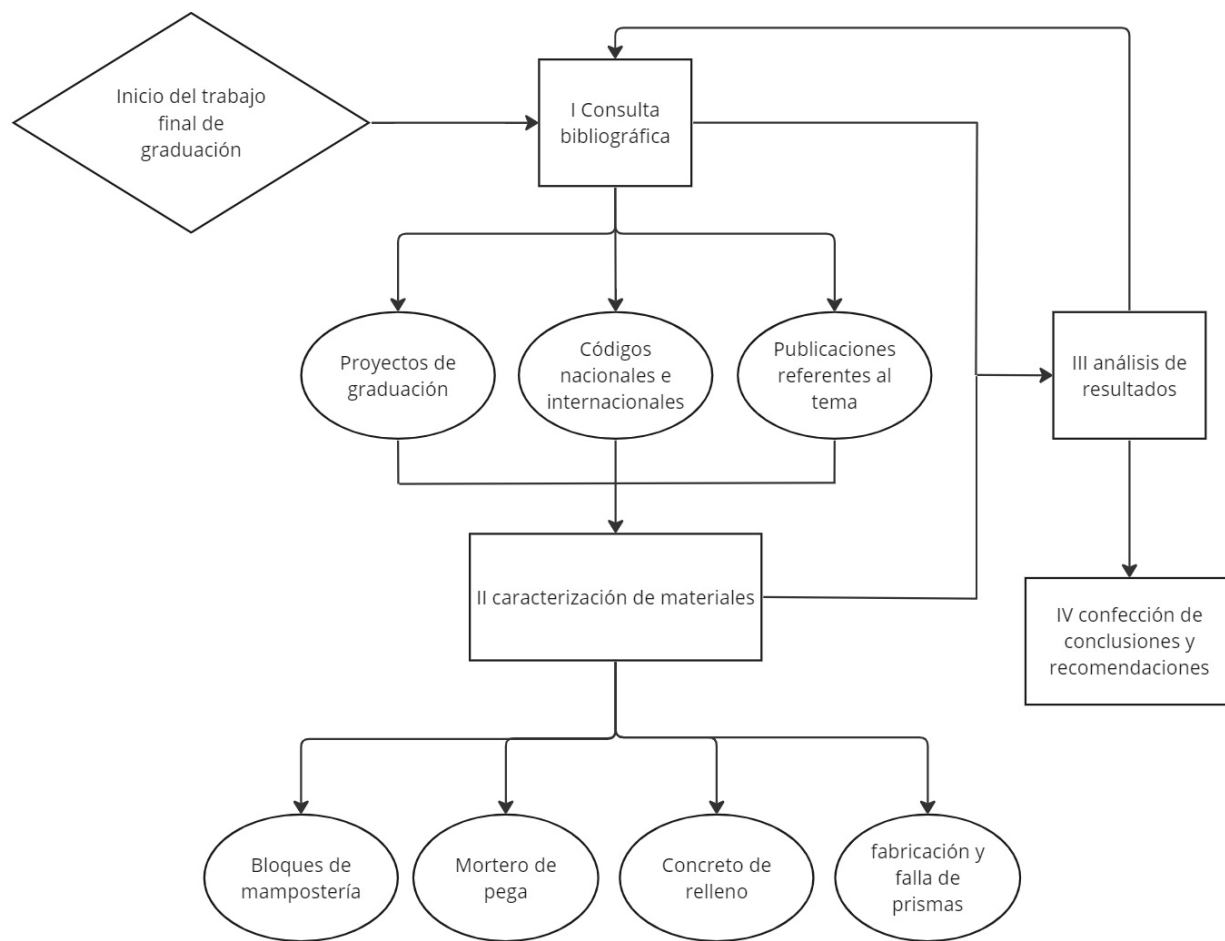


Figura 1. Diagrama de la metodología de trabajo

2. Marco Teórico

La mampostería se entiende como la combinación de unidades de construcción de arcilla, concreto, roca, vidrio, yeso entre otras, unidas entre si con o sin mortero, concreto de relleno u otro método de unión aceptado (Navas, 2021). Existe mampostería tanto sin relleno como reforzada. En el país la de mayor uso es la reforzada y de concreto con elementos de borde de concreto. Algunos ejemplos de piezas de mampostería se pueden observar en la figura 2.



Figura 2. Diferentes tipos de piezas de mampostería.

Fuente: Sanches, 2013.

2.1. Propiedades de los componentes de la mampostería de concreto

2.1.1. Bloques

Las unidades de mampostería de concreto son bloques que se confeccionan utilizando moldes, mediante procesos de compactación y vibración para obtener las características del bloque deseadas (Navas, 2021). El Código Sísmico de Costa Rica 2010-14 en su anexo A clasifica los bloques de concreto según su resistencia en tres categorías según se muestra en el cuadro 2.

En la nueva versión del CSCR se va a hacer referencia a la norma INTE C90 por lo tanto solo estará una resistencia de 13.0 MPa con 3 diferentes densidades menor de 1680 Kg/m³ de 1680 Kg/m³ a menos de 2000 Kg/m³ y mayor o igual a 2000 Kg/m³ con un límite de absorción según cada densidad.

Cuadro 2. Clasificación de bloques de concreto del CSCR-10-14

Clase	Resistencia promedio a la compresión en 28 días	Uso
A	13.04 MPa (133 kg/cm ²)	obligatoria para construcciones con área mayor que 1000 m ² y de tres pisos de altura
B	8.83 MPa (90 kg/cm ²)	Construcciones menores de 1000 m ² y tres pisos de altura
C	7.35 MPa (75 kg/cm ²)	Elementos no estructurales

Existen también espesores mínimos con los que deben cumplir los bloques de mampostería de concreto según la norma INTE C90 (Ver cuadro 3).

Cuadro 3. Requisitos mínimos de espesor de caras externas e internas.

Fuente: INTE C90

Ancho nominal de las unidades (<i>w</i>) mm	Espesor mínimo de caras externas^{B,C} mm	Almas	
		Espesor mínimo^C (<i>t_w</i>) mm	Área normalizada mínima de las almas mm²/m²
$W \leq 120$	19	19	45 140
$120 < W < 200$	25	19	45 140
$W \geq 200$	32	19	45 140

Para realizar las pruebas necesarias a los bloques de mampostería se utiliza la norma INTE C50. Se miden las dimensiones de las caras externas (t_s) y de las almas (t_w) verificando que cumplan los requisitos mínimos del cuadro 2 obtenido de la norma INTE C90. A estos especímenes luego se les realiza un coronamiento utilizando la norma INTE C53 y son ensayados en compresión

Por otra parte, se ensayan 3 especímenes para absorción, se mide la masa que poseen los bloques el día de su entrega y se sumergen en agua a una temperatura entre 15 °C y 27 °C, durante 24 a 28 horas y se mide la masa sumergida.

Se extraen del agua y se seca su superficie, se vuelve a medir su peso, seguidamente se seca en un horno ventilado no menos de 24 horas y hasta que dos medidas consecutivas, a intervalos de 2 h, muestren una variación no mayor al 0,2 %. Con los datos obtenidos se calcula la absorción, el contenido de humedad, la densidad, el área neta promedio y el área bruta así como la resistencia a la compresión.

2.1.2. Mortero de Pega

Según Navas (2021), el mortero tiene función de agente de unión y de barrera ante el clima, está compuesto por una mezcla de material cementante, agregado fino y agua.

La mampostería clase A debe utilizar mortero tipo A, la mampostería clase B debe usar mortero tipo A o B y la mampostería clase C debe usar morteros tipo A, B o C según el Código Sísmico de Costa Rica 2010-14. De igual manera el CSCR 10-14 presenta la resistencia a la compresión requerida para cada tipo de mortero, la cual se puede observar en el cuadro 4.

En la nueva versión del CSCR se hará referencia a la norma INTE C91 en la que se clasifican en categorías M, N, S y O. En esta norma se indica la resistencia, mínima retención de agua y máximo contenido de aire para cada categoría de mortero.

Cuadro 4. Clasificación del mortero de pega según CSCR-10-14

Clase	Resistencia promedio a la compresión en 28 días
A	175 kg/cm ² (17.2 MPa)
B	126 kg/cm ² (12.4 MPa)
C	53 kg/cm ² (5.20 MPa)

Las propiedades principales del mortero según Navas (2021) son:

- **Trabajabilidad:** Depende de la consistencia, retención de agua, tiempo de fragua, adhesión y cohesión, entre otros. Un mortero con la trabajabilidad apropiada permite la fácil colocación del bloque sin derramarse.
- **Retención de agua:** Resistencia a la pérdida del agua de mezcla debido a la absorción de los bloques y a la evaporación. Una adecuada retención de agua permite que el mortero se mantenga en estado plástico por más tiempo, lo cual mejora la trabajabilidad y por lo tanto la adherencia
- **Adherencia:** Es la propiedad más importante de los morteros, esta propiedad afecta la permeabilidad de la mampostería. Además, influye en la resistencia en flexión, tensión y cortante.
- **Resistencia a la compresión:** No se debe usar una resistencia mayor a la requerida ya que causa una disminución de la trabajabilidad y un aumento en la resistencia del mortero no es proporcional a un aumento en la resistencia de la mampostería.

Se pueden utilizar aditivos en el mortero con diversos propósitos como mejorar la adherencia y trabajabilidad, acelerantes, retardantes entre otros.

Para los morteros e pega de este proyecto se determina el flujo del mortero siguiendo el método de ensayo INTE C143 y se utiliza la norma INTE C57 para la confección y falla de cubos de mortero realizando tres especímenes de una batida de mortero. Se aplica un material antiadherente a las caras interiores del molde y se consolidan los especímenes de mortero de 50 mm con apisonamiento manual según lo indicado en la norma.

Los cubos de mortero se almacenan en la cámara húmeda. A las 24 horas son desmoldados y sumergidos en agua saturada con cal hasta el día de su ensayo en compresión. Este ensayo se realiza inmediatamente después de ser retirados de su almacenamiento. Se seca la superficie del cubo, se realiza la falla según lo indicado en la norma y se calcula la resistencia en compresión.

2.1.3. Concreto de relleno

El concreto de relleno es una mezcla de cemento y agregados a los cuales se les agrega agua para generar una mezcla fluida sin segregación. Según Navas (2021), este material permite la adherencia entre los bloques y el refuerzo vertical, lo que permite la transferencia de esfuerzos de tensión al acero. Además, aumenta la resistencia al fuego y al sonido.

Según el Código Sísmico de Costa Rica 2010-14, el tamaño máximo de agregados a utilizar en el agregado grueso es de 1,2 cm y a su vez, la mampostería clase A debe utilizar concreto de relleno clase A, la mampostería clase B debe usar concreto de relleno clases A o B y la mampostería clase C debe usar concreto de relleno clases A, B o C. De igual manera, el código presenta las proporciones por volumen para la fabricación del concreto de relleno según su tipo, lo cual se puede observar en la Figura 3.

Concreto de relleno tipo	Cemento	Arena suelta	Piedra quintilla (tamaño máximo 1.2 cm)
A	1	2	2
B	1	2 1/2	2
C	1	3	2

Figura 3. Proporciones por volumen para fabricación de concreto.

Fuente: CSCR-10-14

En el próximo CSCR se hará referencia a la norma INTE C88 la cual establece que el concreto de relleno debe alcanzar un mínimo de resistencia de 14 MPa y que f'_g puede ser mayor o igual a f'_m .

Para realizar las pruebas necesarias al concreto de relleno se utiliza la norma INTE C56 realizando 3 especímenes de prismas de concreto con sección transversal cuadrada por cada batida de concreto de relleno. Los moldes consisten en unidades de mampostería en un terreno nivelado, simulando la condición en sitio según lo indicado en la norma, utilizando un aislamiento permeable en las caras laterales e impermeable en el fondo del molde.

Se deben llenar el molde con concreto de relleno en dos capas de la misma profundidad compactando cada capa 15 veces con la varilla de apisonamiento. Se enrasa la superficie superior del espécimen y se cubre con un material absorbente húmedo.

Se remueven los moldes 24 horas después y se colocan en la cámara húmeda hasta el día del ensayo de compresión, se miden las dimensiones de los prismas (ancho, longitud, desplome) según lo indicado en la norma, se realiza el coronamiento de los prismas y luego se realiza la falla en condición húmeda.

Finalmente, se determina el área transversal promedio de cada prisma y la resistencia en compresión.

2.2. Resistencia a la compresión de los prismas de mampostería

La resistencia a la compresión de la mampostería depende de la resistencia conjunta de las unidades, mortero de pega y concreto de relleno. La norma INTE C55 "Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería", define un estándar para realizar las pruebas de compresión por medio de ensambles definidos en dicha norma, estos ensambles son conocidos como prismas de mampostería. En la figura 4 se puede observar sus distintas configuraciones.



Figura 4. Prismas de mampostería.

Fuente: INTE C55

El Código Sísmico de Costa Rica 2010-14 establece un valor de f'_m mínimo a emplear dependiendo de las diferentes clases de mampostería, los cuales se pueden observar en la Figura 5.

En la versión del CSCR a publicarse se va a indicar un f'_m mínimo de 100 kg/cm² (9,8 MPa) como una única clase ya que se indica una única categoría de f'_b y f'_g .

Mampostería Clase	f'_m , sobre el área neta kg/cm ²
A	100
B	70
C	60

Figura 5. Valores de f'_m para las diferentes clases de mampostería.

Fuente: CSCR-10-14

Según Navas (2021), en un elemento de mampostería influye más la resistencia a la compresión del bloque que la del mortero y el concreto de relleno.

2.3. Curva esfuerzo deformación y módulo de elasticidad

Para definir el comportamiento en compresión que tienen los prismas de mampostería, se colocan cargas progresivamente y se miden las deformaciones generadas, lo que permite crear una curva esfuerzo-deformación similar a la que se puede observar en la Figura 6. Por medio de esta grafica es posible encontrar el módulo de elasticidad, utilizando la pendiente ubicada entre un 5 % y 33 % de su resistencia a la compresión máxima a la compresión la cual es (f'_m). En la gráfica se puede observar la deformación última (ϵ_{mu}) del material asumida como 0.003 en el Código Sísmico de Costa Rica 2010-14

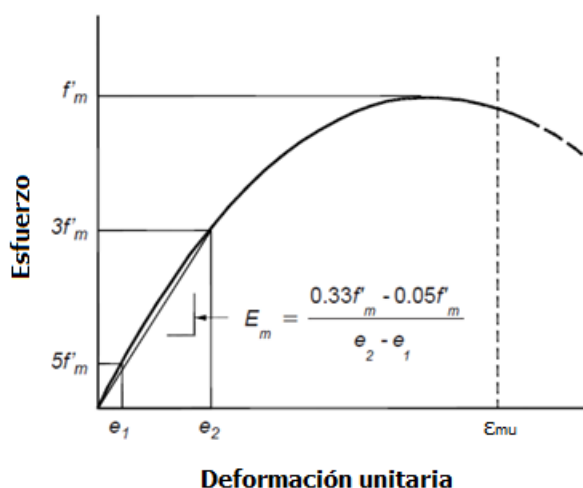


Figura 6. Curva esfuerzo deformación y módulo de elasticidad de la mampostería

Fuente: Masonry Institute of America, 2009

3. Programa Experimental

3.1. Unidades de mampostería

Para la confección de los prismas de mampostería se utilizaron bloques de concreto de 200 mm de espesor con dimensiones nominales de 20x20x40 cm. Los datos se pueden observar en el cuadro 5 y la simbología en la figura 7 .

Las dimensiones de las unidades de mampostería presentes en el cuadro 5 son obtenidas de la ficha técnica de productos de concreto, dimensiones exactas de los bloques de muestra se pueden observar el cuadro A1 en anexos.

Cuadro 5. Dimensiones de las unidades de mampostería

Dimensión Nominal	Altura (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	A, B, C, D, E (mm)	Peso (kg)
20x20x40	190 ±2	200 ±2	390 ±2	32,0	17.8

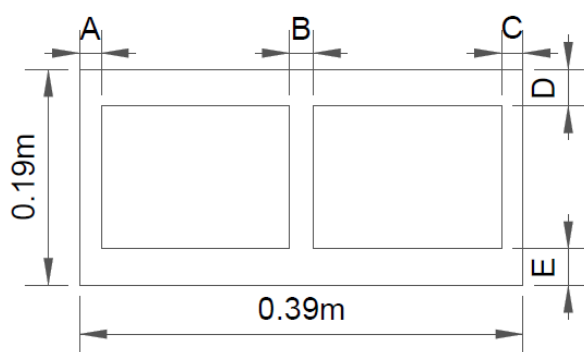


Figura 7. Simbología de las dimensiones de las unidades de mampostería

3.2. Mortero de pega

En la confección de los prismas se utiliza mortero preempacado Tipo M, Tipo N y Tipo S. La dosificación se realiza siguiendo las especificaciones de la ficha técnica con 6,50 L de agua por cada saco de 40 kg de mortero.

Los ensayos realizados para obtener las propiedades mecánicas del mortero siguen las indicaciones de la norma INTE C57 (ASTM C109-C109 M), que proporciona un medio para

determinar la resistencia a la compresión del mortero. Se realiza al mortero utilizado al momento de fabricación de los prismas, por medio de la extracción de tres cubos de mortero por cada colada. Estos se fallan el mismo día que los prismas de mampostería para obtener la resistencia en compresión en con el mismo tiempo de confección.

Se realiza el ensayo de flujo indicado en la norma INTE C57 (ASTM C109-C109 M), obteniendo una fluidez de 114,5 para el mortero M, 115,5 para el N y 105,0 para el N con una dosificación de 0,38 L, 0,30 L y 0,30 L respectivamente. Encontrándose en el rango indicado en la norma.

3.3. Concreto de relleno

Se utiliza concreto preempacado como concreto de relleno. De igual manera, su dosificación se realiza siguiendo las especificaciones de la ficha técnica utilizando 5,50 L de agua por cada saco de 40 kg de concreto.

La resistencia del concreto de relleno se determina según las indicaciones de la norma INTE C56 (ASTM 1019-20), que indica que se deben confeccionar prismas con una sección transversal nominalmente cuadrada, con un ancho promedio entre 76 y 95 mm y una altura promedio entre 1,75 y 2 veces el ancho, para su posterior falla en compresión. La confección de los prismas de concreto se realiza en ensambles conformados por las paredes de los bloques de mampostería a utilizar, para asegurar las mismas condiciones de absorción. (Ver figura 8)

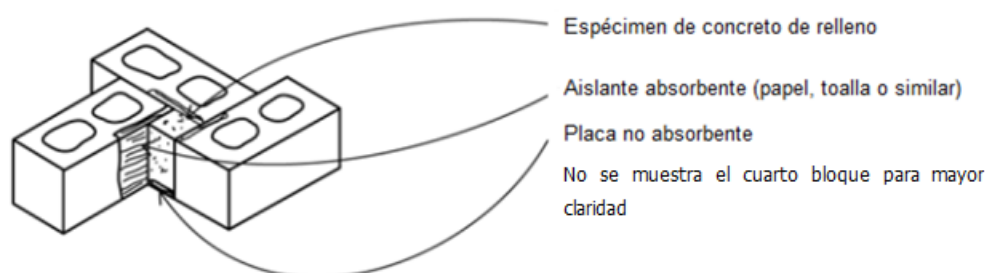


Figura 8. Ensamble para fabricar prismas de concreto de relleno.

Fuente: INTE C56

3.4. Prismas de mampostería

Para el desarrollo del estudio se elaboraron 30 prismas de mampostería colocando dos unidades de mampostería unidas verticalmente por medio de mortero de pega haciendo uso del bloque de mampostería completo con dimensiones finales de 400 mm de altura por 200 mm de ancho y longitud realizando distintas combinaciones de mortero y relleno para ser ensayados en compresión. Dichas combinaciones, así como los códigos utilizados se pueden observar en la Figura 9.

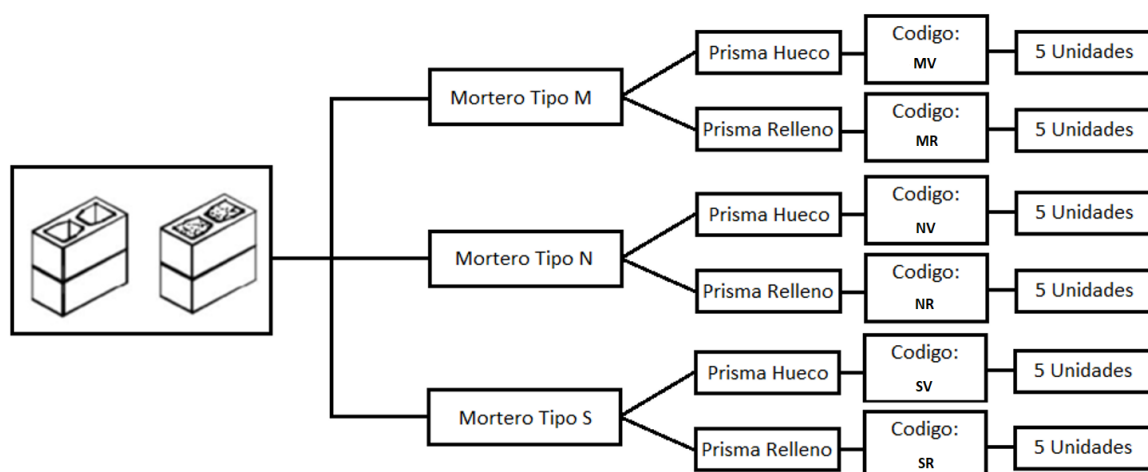


Figura 9. Combinación de variables utilizadas en el estudio

3.4.1. Proceso de construcción

El proceso de construcción de los prismas se realiza siguiendo la norma INTE C55 (ASTM C1314-21). Estos son elaborados por un albañil experimentado, para asegurar que el experimento sea consistente con los procesos constructivos nacionales.

El mortero es elaborado con la dosificación descrita en el apartado 3.2, siguiendo las indicaciones de la ficha técnica del producto. De cada mezcla de mortero se extrae una muestra de 3 cubos para fallar en compresión siguiendo la norma INTE C57 (ASTM C109-C109 M).

Se coloca el mortero en las unidades inferiores e inmediatamente se procede a colocar la unidad par encima asegurándose que las juntas horizontales tengan un espesor constante de 10 mm y que los prismas mantengan su verticalidad y horizontalidad. Después de colocar los bloques, se

remueve la rebaba de mortero e inmediatamente se sella de manera hermética con una bolsa para evitar la evaporación de agua.

La trabajabilidad durante el proceso de mezclado de mortero se verifica mediante la prueba de la cuchara invertida la cual según (Chaves, 2016) consiste en asentar el mortero en la cuchara del albañil y luego colocarla de forma invertida de manera que si el mortero no se cae entonces el mortero posee la consistencia y trabajabilidad adecuada para ser utilizado en obra. Lo anterior se puede observar en la figura 10.



Figura 10. Prueba de la cuchara invertida

Una vez colocado, se revisó que el prisma tuviese la junta horizontal aproximadamente de 10 mm, el cual es un espesor de junta utilizado comúnmente el cual cumple con lo establecido por el CSCR-10 donde se indica que las juntas deben tener un espesor mínimo de 0.6 cm y máximo de 1.6 cm.

Para el caso de los prismas rellenos, la norma INTE C55 (ASTM C1314-21) señala que los prismas se deben rellenar en no menos de 4 horas ni más de 48 horas luego de ser confeccionados. Se realiza la mezcla de concreto de relleno de acuerdo con lo descrito en el apartado 3.3 siguiendo las indicaciones de la ficha técnica del producto, agregando una cantidad de agua que permita buena trabajabilidad. Se abren las bolsas y antes de colocar el concreto de relleno se remueve los restos de mortero dentro de las celdas. Al colocar el concreto de relleno se compacta utilizando un procedimiento que represente lo utilizado en la construcción y se repite el proceso hasta llenar los prismas, quitando el exceso superior y dando un acabado plano como se puede observar en la figura 11.



Figura 11. Prismas de mampostería rellenos

Inmediatamente, se vuelven a cerrar las bolsas. Se elaboran 3 prismas de concreto de relleno por cada mezcla de concreto realizada, estos se pueden observar en la figura 12.



Figura 12. Prismas de concreto de relleno

3.4.2. Curado

Los prismas se mantienen en las bolsas en el sitio de fabricación como se puede observar en la figura 13 por 24 días. Al día 25, se sacan de la bolsa para ser coronados y tenerlos listos para ser ensayados.



Figura 13. Prismas embolsados en zona de curado

3.4.3. Coronamiento

Para el coronamiento de los prismas de mampostería, se utiliza el procedimiento descrito por la norma INTE C53. (ASTM C1552-16). Se utiliza cemento de alta resistencia con yeso y una relación de agua: cemento/yeso entre 0,26 y 0,3. En la figura 14, se observan los prismas coronados.



Figura 14. Coronamiento de prismas

3.5. Compresión axial y medición de deformaciones de la mampostería

El ensayo de compresión axial se realiza de acuerdo con la norma INTE C55 (ASTM C1314-21). En el caso de esta investigación, se mide la deformación vertical, para obtener las curvas esfuerzo-deformación y el módulo de elasticidad de la mampostería.

3.5.1. Instrumentación y carga

Las deformaciones se miden con dos transformadores diferenciales de variación lineal (LVDT por sus siglas en inglés), los cuales se colocan en caras opuestas del prisma con un accesorio.

Para esto se fabrican dos marcos que son fijados por medio de tornillos, verificando que los marcos se encuentren horizontales, de modo que ambos LVDT's estén alineados.

La figura 15, figura 16 y figura 17 muestran el diseño del accesorio para colocar el LVDT y en la figura 18 se puede observar el montaje utilizado para la falla de los prismas.

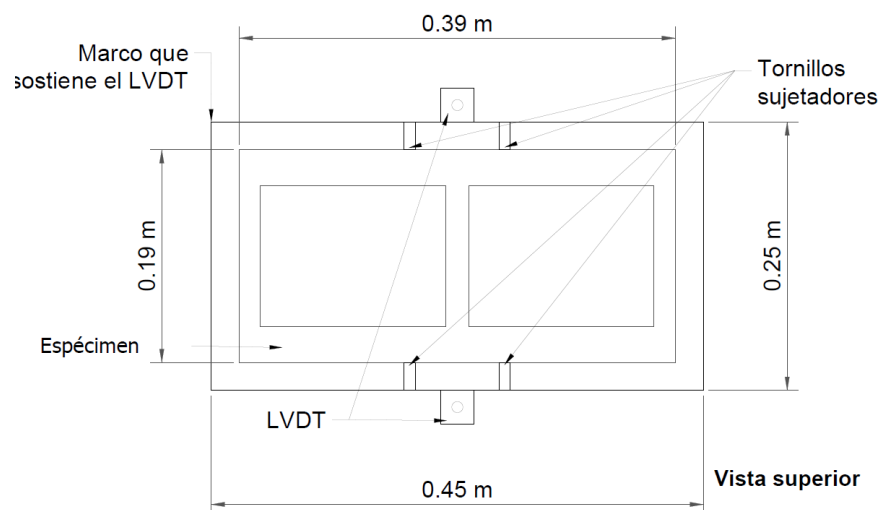


Figura 15. Vista superior del accesorio para medir deformaciones

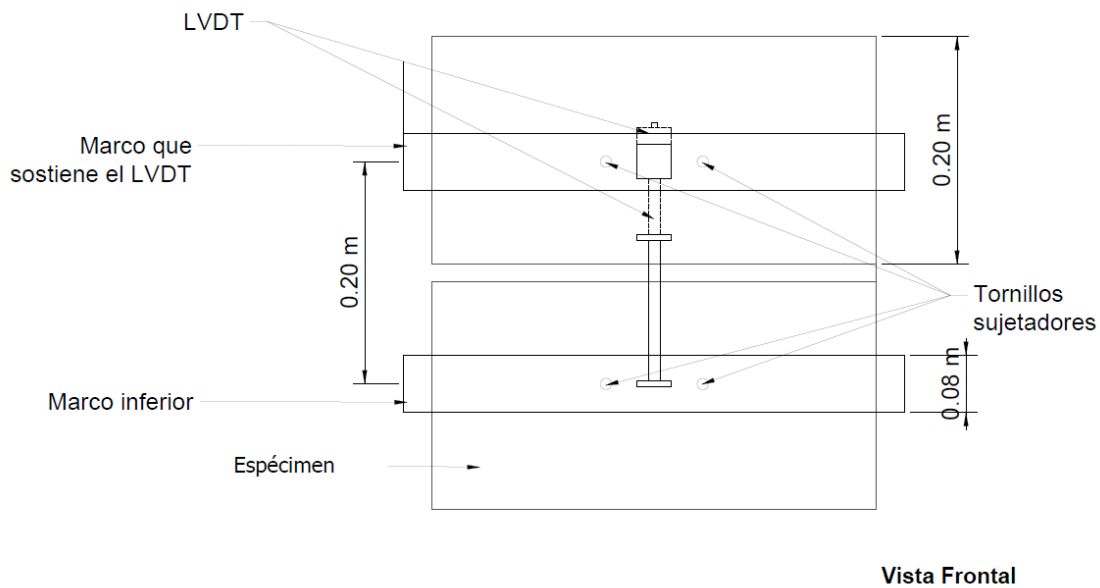


Figura 16. Vista frontal montaje para medir deformaciones

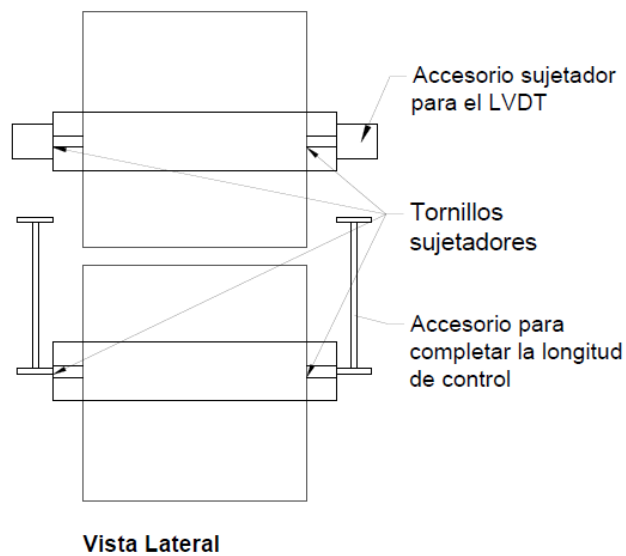


Figura 17. Vista lateral del montaje para medir deformaciones

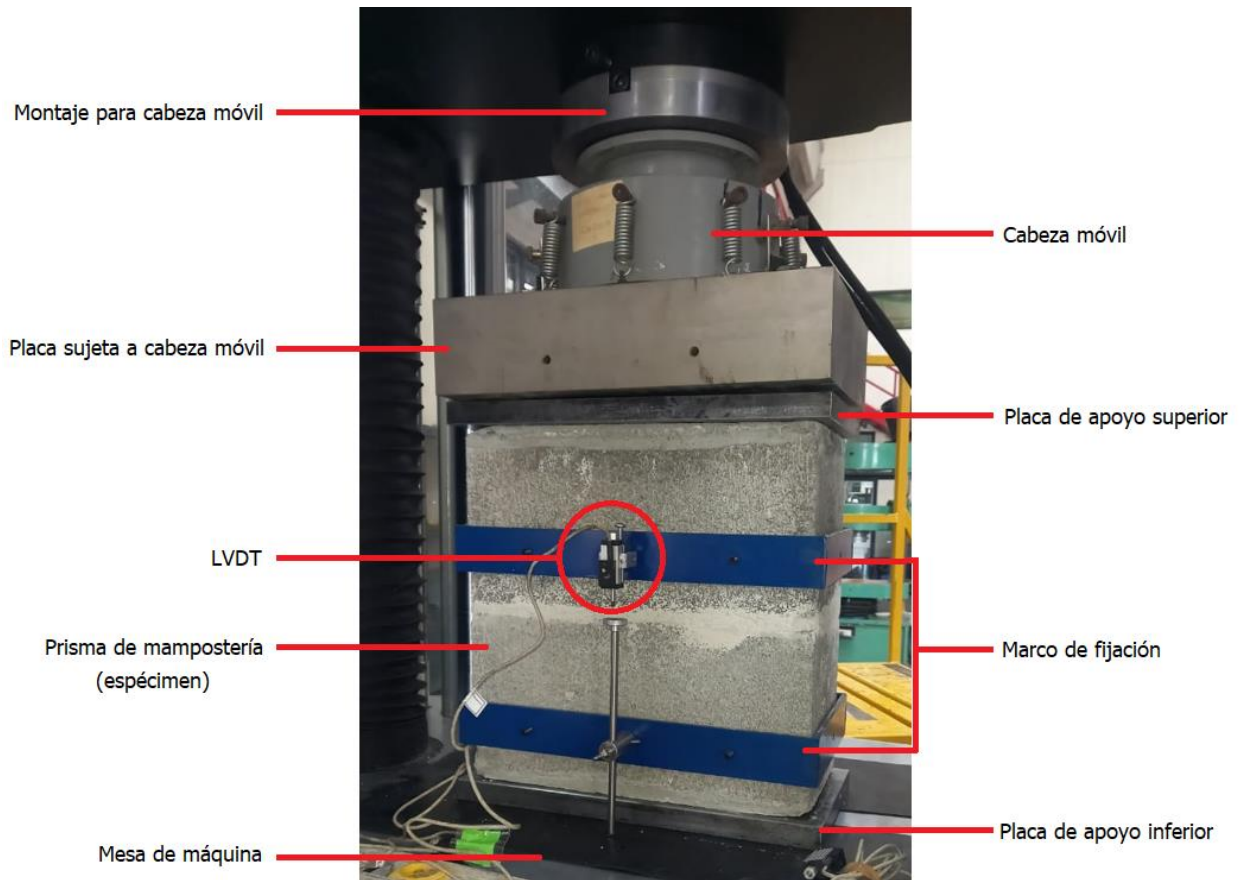


Figura 18. Montaje para medir deformaciones

Espécimen

Para la aplicación de la carga se utiliza una máquina MTS Criterion modelo 64 con una cabeza móvil de 209 mm de diámetro, la cual es importante porque permite que la placa se ajuste si las caras del prisma poseen alguna irregularidad. Se requiere el uso de 2 placas de acero, una como apoyo superior y la otra como apoyo inferior. Las dimensiones de estas se calculan utilizando la norma ASTM C1716/C1716M . Se utiliza dos placas iguales de 25 mm de espesor, 420 mm de largo y 220 mm de ancho (Ver figura 19)

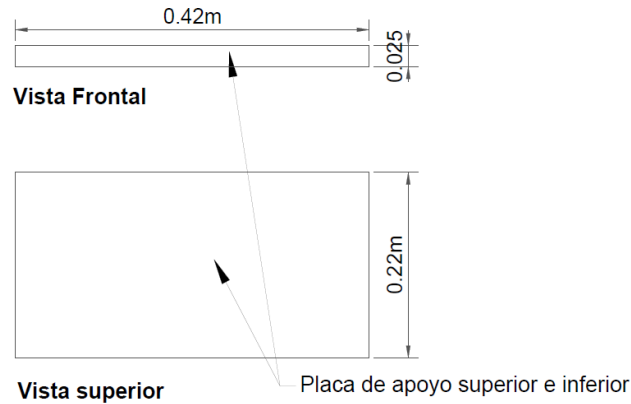


Figura 19. Dimensiones de placa superior e inferior

Para poder realizar el montaje de la cabeza móvil en la máquina se confecciona una unión entre la cabeza y la máquina como se puede observar en la figura 20 y la figura 21, la cual consta de una placa de 38.1 mm de espesor, cuatro tornillos grado 8 de 10 mm para fijar la placa a la máquina, 1 tornillo vertical que se ajusta a la cabeza y 1 tornillo grado 8 que une la placa con el tornillo vertical que sostiene la cabeza.

La cabeza sujeta una placa con su respectivo hemisferio esférico para ajustarse a la cabeza móvil, sus dimensiones son de 97 mm de altura, 408 mm de longitud y 308 mm de ancho. (Ver figura 18)

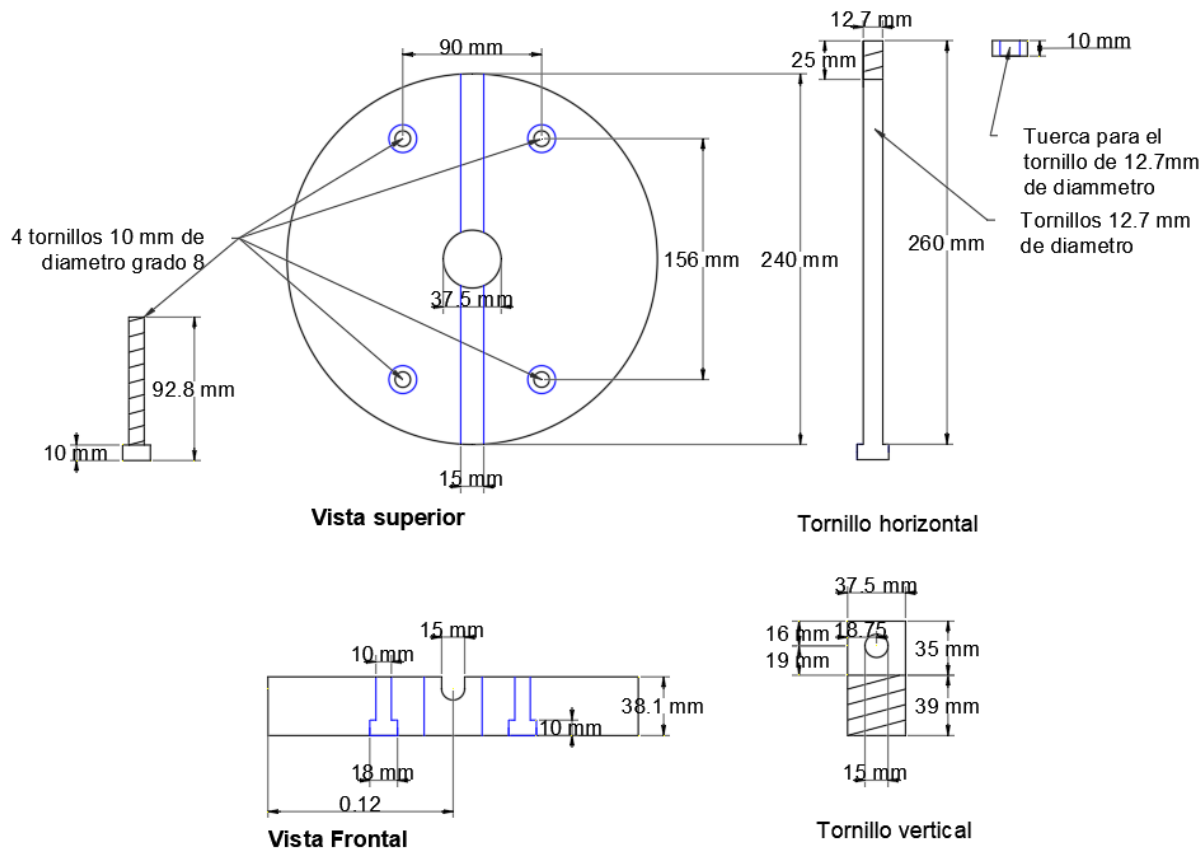


Figura 20. Diseño del montaje para la cabeza móvil



Figura 21. Montaje para cabeza móvil

4. Presentación y análisis de resultados

4.1. Bloques de mampostería

Se extrae una muestra de tres bloques y se inicia por tomar sus dimensiones así como sus propiedades físicas y mecánicas. Dichos datos se muestran en el cuadro 6, cuadro 7 y cuadro 8 siguiendo la nomenclatura de la figura 22.

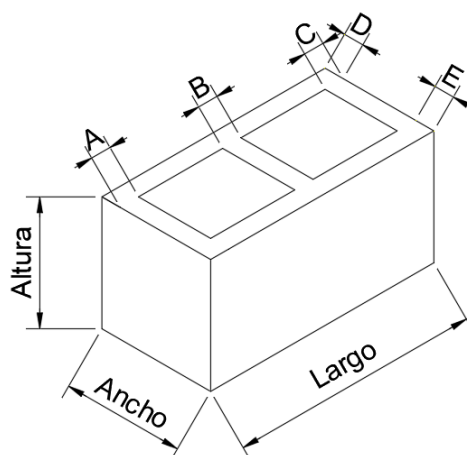


Figura 22. Nomenclatura de unidades de mampostería para medición

Cuadro 6. Dimensiones en mm de las unidades de mampostería

Dimensión	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Promedio
Altura	190.1	190.6	190.5	190.4
Ancho	201.1	201.6	201.7	201.4
Largo	390.4	390.6	390.9	390.6
Espesor A	35.22	36.86	35.77	35.9
Espesor B	28.50	29.47	29.38	29.1
Espesor C	36.49	33.63	35.51	35.2
Espesor D	37.26	34.26	34.01	35.2
Espesor E	34.16	36.14	34.95	35.1

Los valores indicados son un promedio del valor de cada una de las caras de cada unidad.

Cuadro 7. Propiedades físicas y geométricas de las unidades de mampostería

Propiedad	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3	Promedio
Masa recibida (w_r)	16645	16739	16452	16612
Masa sumergida (w_l) (g)	9911	10051	9780	9914
Masa saturada (w_s) (g)	17657	17785	17504	17649
Masa seca al horno 24h (w_d) (g)	16224	16409	15992	16208
Masa seca al horno 26h (w_d) (g)	16213	16391	15985	16196
Diferencia masa seca horno (g)	11.2	18.0	6.60	11.9
Diferencia masa seca al horno (%)	0.069	0.110	0.041	0.073
Absorción (kg/m^3)	186	180	197	188
Absorción (%)	8.90	8.50	9.50	8.97
Contenido de humedad (%)	30.0	24.9	30.8	28.6
Densidad (kg/ m^3)	2093	2120	2070	2094
Volumen neto espécimen (cm^3)	935	877	93	915
Área neta promedio (mm^2)	40871	40606	40308	40595
Área bruta (mm^2)	78499	78725	78815	786780

Se falla una muestra de las unidades de mampostería para obtener la resistencia en compresión promedio f_b .

Cuadro 8. Propiedades mecánicas de las unidades de mampostería

	Espécimen			Promedio
	1	2	3	
Carga Máxima (kN)	644	612	644	633
Área Neta (mm^2)	40871	40607	40308	40595
Resistencia en compresión (MPa) f_b	15.8	15.0	16.0	15.6
	Desviación estándar (MPa)			0.47
	Coeficiente de variación (%)			3.02

En la sección A del CSCR-10-14 se indica que los bloques de concreto Clase A tienen una resistencia promedio mínima a la compresión medida sobre el área neta a los 28 días de edad de 133 kg/cm^2 y un mínimo de 133 kg/cm^2 por muestra individual o 13.0 MPa por lo que se observa que tanto el promedio como las unidades de mampostería de manera individual se encuentran por encima del valor indicado por el CSCR 10-14. Como se puede observar en el cuadro 8, el coeficiente de variación de las resistencias es un 3.02% denotando una variabilidad aceptable. En la propuesta del nuevo CSCR se hará referencia a las normas INTE donde solo se encuentra la resistencia mínima de 13 MPa en los bloques de concreto, los cuales concuerdan con los bloques clase A del código actual.

Los bloques utilizados en el trabajo final de graduación provienen de un mismo lote por lo que poseen una misma edad y se fabricaron de una misma mezcla. A su vez, los valores de absorción presentan una diferencia máxima de 1% y una diferencia de densidad máxima de $2,3 \%$, de igual manera la diferencia máxima de área neta entre las unidades de mampostería es de 563 mm^2 lo que corresponde a un 1.40% .

Navas (1999) obtuvo un promedio de resistencia de 16.3 MPa para bloques tipo A por lo que los resultados obtenidos en el presente trabajo son un 4.30% menores que los datos históricos, pero siempre se mantienen en un rango superior al indicado en la sección A del CSCR-10-14.

4.2. Mortero de pega

Se elaboran 3 cubos de mortero preempacado por cada preparación de este para uso en los prismas estos se pueden observar en la figura 23. Los cubos son fallados a la misma edad que el prisma al cual corresponde el mortero para determinar su resistencia a la compresión. (Ver cuadro 9).

Cuadro 9. Resistencia en compresión del mortero

Espécimen	Carga (N)	Resistencia en compresión (MPa)
	M	
1	32012	12.8
2	30404	12.1
3	31865	12.8
Promedio	31427	12.6
Desviación Estándar (MPa)	888.99	0.36
Coficiente de variación	2.83	2.83
	N	
1	19913	7.97
2	19035	7.61
3	18013	7.21
Promedio	18987	7.59
Desviación Estándar (MPa)	950.91	0.38
Coficiente de variación	5.01	5.01
	S	
1	35111	14.0
2	35237	14.0
3	34422	13.8
Promedio	34923	14.0
Desviación Estándar (MPa)	438.71	0.17
Coficiente de variación	1.26	1.23

La norma INTE C91 (ASTM C270 – 19) especifica que la resistencia a la compresión medida en cubos de mortero a los 28 días de edad es en promedio 17,2 MPa, 12,4 MPa y 5,20 MPa para los morteros Tipo M, Tipo S y Tipo N respectivamente. A su vez, el CSCR-10-14 especifica que la resistencia a la compresión mínima medida en cubos de mortero a los 28 días de edad debe ser 175 kg/cm² (17,2 MPa) para mortero tipo A, 126 kg/cm² para mortero tipo B y 53 kg/cm² para mortero tipo C.

Se realiza la verificación de la proporción de agua necesaria para que se cumpla con la fluidez descrita en ASTM C1437-20 con un flujo de 110 ± 5 utilizando una cantidad de agua que se encuentre en el rango indicado en el empaque del mortero. Con una dosificación de 0.38 L, 0,3 L y 0,3 L en 2 Kg con lo que se obtienen los flujos de 114.5, 115 y 105 para los morteros M N y S respectivamente manteniéndose en el rango indicado por la norma



Figura 23. Cubos de mortero

Se observa una resistencia menor que la esperada por el mortero tipo M dando un valor similar a lo esperado para el mortero tipo S, por lo que se le solicita a los técnicos del LanammeUCR realizar nuevamente la prueba utilizando mortero del mismo lote. Los resultados de esta prueba se pueden observar en el Cuadro 9. Los valores del mortero S y mortero N son similares a los obtenidos anteriormente y el mortero M da un valor superior, el cual se encuentra en el rango esperado e indicado en la ficha técnica, por lo que el valor presentado en el cuadro 9 se atribuye a un error al realizar la prueba y se considera el valor presente en el cuadro 10 como el correcto. La comparación de los valores en ambas pruebas se puede observar en la figura 24.

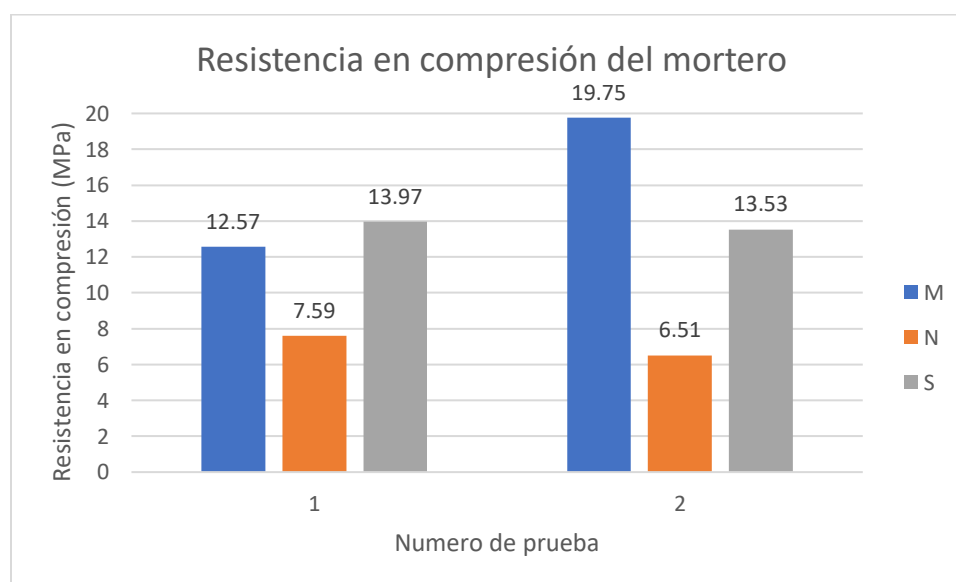


Figura 24. Resistencia en compresión del mortero en las 2 pruebas realizadas

Cuadro 10. Resistencia en compresión del mortero segunda prueba

Espécimen	Carga (N)	Resistencia en compresión (MPa)
M		
1	49733	19.9
2	47207	18.9
3	51212	20.5
Promedio	49384	19.8 (12.6)
Desviación Estándar (MPa)	2025	0.81
Coefficiente de variación	4.10	4.10
N		
1	17036	6.81
2	15022	6.01
3	16782	6.71
Promedio	16280	6.51 (7.59)
Desviación Estándar (MPa)	1096	0.44
Coefficiente de variación	6.74	6.70
S		
1	35401	14.16
2	32508	13.00
3	33594	13.44
Promedio	33834	13.5 (14.0)
Desviación Estándar (MPa)	1461	0.59
Coefficiente de variación	4.32	4.33

4.3. Concreto de relleno

Se realizan 3 prismas de concreto preempacado por cada preparación para uso en los prismas de mampostería. Después de desmoldarlos son trasladados a la cámara húmeda y se mantienen en dicho sitio hasta el día del ensayo. Los prismas de concreto son fallados a los 35 días teniendo la misma edad que los prismas de mampostería.

La norma INTE C56 (ASTM 1019-20) indica que las dimensiones de los prismas deben tener un ancho promedio entre 76 y 95 mm y una altura promedio de entre 1,75 y 2 veces el ancho. Se mide y registran las cuatro caras a media altura y la altura de las cuatro caras a la mitad del ancho, así como la perpendicularidad de las caras y su horizontalidad. El cuadro 11 presenta los promedios de dichos valores cumpliéndose con la relación altura/ ancho exceptuando el CRM3 y el CRN2.

Cuadro 11. Dimensiones promedio de los prismas de concreto de relleno

Espécimen	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm²)	Altura/ancho
CRM1	99.6	191.5	9925	1.92
CRM2	97.8	191.9	9556	1.96
CRM3	93.8	191.9	8803	2.05
CRN1	98.7	192.1	9746	1.95
CRN2	95.0	191.7	9025	2.03
CRN3	99.4	191.5	9886	1.93
CRS1	101	192.5	10203	1.91
CRS2	97.5	191.5	9513	1.96
CRS3	102	192.1	10295	1.89

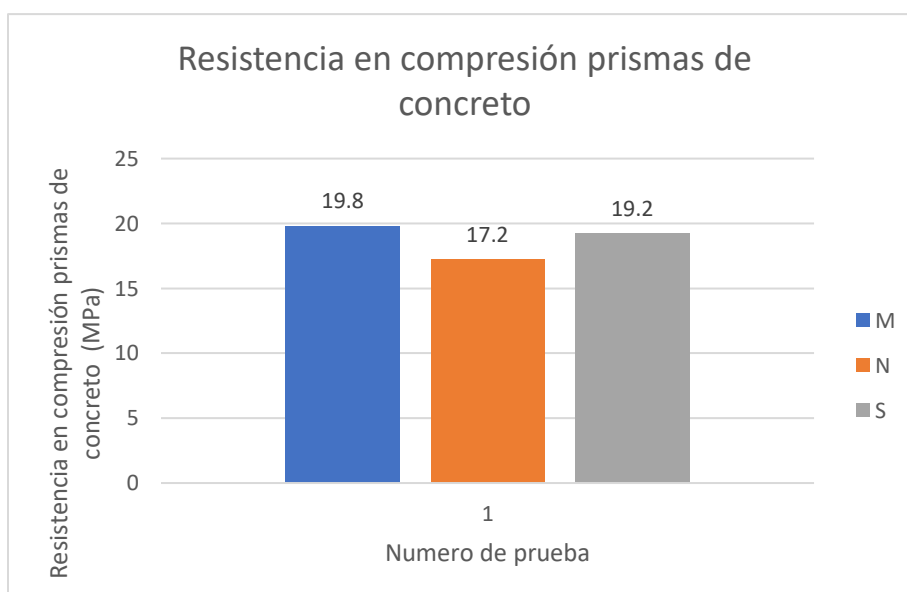
Cumpléndose los 28 días se proceden a fallar los prismas de concreto de relleno. Los resultados de resistencia en compresión se pueden observar en el cuadro 12 y sus promedios se pueden observar gráficamente en la figura 25.

Cuadro 12. Resistencia en compresión prismas de concreto

CRM		
Espécimen	Carga (kN)	Resistencia en compresión (MPa)
1	199	20.0
2	191	20.0
3	170	19.4
Promedio	187	19.8
Desviación Estándar (MPa)	14.7	0.38
Coeficiente de variación	7.87	2.06
CRN		
Espécimen	Carga (kN)	Resistencia en compresión (MPa)
1	169	17.3
2	161	17.8
3	164	16.5
Promedio	164	17.2
Desviación Estándar (MPa)	3.90	0.65
Coeficiente de variación	2.37	3.98

Cuadro 12 (continua). Resistencia en compresión prismas de concreto

CRS		
Espécimen	Carga (kN)	Resistencia en compresión (MPa)
1	187	18.4
2	192	20.2
3	197	19.1
Promedio	192	19.2
Desviación Estándar (MPa)	4.69	0.91
Coeficiente de variación	2.44	4.74

**Figura 25. Resistencia promedio en compresión de los prismas de concreto de relleno**

Según el CSCR-10/14, el concreto de relleno tipo A debe tener una resistencia de 17,2 MPa (175 kg/cm²), siendo los promedio de las resistencias 19.8, 17.2 y 19.2 con un promedio total de 18.8 MPa el cual si es superior al indicado por el CSCR-10/14 y supera los valores de los prismas de mampostería. Por otra parte la norma INTE C88 establece que el concreto de relleno debe alcanzar un mínimo de resistencia f_g de 14 MPa por lo que el promedio si se encuentra sobre este valor y todos los prismas cumplen con este. En la figura 26 se puede observar el prisma CRS1 en la prueba de compresión.



Figura 26. Prueba de compresión en el prisma de concreto de relleno CRS1

En el cuadro 13 se observan los promedios de resistencias de los distintos tipos de mortero, el concreto relleno correspondiente y los bloques de mampostería.

Cuadro 13. Resumen de resultados promedio de resistencias

	Resistencias (MPa)
f_b	15.6
M f_{mor}	19.8
N f_{mor}	6.51
S f_{mor}	13.5
M f_g	19.8
N f_g	17.2
S f_g	19.1

Como se puede observar en el cuadro 13 las resistencias de los componentes de la mampostería cumplen con lo indicado en la normativa correspondiente.

4.4. Prismas de mampostería

La resistencia en compresión se obtiene de la división del valor máximo de carga registrado por cada espécimen y el área neta para prismas huecos y el área bruta para prismas rellenos, con su ajuste mediante el uso de un factor de corrección con la relación altura/espesor como se puede observar en el cuadro 14. Este reduce en la mayoría de los casos el valor de la resistencia y en ningún caso se da un aumento de resistencia debido a este factor de corrección, la totalidad de estos factores de corrección se puede encontrar en el cuadro A 4 en los anexos.

Cuadro 14. Dimensiones de los prismas y factor de corrección

Prisma	Altura (mm)	Espesor (mm)	Altura/espesor	factor corrección
SV1	397.1	200.19	1.983	0.996
SV2	399.7	200.24	1.996	1.00
SV3	398.2	200.61	1.985	0.996
SV4	398.9	200.54	1.989	0.998
SV5	398.0	200.19	1.988	0.998
SR1	398.3	200.62	1.985	0.998
SR2	398.4	200.76	1.984	0.996
SR3	398.5	200.59	1.987	0.998
SR4	398.1	200.73	1.983	0.996
SR5	398.4	200.68	1.985	0.998

El promedio de la resistencia en compresión para cada tipo de mortero en los prismas, junto con su desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación se observa en el cuadro 15.

Cuadro 15. Resumen de resultados de prismas de mampostería agrupados por tipo de mortero

Prismas	Resistencia promedio del prisma f_m (MPa)	Desviación Estándar (MPa)	Error estándar (%)	Coficiente de variación (%)
M	15.335	1.061	0.320	6.920
N	16.797	1.218	0.385	7.253
S	16.872	1.186	0.395	7.027

En el cuadro 16 se presenta los resultados de resistencia de los diferentes elementos que componen el prisma de concreto, así como la resistencia del conjunto dividido en prismas rellenos y vacíos según su tipo de mortero. Todos los resultados de resistencia pueden observarse en el cuadro A 5, cuadro A 6 y cuadro A 7 en los anexos.

Cuadro 16. Resistencia en compresión de los prismas de mampostería en comparación con la resistencia en compresión de los bloques de mampostería y prismas de concreto, comparación entre prismas rellenos y huecos.

Prismas	Resistencia de los prismas de mampostería f_m (MPa)	Resistencia de los bloques f_b (MPa)	Resistencia prismas de concreto f_g (MPa)	f_m/f_b	f_m/f_g
MR	16.0		19.8	1.02	0.810
NR	17.2		17.2	1.11	1.00
SR	17.2		19.2	1.10	0.892
Promedio	16.8	15.6	18.8	1.08	0.897
MV	14.7		-	0.95	-
NV	16.4		-	1.05	-
SV	16.7		-	1.07	-
Promedio	15.9		-	1.02	-

El cuadro 15 muestra la variación entre prismas rellenos y vacíos con el coeficiente de variación entre los 6.92 % y 7.25 %.

El cuadro 16 evidencia que para todas las configuraciones de prismas, la resistencia promedio obtenida cumple con el valor establecido por el CSCR 10-14 para la mampostería clase A con un valor de 100 kg/cm² (9.81 MPa). El prisma con el valor de resistencia mínimo posee una resistencia de 139.19 kg/cm² (13.65 MPa) un 39 % superior al requerido en el código. Este valor se puede observar en el cuadro A 5 en el prisma MV2.

En el cuadro 17 se presentan los resultados de un análisis de varianza (ANOVA) con 2 variables las cuales son tipo de mortero, bloques con y sin concreto de relleno, con un 95% de confianza se puede indicar que existe diferencia significativa tanto para el tipo de mortero como en prismas rellenos y vacíos pero no se puede indicar lo mismo para su interacción. La figura A 86 en anexos muestra que los residuales de la resistencia en los prismas sí presentan una tendencia normal por lo que se puede realizar el análisis de varianza (ANOVA).

Cuadro 17. Resultados del análisis de varianza con 2 variables para la resistencia de los prismas de mampostería

	F	Valor P	F crítico
Concreto de relleno	7.65	0.0107	4.26
Mortero	8.39	0.00173	3.40
Interacción	0.739	0.488	3.40

En la figura 27 se puede observar la diferencia de resistencia de las distintas variables. Esta figura evidencia que los prismas de mampostería rellenos tienen un promedio de resistencia superior a la mampostería con prismas vacíos siendo el promedio en prismas de mampostería con mortero tipo M un 8.7 % mayor, tipo N un 5.5 % mayor y tipo S un 2.6 % mayor.

Se tiene una resistencia promedio de los prismas rellenos de 16.81 MPa y una resistencia promedio de prismas vacíos de 15.86 MPa teniendo los prismas rellenos un 71.5% más resistencia que lo indicado por el CSCR 10-14 y los prismas vacíos un 61.8% por lo que ambos superan en gran medida los valores requeridos según el CSCR 10-14.

La mampostería con mayor resistencia es la que utiliza mortero tipo N rellena y la vacía con mayor resistencia utiliza mortero tipo S.

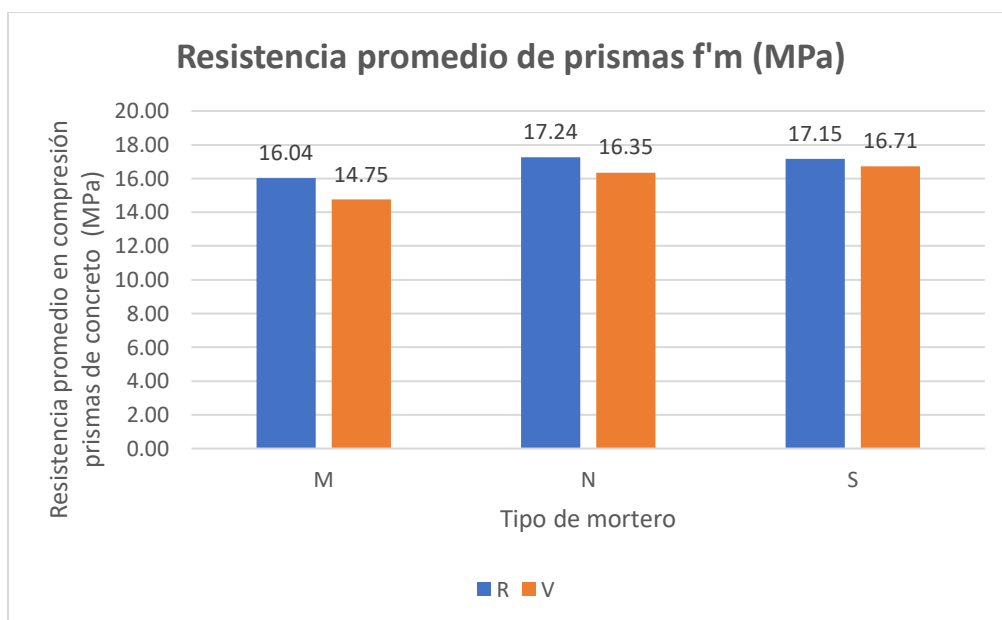


Figura 27. Promedio de resistencia a la compresión para cada tipo de prisma relleno y vacío

Es importante evidenciar que cuando se estaban realizando las pruebas en compresión de los prismas con mortero M, la máquina utilizada generó un error al realizar la falla del segundo prisma, generando una gráfica inconsistente. Luego de esto, se logró descargar la máquina y continuar con la falla de los prismas con mortero M. Se debe notar que luego del desperfecto (mientras se fallan los prismas M) no se verifica si se dio alguna des calibración en la máquina.

Al día siguiente, antes de iniciar la falla de los prismas N nuevamente la máquina presentó nuevamente un desperfecto y se debió esperar hasta que se arreglara y recalibrara para continuar las pruebas por lo que no se realizaron ese día.

4.4.1. Efecto de la resistencia del mortero

Como se observa en el cuadro 17, al realizar el análisis de varianza (ANOVA) se puede asegurar con un 95% de confianza que existe diferencia significativa entre los tipos de mortero utilizados tanto en prismas rellenos como vacíos.

En el presente estudio, los prismas con mortero N poseen un mortero de menor resistencia como se puede observar en el cuadro 10 y cuadro 11, pero los prismas correspondientes no presentan la menor resistencia. Tanto los prismas rellenos como vacíos, la mampostería con mortero tipo M posee una menor resistencia a diferencia de lo esperado según Navas (2007), el cual indica que el aumento de la resistencia del mortero en los prismas huecos genera un aumento de la resistencia en el prisma, pero este efecto es insignificante en prismas rellenos.

Se asume también que pueda ser un error a la hora de realizar la mezcla del mortero M pero como se observa en el cuadro 9, aun siendo el mortero M menor de lo esperado su resistencia sigue siendo mayor que la del mortero N por lo tanto no es este el caso.

De igual manera este efecto se observa tanto en prismas rellenos como en prismas vacíos como se observa en el cuadro 16 por lo que no es causado por el concreto de relleno.

Otra de las posibles causas de que los prismas con mortero M posean una menor resistencia es el momento de confección de los mismos haciendo notar que es la misma persona la que confecciona todos los prismas del presente estudio y es un albañil con experiencia, se considera que el error generado por la maquina en la cual se fallan los prismas el día en que se estaban fallando los prismas con mortero tipo M genera una mayor incertidumbre a estos resultados.

4.4.2. Efecto de la resistencia del concreto de relleno

Por medio de los resultados presentes en el cuadro 17, se puede asegurar con un 95% de confianza que existe diferencia significativa entre los prismas que usan concreto de relleno y los que no lo utilizan.

Como se puede observar en el cuadro 16 la relación f_m/f_g es menor a 1 para el mortero M y S y es igual a 1 en el mortero N lo que muestra que la mampostería con concreto de relleno presenta cargas de falla inferiores o iguales a la capacidad de carga del concreto de relleno pero en ninguno de los casos superiores a esta.

Como se puede observar en el cuadro 16, y la figura 27, en todos los casos utilizando el mismo tipo de mortero, los prismas rellenos poseen una mayor resistencia que los prismas vacíos, opuesto a lo indicado por Navas (2007), el cual indica que los prismas que no poseen concreto de relleno tienen mayor resistencia que los prismas rellenos debido a que en prismas rellenos el bloque debe confinar tanto el mortero como el concreto de relleno, por lo que ante una misma carga, el esfuerzo que se debe resistir es mayor.

Un comportamiento similar al obtenido se puede observar en una investigación realizada por el ICCYC y el CFIA (2009) en la cual los prismas con concreto rellenos de resistencias iguales o superiores a 17,3 MPa poseen una resistencia mayor que los prismas vacíos. El mismo comportamiento se observa en la tesis de Núñez (2019) y en la tesis de Vaca (2019), ambas tesis presenta prismas rellenos con una mayor resistencia que los vacíos.

En el presente estudio también se utiliza un concreto de relleno de una resistencia elevada con un promedio de 18,75 MPa, teniendo una resistencia en los prismas de concreto mayor que la resistencia de los prismas de mampostería la cual a su vez es mayor que la resistencia de los bloques $f_g > f_m > f_b$ a lo cual se le atribuye la mayor resistencia en prismas rellenos en comparación con prismas vacíos.

Según Vargas (2020) a mayor resistencia en compresión del concreto de relleno, mayor resistencia en compresión de la mampostería lo cual en el presente estudio no se observa.

4.4.3. Efecto de los bloques de mampostería

Navas (1999) indica que la resistencia de los bloques de mampostería influye en mayor medida la resistencia de los prismas de mampostería en comparación con el mortero o concreto de relleno, en el presente caso de estudio todos los bloques son tomados de un mismo lote. En el cuadro 16 se presenta la relación f_m/f_b esta relación en todos los casos es mayor a 1 excepto en los prismas vacíos con mortero tipo M con un valor de 0.95, en ese caso la resistencia del prisma es menor que la resistencia del bloque de mampostería, al comparar la relación f_m/f_b y f_m/f_g se observa lo indicado por Navas (1999).

Por otra parte Abarca, González (2017) señalan que más del 90 % de los bloques producidos en el país cumplen con la clasificación de clase A según el CSCR-2010 y muestran un promedio de resistencia en una muestra de bloques de mampostería entre el 2010 y 2016 igual a 15.8 MPa, similar a la obtenida en el presente estudio de 15.6 MPa.

Al observarse que los prismas con mortero M son los que poseen menor resistencia se considera el hecho de que los prismas con mortero M fueron fallados con 33 días de edad y los prismas con Mortero N y S con 70 y 74 días respectivamente y considerando que Navas (2007) indica que el factor más importante para la resistencia en compresión de la mampostería de concreto es la resistencia a la compresión de los bloques se realiza un nuevo análisis a 3 bloques de mampostería para observar si existe un aumento de resistencia en el tiempo, lo cual explicaría la diferencia en la resistencia de los prismas con mortero M con respecto a los demás. Sin embargo, luego de realizar un nuevo análisis no se da un aumento de resistencia en compresión de los bloques como se puede observar en el cuadro 18, y por el contrario, se da una disminución del 2,4 % al considerar el promedio. Se concluye que los bloques de mampostería no son los que generan el efecto de prismas con mortero M con menor resistencia.

Cuadro 18. Diferencia de resistencia en compresión de los bloques de mampostería

Bloque	Primera prueba	Segunda prueba
	Fuerza MPa	Fuerza MPa
1	15.8	15.2
2	15.1	14.6
3	16.0	15.9
Promedio	15.6	15.2
Desviación estándar	0.472	0.634
Coefficiente de variación	3.02	4.16

4.5. Modos de falla

La norma INTE C55 (ASTM C1314-21) describe los posibles modos de falla que se presentan cuando se da la falla en compresión en prismas de mampostería de concreto, los cuales se pueden observar en la figura 28.

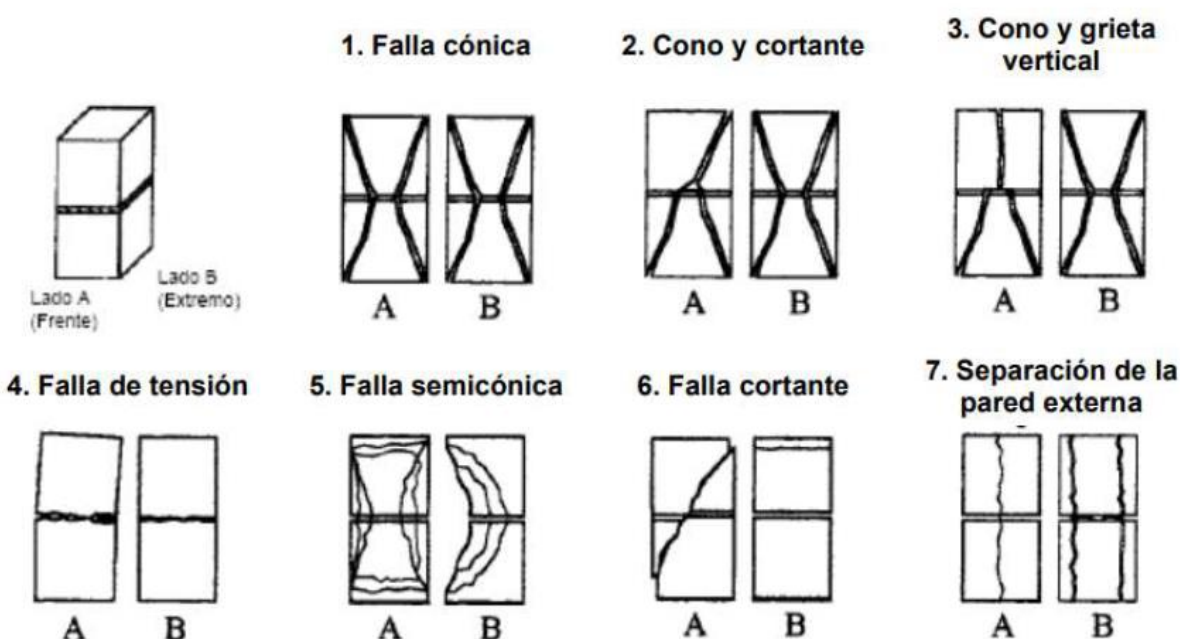


Figura 28. Esquema de posibles modos de falla

Fuente: INTE C55

La figura 29 muestra en la cara frontal, un tipo de falla cónica (modo 1) según la figura 28. Solo un caso presentó una falla cónica y falla a tensión (modos 1 y 4), lo que muestra que la distribución de cargas en el prisma generó una tensión en esa cara y causó la separación de la junta de mampostería.

En los prismas rellenos, se observa un único prisma con una falla vertical que genera una separación de la cara (modo 7) que se evidencia de igual manera en la Tesis de Hamid, A. (1978) el cual indica que este tipo de falla se debe a la tracción lateral que se genera por la expansión del concreto de relleno.

Los prismas con concreto de relleno generan la falla, pero no se observa una separación entre el bloque de mampostería externo y el concreto de relleno por lo que se evidencia que se da una buena adherencia entre estos.



Figura 29. Modos de falla característicos en la cara frontal de los prismas

En la figura 30 se observa principalmente fallas cónicas similares al modo de falla 1 la cual es la falla típica de los prismas de concreto fallados en el estudio, coincidiendo con los resultados de Assis, Hamid y Harris (1989).

De igual manera, la Figura 30 evidencia un prisma con una falla por cortante y cónica tipo 2.



Figura 30. Modos de falla característicos en la cara lateral de los prismas

4.6. Curva esfuerzo deformación

Para realizar el análisis del comportamiento de las curvas esfuerzo-deformación se utiliza la curva esfuerzo-tiempo de la máquina y la curva deformación-tiempo obtenida de los LVDT por medio de las pruebas de compresión de los prismas elaborados, generando 2 curvas para cada prisma y descartando las curvas que tengan un comportamiento atípico debido a errores en la colocación de los LVDT. Estas curvas se pueden observar en el anexos en la sección 7.4.

En la Figura 31 y la Figura 32 se presenta las gráficas agrupadas en prismas rellenos y vacíos respectivamente siendo las gráficas verdes las de prismas con mortero tipo M, la naranja con mortero N y las azules con mortero S. Se detecta que las gráficas entre los prismas con morteros N y S en los prismas rellenos presentan una curvatura de características similares entre ellas.

En el cuadro 19 se puede observar un coeficiente de variación máximo en su resistencia en compresión entre las curvas con las mismas características de mortero y concreto de relleno de 7.66%.

Cuadro 19. Resistencia en compresión de los prismas de mampostería con coeficiente de variación

Prisma	f_m promedio (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación %
MR	16.0	0.646	4.03
MV	14.8	0.939	6.37
NR	17.2	1.03	6.00
NV	16.4	1.21	7.38
SR	17.2	0.907	5.29
SV	16.7	1.28	7.66

En la figura 33, la figura 34 y la figura 35 se agrupan las gráficas por tipo de mortero utilizado en los prismas, con las curvas moradas representando los prismas rellenos y las curvas celestes los prismas vacíos.

Se puede observar que en la primera sección de la gráfica, correspondiente a la zona donde se calcula el E_m , los prismas con mortero tipo S poseen una menor dispersión seguida por las curvas de prismas de mampostería con mortero N y las curvas de los prismas con mortero M poseen la mayor dispersión.

Las curvas esfuerzo-deformación tienen un comportamiento similar entre sí y al esperado de acuerdo con la teoría del apartado 2.3 con la primera sección de la curva siendo ascendente de manera relativamente lineal, formando una parábola cerca de su punto de esfuerzo máximo. En pocos casos se evidencia que esta parábola descienda de manera tan evidente como en la figura 3, teniendo la mayoría de gráficas obtenidas un valor de deformación unitaria final sin alcanzar el descenso al 80 % de la resistencia máxima por lo que se tiene una región post pico corta.

Se hace evidente en la figura 35 que los prismas con mortero S presentan 2 grupos, el primero con una sección que encuentra su punto de esfuerzo máximo y esfuerzo final con una deformación unitaria baja y otro grupo de curvas con deformación unitaria más elevada. Esto no es tan evidente en las curvas de prismas con mortero M y N presentes en la figura 33 y figura 34.

No se observa evidencia de lo indicado por Cheema y Klingner (1986), los cuales indican que los prismas vacíos son más rígidos que los rellenos y tienen un comportamiento casi lineal con una falla súbita, los prismas rellenos poseen un comportamiento menos lineal y una falla más gradual. En la presente investigación tanto prismas vacíos como rellenos poseen un comportamiento poco lineal con algunas excepciones como la figura A 59 del anexo. De igual manera tanto prismas rellenos como vacíos presentan fallas súbitas y graduales.

Según Assis, Hamid y Harris (1989). La rama descendente es muy sensible a la rigidez del sistema y el comportamiento después del esfuerzo máximo solo se puede obtener si la rigidez del prisma es menor que la rigidez del sistema lo cual es el caso en estudio en el presente documento como se puede evidenciar al tener datos obtenidos luego del punto de esfuerzo máximo.

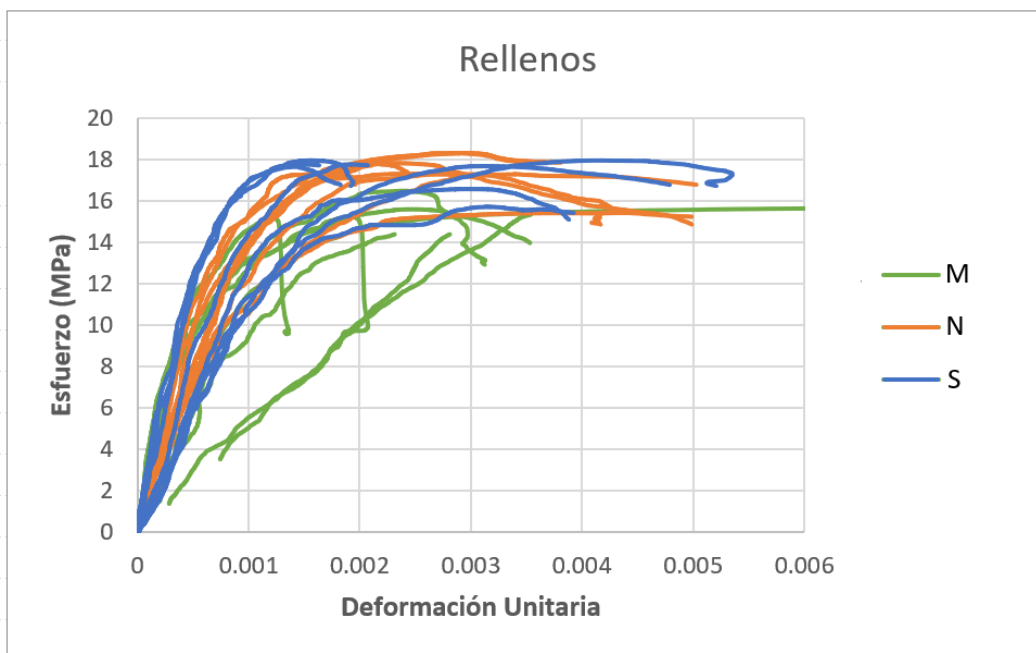


Figura 31. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con prismas rellenos

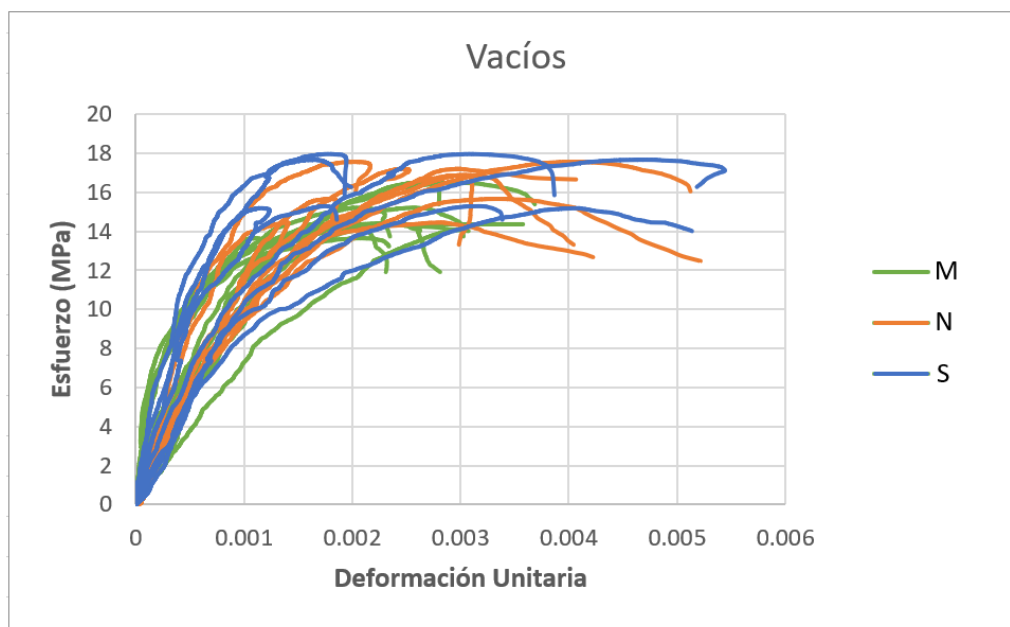


Figura 32. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con prismas vacíos

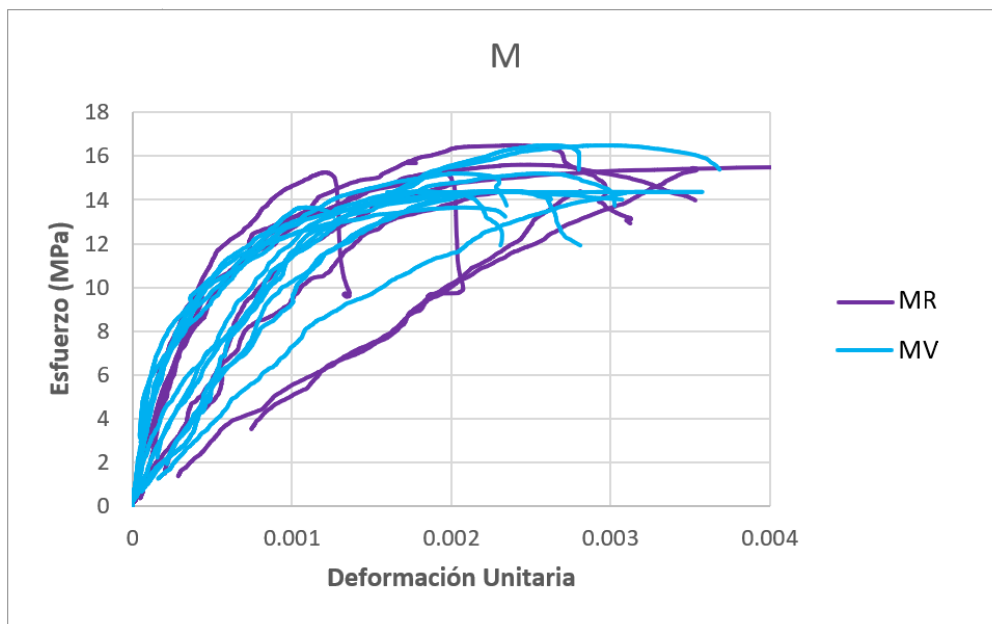


Figura 33. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con mortero M

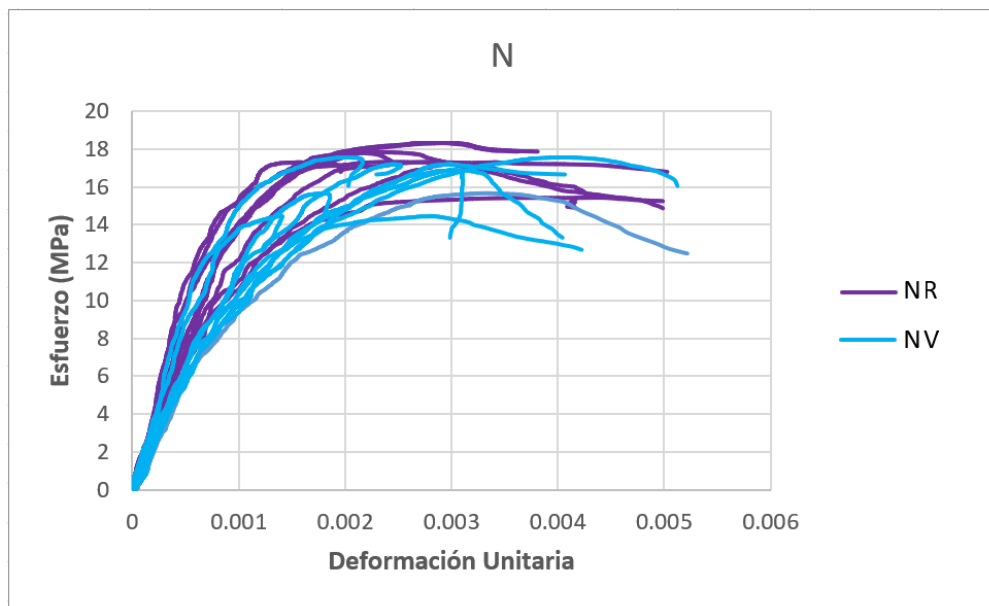


Figura 34. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con mortero N

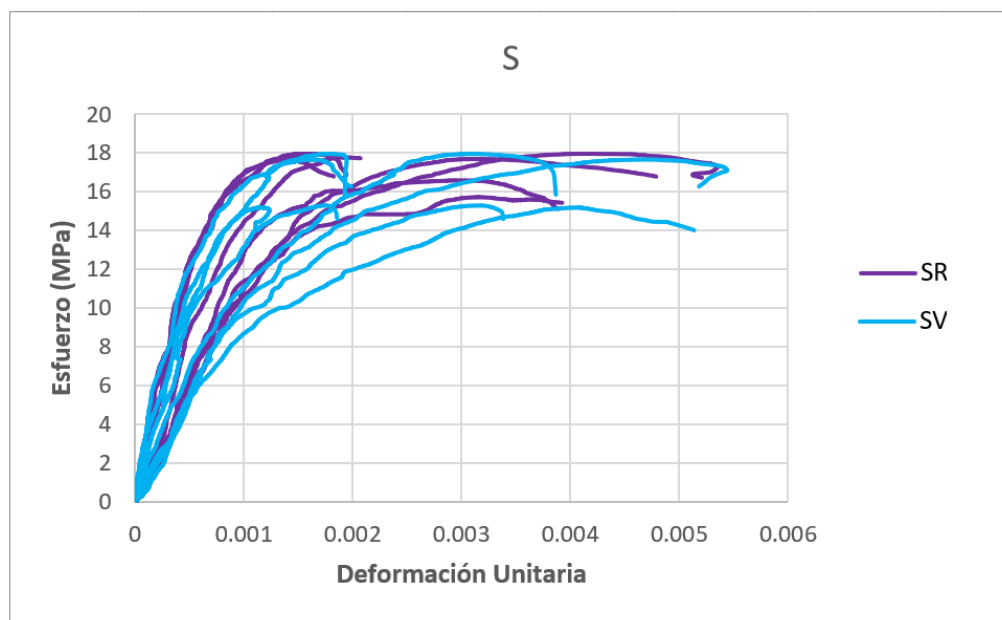


Figura 35. Conjunto de curvas esfuerzo-deformación con mortero S

4.7. Módulo de elasticidad

De las curvas esfuerzo-deformación se obtiene el módulo de elasticidad por medio de la línea recta de mejor ajuste utilizando el tramo de la pendiente que se ubica entre el 5 % y 33 % del esfuerzo máximo, la cual es la región elástica de la curva. El cuadro 20 muestra los módulos de elasticidad promedio y la relación entre la resistencia f_m y el módulo E_m de los prismas. No se observa una tendencia que indique que los prismas rellenos tienen un mayor módulo de elasticidad que los vacíos o viceversa.

Cuadro 20. Resumen de resultados de deformación y módulo de elasticidad de prismas de mampostería

Prismas	Deformación unitaria útil promedio (ϵ_m)	Deformación unitaria última promedio (ϵ_{mu})	Módulo de Elasticidad promedio E_m (MPa)	E_m/f_m promedio
MR	0.00214	0.00259	17341	1081
NR	0.00270	0.00340	18299	1061
SR	0.00231	0.00298	16225	946
MV	0.00237	0.00273	17637	1885
NV	0.00270	0.00327	13749	841
SV	0.00267	0.00307	17109	1024
Promedio	0.00248	0.00301	16727	1140

Los prismas del estudio de Navas (1999) presentan valores de módulo de elasticidad de 130566 kg/cm² (12804 MPa), 94252 kg/cm² (9243 MPa) y 118814 kg/cm² (11652 MPa) para morteros tipo M, N y S respectivamente utilizando bloques tipo A. Los valores obtenidos en el presente estudio tienen promedios de 17473 MPa, 16024 MPa y 16612 MPa para morteros tipo M, N y S respectivamente, siendo los valores promedio obtenidos en este estudio mayores a los presentados por Navas (1999) en un 36% con mortero M, 73% con mortero N y 42% con mortero S.

Los módulos de elasticidad presentan una tendencia en la cual los prismas que tienen mortero de mayor resistencia poseen un módulo de elasticidad mayor, pero a diferencia de lo indicado por Navas (1999), no se observa una relación directa con la resistencia del prisma por que los prismas con mortero M obtenidos en el estudio son los que poseen menor resistencia, pero un mayor módulo de elasticidad.

Existen dos valores de módulo de elasticidad no utilizados, ya que por medio del uso de un diagrama de caja se muestran como valores atípicos. Estos se pueden observar en la figura A 14 y la figura A 16 en los anexos.

Cuadro 21. Promedios de módulo de elasticidad con su desviación estándar y coeficiente de variación

Prisma	Módulo de elasticidad promedio E_m (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Coficiente de variación (%)
M	17473	10623	60.8
N	16024	2873	17.9
S	16618	5817	35.0

Como se puede observar en el cuadro 21, los coeficientes de variación muestran una alta dispersión que puede ser asociada con varios factores según Drysdale, Hamid y Baker (2008) tales como la configuración de los prismas, la instrumentación, el protocolo de carga y el método de cálculo utilizado para los módulos de elasticidad, debido a que se utiliza la misma instrumentación, protocolo de carga y método de cálculo en todos los prismas se atribuye la variación a la configuración de los prismas y los materiales que los integran.

La razón E_m/f_m promedio presente en el cuadro 20 así como el promedio total de los prismas de 1140 muestra que todos los promedios se encuentran dentro del rango indicado por Drysdale,

Hamid y Baker (2008) entre 400 y 1290, pero son superiores al valor señalado para diseño por el CSCR-10 de 750.

En la figura 36 se presenta los valores del módulo de elasticidad de manera individual. Se puede observar una dispersión de valores elevada con 6 valores que superan lo indicado por Drysdale, Hamid y Baker (2008). Se observa que la mayoría de los datos obtenidos se encuentran por encima del valor de 750 f_m indicado en el CSCR 10-14.

Solo uno de los valores de módulo de elasticidad E_m obtenidos se encuentra por debajo del valor señalado de 400 f_m .

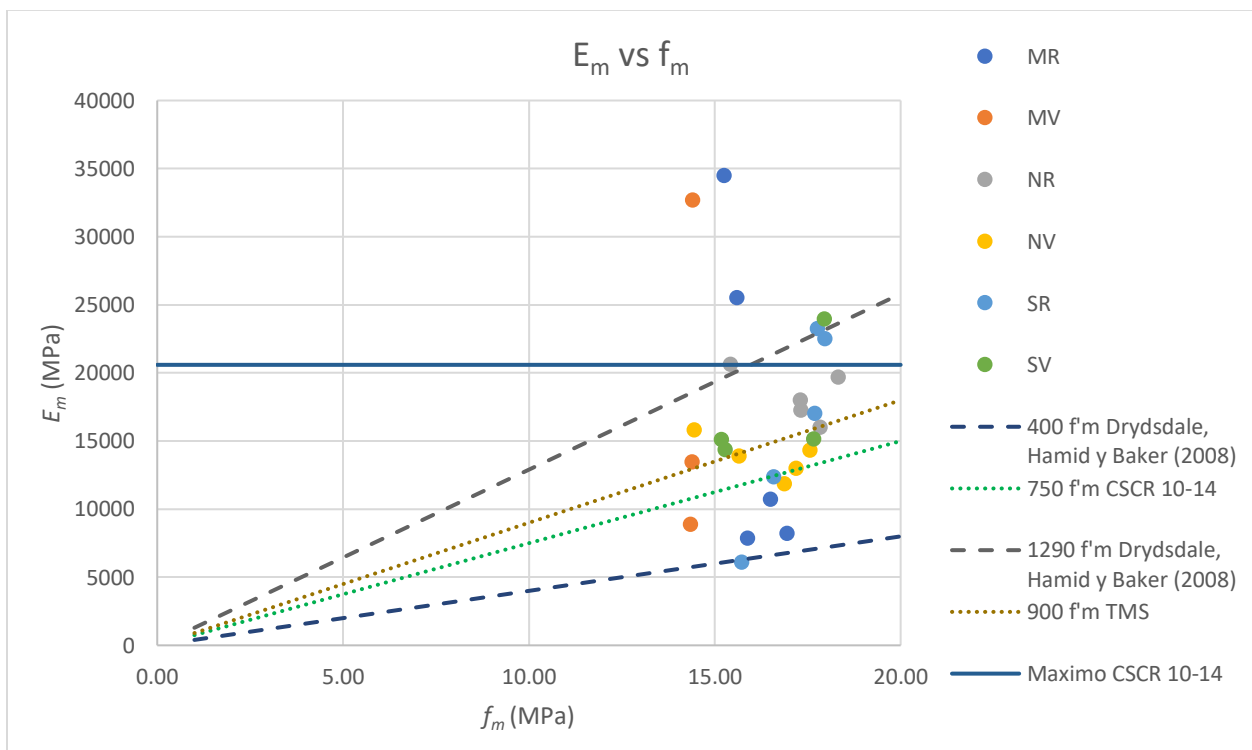


Figura 36. Relación entre módulo de elasticidad y resistencia en compresión de la mampostería

4.8. Deformación Unitaria

De las curvas esfuerzo-deformación obtenidas se registra tanto la deformación unitaria útil asociada a la resistencia f_m en el punto máximo de la curva y la deformación unitaria última registrada en el valor de esfuerzo final o cuando el esfuerzo decae al 80 % de su máximo. En el presente estudio, solo en 3 de los casos, luego del punto máximo de carga, esta desciende a un valor menor de 80 %, El promedio de estos valores se puede observar en el cuadro 22.

Del cuadro 20 se puede observar que el promedio de deformación en prismas rellenos para cada tipo de mortero es menor que el promedio de deformación de los prismas vacíos. El promedio total de deformación útil en los prismas rellenos es de 0.00243 y en los prismas vacíos de 0.00256, pero lo mismo no sucede con la deformación última que tiene un promedio de 0.00307 en rellenos y 0.00300 en vacíos.

Por otro lado, al realizar la comparación entre los diferentes morteros, se observa una tendencia de alcanzar deformaciones mayores al poseer morteros con menor resistencia.

En la figura 37 y figura 38 la línea anaranjada representa el valor recomendado por el TMS 402-16 10 para diseño (0,0025), el cual es el mismo que se está considerando para el CSCR posterior al CSCR10-14. Es importante considerar que los valores que definen los códigos son valores de diseño por lo que deberían ser menores que la deformación real para considerar un factor de seguridad por lo que se calcula el quinto percentil que asegura que el 95 % de los datos de la muestra se encuentren sobre este valor.

De los datos presentes en la figura 37 se observa que la línea de tendencia aumenta linealmente e interseca el valor recomendado por el TMS 402-16 10 para diseño, teniendo solamente un 47 % de los datos de la muestra sobre este valor con un promedio de 0.00248 y teniendo un quinto percentil de 0.00118.

La deformación última de igual manera que la útil posee una tendencia de aumento lineal pero en este caso el promedio de los datos (0.00303) es superior al valor recomendado por el TMS 402-16 10 para diseño con un 60 % de los datos de la muestra superiores a 0.0025 teniendo un quinto percentil igual a 0.00127 Es importante notar que la deformación última no fue medida en el 80 % del esfuerzo máximo en todos los casos debido a que el prisma presenta su falla antes

de este punto. Debido a esto se mide la deformación última en diferentes porcentajes de resistencia máxima en cada caso. Dicho porcentaje se puede observar en el cuadro A 5, cuadro A 6 y cuadro A 7 de los anexos.

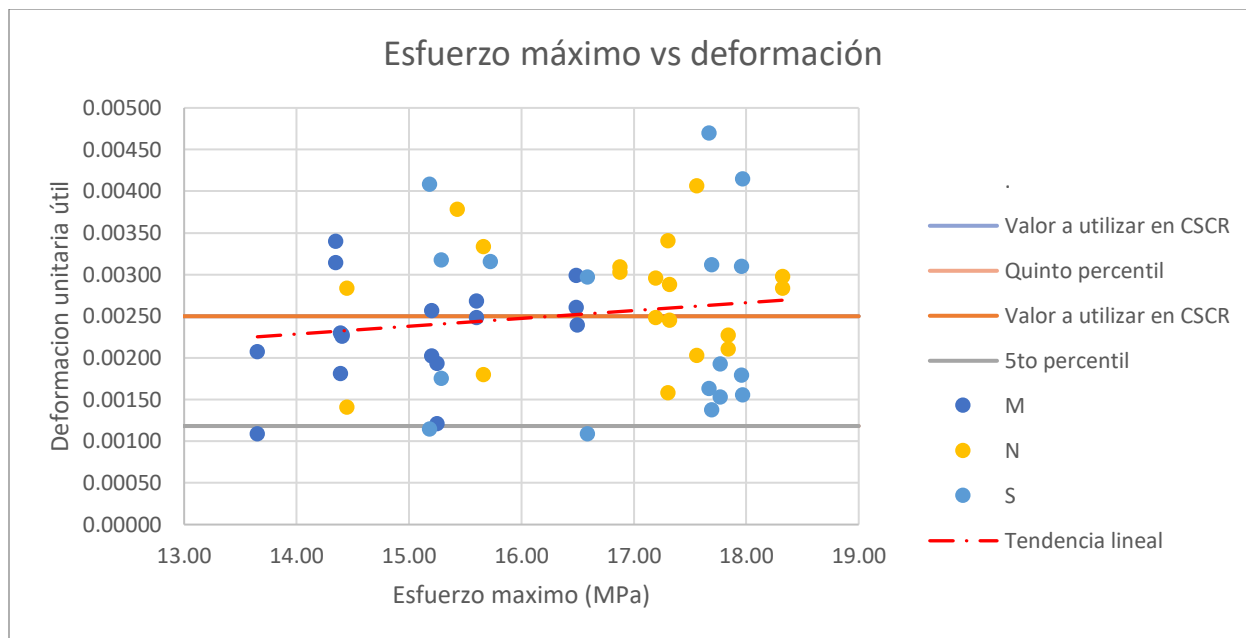


Figura 37. Deformaciones unitarias en el punto de esfuerzo máximo obtenidas del ensayo en compresión de la mampostería

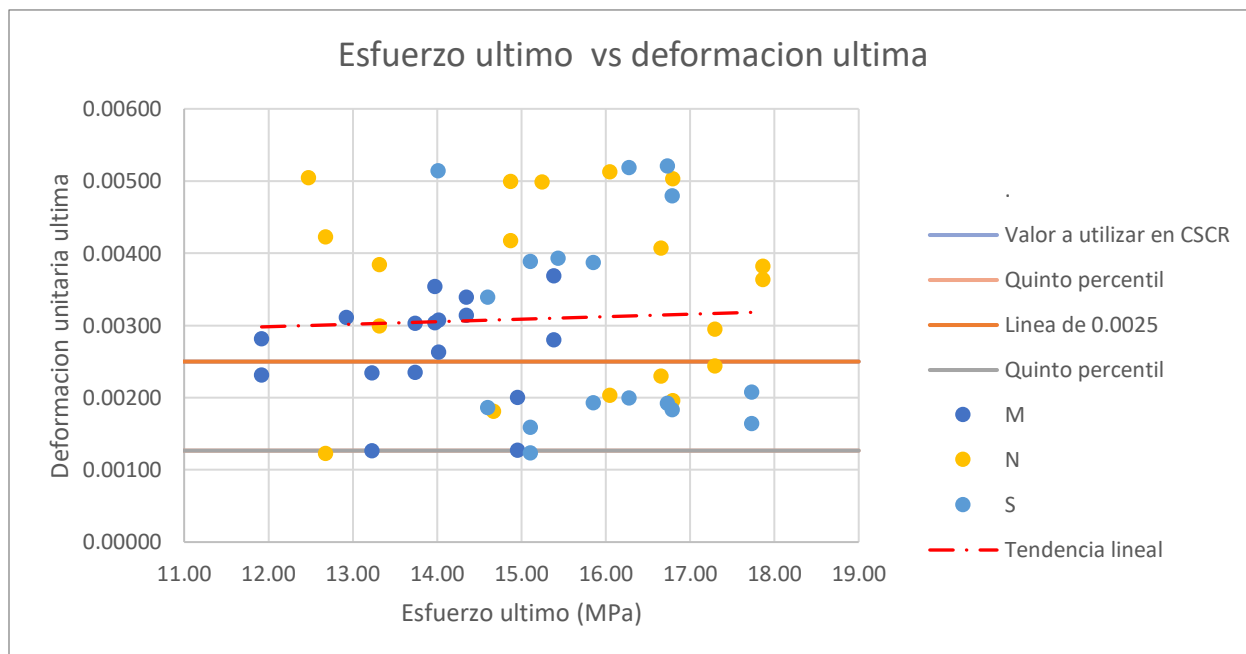


Figura 38. Deformaciones últimas obtenidas del ensayo en compresión de la mampostería

Solo en 3 de los prismas utilizados se logra registrar la deformación ultima al 80 % de la carga máxima luego de su punto máximo de carga y no en ambos LVDT de cada prisma por lo que no es una muestra significativa siendo una muestra de un 6,7 % del total, pero si permite observar una tendencia con un valor de deformación superior a 0.0025 como se observa en el cuadro 22 Con un promedio de 0.00374, un 49,6 % mayor que 0,0025.

Cuadro 22. Prismas con deformación final medida al 80% de carga máxima

Prismas	Deformación Ultima al 80 % de carga máxima
MR6-1	0.00311
NV3-1	0.00501
NV5-1	0.00384
NV5-2	0.00299
Promedio	0.00374

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Componentes de los prismas de mampostería

Se obtiene un valor promedio de resistencia a la compresión de los bloques de mampostería de 15.4 MPa con un promedio de 15.60 MPa en la prueba al inicio del estudio y de 15.2 MPa en promedio al final del estudio, por lo que los prismas de mampostería superan el límite mínimo indicado en el CSCR10-14 para mampostería clase A.

La resistencia promedio del concreto de relleno supera en todos los casos el requisito mínimo de 17.2 MPa (175 kg/cm²) con un promedio final de 18.8 MPa. De igual manera, cada espécimen lo superan con excepción de uno que tiene una resistencia de 16.5 MPa. Cumple con lo indicado en la norma INTE C88 superando el mínimo de 14.0 MPa.

Al realizar las pruebas de mortero de pega Tipo M, se obtiene un valor de resistencia menor que el indicado en la ficha técnica (17.2 MPa) con un valor promedio obtenido de 12.57 MPa. Este se atribuye a un error al realizar la prueba y se vuelve a realizar obteniendo un valor de 19.8 MPa el cual es el utilizado en el presente trabajo. Por otra parte, los morteros tipo S y N sí superan el valor mínimo indicado en la respectiva ficha técnica con promedios de 14.0 MPa para el mortero S y de 7.59 MPa para el mortero N.

En la segunda prueba realizada a los morteros se obtiene valores promedio de 19.8 MPa, 13.5 MPa y 6.5 MPa para los morteros M, S y N respectivamente, los cuales superan el valor mínimo indicado en la ficha técnica, que a su vez son los valores mínimos indicados en el CSCR 10-14 para mortero clase A, B y C respectivamente.

En cuanto a la variación en los datos se observa una variación del 3,02 % en la resistencia de los bloques, el concreto de relleno posee una variación máxima de 4,74 % y el mortero posee variaciones menores al 7.00 % según su tipo. Los resultados de resistencia de los prismas poseen una variación máxima de 7.25 % agrupándolos por tipo de mortero y de 9.02 cuando se agrupan en rellenos o vacíos, en todos los casos se observa que los diferentes conjuntos de datos son homogéneos y con poca dispersión.

5.2. Curva esfuerzo deformación

No se evidencia una clara diferencia en las curvas esfuerzo deformación con respecto a un comportamiento más lineal y una falla más súbita, para los prismas vacíos que para los rellenos opuesto a lo indicado por Cheema y Klingner (1986).

La primera sección de la curva muestra una tendencia lineal cuya pendiente (línea de mejor ajuste) es el módulo de elasticidad E_m , presenta una alta dispersión siendo el promedio de curvas con mortero M las de mayor pendiente y con mortero N las de menor pendiente.

La segunda sección de la curva se presenta de manera no lineal llegando de manera creciente hasta el punto de resistencia en compresión máxima de la mampostería y descendiendo para terminar en una falla frágil, esta falla se da en promedio al 93.0 % del punto máximo de carga.

En el presente estudio la rigidez del prisma es menor que la rigidez del sistema y se logra obtener el comportamiento después del esfuerzo máximo lo cual concuerda con lo indicado por Assis, Hamid y Harris (1989).

5.3. Módulo de elasticidad (E'_m), resistencia en compresión (f'_m) y deformaciones (ϵ_m)

Los prismas rellenos presentan una resistencia mayor que los prismas vacíos lo cual se diferencia de investigaciones realizadas a prismas de mampostería pero se asemeja a otras en las cuales el concreto de relleno posee una resistencia superior a 17 MPa. Se observan valores promedio de resistencia a la compresión de prismas de mampostería rellenos de 16.8 MPa y vacíos 15.7 MPa pero al realizar un análisis de varianza (Anova) se puede indicar con un 95% de confianza que tanto el concreto de relleno como el tipo de mortero genera un efecto significativo en la resistencia de los prismas de mampostería.

Se evidencia el efecto del aumento de resistencia del mortero entre los prismas S y N de la misma manera que en otros estudios donde al aumentarse la resistencia del mortero se aumenta f_m , pero se contradice con el prisma con mortero tipo M, en el cual la resistencia del mortero es mayor pero la resistencia del prisma menor. Se verifica que este efecto no sea causado por un aumento de resistencia en los bloques de mampostería y este efecto se da tanto en los prismas rellenos como vacíos, por lo que no es causado por el concreto de relleno.

Se señala que la máquina tubo un tuvo error el día que se fallan los prismas de mortero M y que esto puede ingresan mayor incertidumbre a los datos de estos prismas.

El promedio de resistencia en los prismas de mampostería según su tipo de mortero es 15.3 MPa, 16.8 MPa y 16.6 MPa para los prismas con mortero tipo M, N y S respectivamente.

Los módulos de elasticidad calculados presentan un coeficiente de variación de 60.8 % con mortero tipo M, 17.0 % con mortero tipo N y 35.0 % con mortero tipo S con un módulo de elasticidad promedio de 16 727 MPa y con una razón promedio E_m/f_m de 1140 superior al valor de diseño de 750 del CSCR-10 pero en su mayoría se encuentra dentro de los límites esperados según Drysdale, Hamid y Baker (2008).

De los valores obtenidos en este trabajo con deformación en el punto de carga máxima solo un 47 % de los datos superan el valor de 0,0025 y la deformación en el punto de falla un 60 % de los datos, por lo tanto, se puede indicar que este valor no será conservador para los prismas de mampostería de 20x20x40 ensayados.

No se pudo obtener una deformación última promedio de todos los prismas con un 80 % de la carga luego de su punto máximo de carga ya que se da una falla frágil antes de alcanzar este valor, excepto en 3 prismas en los que alcanzó un promedio de 0.00374 superior al valor de 0,0025. pero no es representativo por tener pocos datos.

5.4. Recomendaciones

Realizar más investigaciones que expandan la muestra utilizada por medio del uso de bloques de mampostería de las mismas dimensiones obtenidas de distintos fabricantes a nivel nacional de manera que se logre reflejar la mampostería a nivel nacional de manera más representativa.

Realizar más investigaciones que respalden o refuten los datos obtenidos experimentalmente en este informe para tener una mejor confiabilidad en los resultados y poder compararlos con una muestra mayor.

Se recomienda utilizar un dispositivo, ya sea un LVDT o medidor laser en las 4 caras del prisma para observar las deformaciones del prisma con mayor detalle, de igual manera se recomienda asegurarse que los dispositivos utilizados de la manera correcta para realizar las mediciones necesarias sin errores, ya sea por medio del uso de un dispositivo laser para su ajuste u otro medio.

Realizar investigaciones variando la resistencia del concreto de relleno con valores superiores e inferiores a 17 MPa para observar su comportamiento.

6. Bibliografía

1. Abarca, J; Gonzales G.(2017) "Resistencia de bloques y prismas de mampostería de concreto en Costa Rica" Rescatado el 29 de septiembre del 2021 de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/29705>
2. American Society for Testing Materials, ASTM C109-C109 M "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars". ASTM. Pennsylvania, USA.
3. American Society for Testing Materials, ASTM C1019-20 "Standard Test Method for Sampling and Testing Grout". ASTM. Pennsylvania, USA.
4. American Society for Testing Materials, ASTM C1314-21 "Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms". ASTM. Pennsylvania, USA.
5. American Society for Testing Materials, ASTM C140- C140M " Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units". ASTM. Pennsylvania, USA.
6. American Society for Testing Materials, ASTM C1437-20 (2020)" Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar". ASTM. Pennsylvania, USA.
7. American Society for Testing Materials, ASTM C1552-16 (2016). "Standard Practice for Capping Concrete Masonry Units, Related Units and Masonry Prisms for Compression Testing". ASTM. Pennsylvania, USA.
8. American Society for Testing Materials, ASTM C1716/C1716M-21 "Compression Testing Machine Requirements for Concrete Masonry Units, Related Units, and Prisms". ASTM. Pennsylvania, USA.

9. Assis, G. Hamid, A. Harris, H. (1989). "Material Models for Grouted Block Masonry". U.S-Japan Coordinated Program for Masonry Building Research. Drexel University Department of Civil and Arquitectural Engineering. Philadelphia, Pennsylvania. USA
10. Boulton, B. (1979). Concrete Masonry Prism Testing. *Journal of the American Concrete Institute*, 76(24), 513-535.
11. Carvajal, W. (2000). "Propiedades mecánicas de la mampostería de bloques rellenos de concreto de 12x20x40cm". Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.
12. Cascante, L (2001). "Propiedades mecánicas de la mampostería de bloques rellenos de concreto de 12x20x40cm". Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.
13. Chaves, D (2016). "Análisis de la consolidación del concreto de relleno en mampostería de 12 cm de espesor utilizando las dosificaciones del Código Sísmico de Costa Rica 2010". Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.
14. Cheema, T. & Klinger (1986). Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms. *Journal of the American Concrete Institute*.
15. Código Sísmico de Costa Rica (CSCR). (1986). "Capítulo 2.12. Requisitos para Mampostería". Colegio Federado de Ingeniero y Arquitectos de Costa Rica
16. Código Sísmico de Costa Rica (CSCR). (2010-14). "Capítulo 9. Requisitos para Mampostería Estructural". Colegio Federado de Ingeniero y Arquitectos de Costa Rica.

17. Drysdale, R, Hamid, A. Baker, L. (2008). "Masonry Structures, Behavior and Design". 3rd Edition. Prentice Hall, New Jersey. USA.
18. Hamid, A. (1978). "Behavior Characteristics of Block Masonry". Tesis presentada en la Universidad de Hamilton, Canadá para obtener el grado de Doctor (Ph.D).
19. INTACO (2022). Ficha técnica Pega block tipo M. recuperado de https://www.intaco.com/costa-rica/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/ft_pegablok_tipo_m_cr.pdf
20. INTACO (2022). Ficha técnica Pega block tipo N. recuperado de https://www.intaco.com/costa-rica/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/ft_pegablok_tipo_n_cr.pdf
21. INTACO (2022). Ficha técnica Pega block tipo S. recuperado de https://www.intaco.com/costa-rica/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/ft_pegablok_tipo_s_cr.pdf
22. INTACO (2022). Ficha técnica Concreto CRC convencional. recuperado de [chrome-https://www.intaco.com/costa-rica/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/ft_crc_convencional.pdf](https://www.intaco.com/costa-rica/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/ft_crc_convencional.pdf)
23. Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto (ICCYC), Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2009). "Estudio sobre la calidad de la mampostería de concreto para vivienda en la provincia de San José". Recuperado el 29 de septiembre del 2021 de <http://www.iccyc.com/sites/default/files/Investigaciones/INFORME%20MAMPOSTERIA.pdf>
24. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2021). INTE C143 "Método de ensayo para la determinación del flujo de un mortero de cemento hidráulico" INTECO. San José, Costa Rica.

25. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2014). INTE C91 "Mortero para unidades de mampostería" INTECO. San José, Costa Rica.
26. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, (2015). INTE C55 "Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería", INTECO. San José, Costa Rica.
27. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, (2018). INTE C88 "Norma para el concreto de relleno para mampostería ", INTECO. San José, Costa Rica.
28. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2017). INTE C90 "Elementos de mampostería hueca de concreto (bloques de concreto) para uso estructural", INTECO. San José, Costa Rica.
29. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2018). INTE C53 "Práctica para el coronamiento de unidades de mampostería de concreto. Unidades relacionadas y prismas de mampostería para ensayos de compresión", INTECO. San José, Costa Rica.
30. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2018). INTE C56 "Morteros y mampostería. Muestreo y ensayos de concreto de relleno para mampostería hueca de concreto", INTECO. San José, Costa Rica.
31. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2021). INTE C50 "Morteros y mampostería. Muestreo y método de ensayo de unidades de mampostería de concreto y unidades relacionadas", INTECO. San José, Costa Rica.
32. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2022). INTE C57 "Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. Usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulgadas)", INTECO. San José, Costa Rica.

33. Navas, A. (1999). "Propiedades Mecánicas de la Mampostería de Concreto". Proyecto de graduación para optar por el grado de Maestría en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.
34. Navas, A. (2007). Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto. Ingeniería. Revista Semanal de la Universidad de Costa Rica , 53-70.
35. Navas, A. (2021). "IC-1014, Diseño de estructuras de mampostería". Notas de Clase del Curso diseño de estructuras de mampostería. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.
36. Nuñez, B (2019) "Caracterización de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 120 mm y 150 mm de espesor bajo carga axial concéntrica" Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.
37. Rodríguez, H. (1999). "Medición de las propiedades estructurales en la mampostería de bloques de concretos rellenos de 15x20x40cm". Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.
38. The Masonry Society. (2016). Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures TMS 402-016. Longmont, CO Vaca, C (2019) "Curva esfuerzo-deformación de mampostería con bloques de 20x20x40 cm y 13.6x13.6x28.6 cm" Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica
39. Vargas, J (2020). "Efecto del mortero de pega y el concreto de relleno en la resistencia en compresión de la mampostería nacional". Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.

A. Anexos

A.1. Cuadros completos de dimensiones y datos de unidades de mampostería y prismas de mampostería

Cuadro A 1. dimensiones en mm de todas las caras en las unidades de mampostería

Espécimen	1	2	3	promedio
ancho mm	201.2	201.0	202.1	
	201.0	202.1	201.2	
Promedio	201.1	201.6	201.7	201.4
alto mm	190.0	190.2	189.2	
	190.1	190.9	191.8	
Promedio	190.1	190.6	190.5	190.4
largo mm	390.0	391.1	391.3	
	390.7	390.1	390.4	
Promedio	390.4	390.6	390.9	390.6
A mm	32.97	34.61	34.32	
	37.46	39.11	37.22	
Promedio	35.22	36.86	35.77	35.9
B mm	25.81	25.88	26.07	
	31.18	33.06	32.69	
Promedio	28.50	29.47	29.38	29.1
C mm	34.44	33.16	32.36	
	38.53	34.10	38.65	
Promedio	36.49	33.63	35.51	35.2
D mm	36.19	32.68	32.34	
	38.32	35.84	35.67	
Promedio	37.26	34.26	34.01	35.2
E mm	32.23	34.15	32.14	
	36.09	38.12	37.76	
Promedio	34.16	36.14	34.95	35.1

Cuadro A 2. Datos de prismas de concreto de relleno

	CRM1	CRM2	CRM3	CRN1	CRN2
ancho 1	100.19	95.16	94.17	100.36	93.84
ancho 2	99.17	99.77	91.64	97.78	96.19
ancho 3	99.51	96.50	96.39	99.55	94.68
ancho 4	99.63	99.60	93.10	97.19	95.28
Promedio	99.63	97.76	93.83	98.72	95.00
alto 1	191.46	192.11	191.86	192.40	190.45
alto 2	191.55	191.58	192.06	192.01	190.12
alto 3	191.38	191.67	192.17	192.23	191.00
alto 4	191.42	192.24	191.67	191.82	191.12
Promedio	191.45	191.90	191.94	192.12	190.67
Perpendicularidad 1	2.43	0.00	0.00	0.00	3.18
Perpendicularidad 2	2.56	2.81	3.27	0.00	0.00
Perpendicularidad 3	0.00	3.31	0.00	0.11	0.00
Perpendicularidad 4	0.00	0.00	0.00	1.69	0.00
Perpendicularidad 5	0.00	2.33	3.37	2.50	2.32
Perpendicularidad 6	0.20	2.19	0.00	0.00	0.00
Perpendicularidad 7	2.86	0.00	0.00	0.00	1.30
Perpendicularidad 8	2.84	0.00	0.00	0.21	2.12
Horizontalidad 1	0.91	0.92	0.00	0.36	0.81
Horizontalidad 2	0.00	0.13	0.14	0.03	1.30
Horizontalidad 3	1.65	0.00	0.82	1.28	0.48
Horizontalidad 4	0.30	0.00	1.53	1.24	0.00
H/W	1.92	1.96	2.05	1.95	2.01
área	9925	9556	8803	9745	902
Carga KN	198.65	191.20	170.30	158.69	151.03
f_m (MPa)	20.01	20.01	19.35	16.28	16.74

Cuadro A 2. Datos de prismas de concreto de relleno (continúa)

Datos prismas concreto de relleno	CRN3	CRS1	CRS2	CRS3
ancho 1	97.86	95.78	97.59	98.85
ancho 2	100.20	103.65	98.56	104.55
ancho 3	99.26	97.69	96.54	98.76
ancho 4	100.40	106.92	97.45	103.69
Promedio	99.43	101.01	97.54	101.46
alto 1	191.45	192.00	191.85	192.50
alto 2	191.48	194.92	191.41	191.56
alto 3	191.55	191.56	191.40	192.11
alto 4	191.53	191.62	191.42	192.36
Promedio	191.50	192.53	191.52	192.13
Perpendicularidad 1	1.97	0.00	1.93	0.00
Perpendicularidad 2	0.52	0.00	0.00	0.00
Perpendicularidad 3	3.03	2.73	42.00	3.93
Perpendicularidad 4	0.00	1.14	0.00	2.91
Perpendicularidad 5	0.00	0.00	0.00	2.61
Perpendicularidad 6	0.00	0.00	0.00	0.80
Perpendicularidad 7	0.00	1.33	0.11	0.00
Perpendicularidad 8	0.00	0.00	3.26	0.00
Horizontalidad 1	0.25	0.00	0.13	0.00
Horizontalidad 2	0.00	0.00	1.06	0.00
Horizontalidad 3	0.12	0.86	0.00	0.34
Horizontalidad 4	1.06	1.49	0.28	1.21
H/W	1.93	1.91	1.96	1.89
área	9886	10203	9513	10294
Carga KN	153.55	137.41	131.98	146.78
f_m (MPa)	15.53	13.47	13.87	14.26

Cuadro A 3. Relación de altura y espesor, así como el factor de corrección para prismas de mampostería

	Altura (h) (mm)	Espesor (t) (mm)	h/t	Factor de corrección
MV1	398.49	200.63	1.99	0.998
MV2	398.49	200.68	1.99	0.998
MV3	398.2	200.82	1.98	0.996
MV4	398.53	200.36	1.99	0.998
MV5	398.37	200.68	1.99	0.998
MR1	399.02	200.94	1.99	0.998
MR2	399.59	200.67	1.99	0.998
MR3	399.54	201.18	1.99	0.998
MR4	398.11	200.4	1.99	0.998
MR5	399.02	200.85	1.99	0.998
NV1	398.67	200.61	1.99	0.998
NV2	398.24	200.41	1.99	0.998
NV3	397.93	200.34	1.99	0.998
NV4	397.76	200.42	1.98	0.996
NV5	398.01	200.59	1.98	0.996
NR1	400	200.81	1.99	0.998
NR2	397.56	200.5	1.98	0.996
NR3	399.18	200.83	1.99	0.998
NR4	398.22	200.49	1.99	0.998
NR5	398.21	200.58	1.99	0.998
SV1	397.07	200.19	1.98	0.996
SV2	399.72	200.24	2.00	1.000
SV3	398.16	200.61	1.98	0.996
SV4	398.9	200.54	1.99	0.998
SV5	397.97	200.19	1.99	0.998
SR1	398.32	200.62	1.99	0.998
SR2	398.39	200.76	1.98	0.996
SR3	398.49	200.59	1.99	0.998
SR4	398.1	200.73	1.98	0.996
SR5	398.38	200.68	1.99	0.998

Cuadro A 4. Resultados de prismas de mampostería con mortero tipo M

Prisma	Esfuerzo Maximo (f_m, \max)	ϵ_m	Esfuerzo ultimo(f_m, ult)	ϵ_{mu}	%	E_m
MR1-1	15.60	0.00248	13.98	0.00353	89.58	27224
MR1-2	15.60	0.00268	13.98	0.00304	89.58	23786
MR2-1	-	-	-	-	-	-
MR2-2	-	-	-	-	-	-
MR3-1	15.25	0.00121	14.96	0.00127	98.09	40502
MR3-2	15.25	0.00193	14.96	0.00200	98.09	28446
MR4-1	16.95	-	-	-	-	5030
MR4-2	16.95	-	-	-	-	11384
MR5-1	15.89	-	-	-	-	5739
MR5-2	15.89	-	-	-	-	9918
MR6-1	16.50	0.00239	12.92	0.00311	80	21381
MR6-2	16.50	-	-	-	-	-
Promedio	16.039	0.00214	14.15998	0.00259	91.0729	19267
MV1-1	14.39	0.00181	11.92	0.00231	82.81	16209
MV1-2	14.39	0.00229	11.92	0.00281	82.81	10699
MV2-1	13.65	0.00108	13.23	0.00126	96.90	40647
MV2-2	13.65	0.00207	13.23	0.00234	96.90	38633
MV3-1	14.41	0.00226	14.02	0.00263	97.31	56742
MV3-2	14.41	0.00228	14.02	0.00307	97.31	8569
MV4-1	14.35	0.00314	14.35	0.00314	100.00	7583
MV4-2	14.35	0.00339	14.35	0.00339	100.00	10154
MV5-1	15.20	0.00202	13.74	0.00235	90.38	38081
MV5-2	15.20	0.00256	13.74	0.00303	90.38	75192
MV6-1	16.49	0.00298	15.38	0.00369	93.30	17355
MV6-2	16.49	0.00260	15.38	0.00280	93.30	13787
Promedio	14.749	0.00237	13.773	0.00273	93.449	27804

Cuadro A 5. Resultados de prismas de mampostería con mortero tipo N

Prisma	Esfuerzo Maximo (f_m , max)	ϵ_m	Esfuerzo ultimo(f_m , ult)	ϵ_{mu}	%	E_m
NR1-1	15.43	-	15.25	-	98.79	28504
NR1-2	15.43	0.00378	15.25	0.00499	98.79	12711
NR2-1	17.31	0.00340	16.80	0.00503	97.06	15516
NR2-2	17.31	0.00158	16.80	0.00196	97.06	20472
NR3-1	17.84	0.00227	17.30	0.00294	96.97	16834
NR3-2	17.84	0.00210	17.30	0.00243	96.97	15118
NR4-1	18.32	0.00283	17.87	0.00363	97.52	21021
NR4-2	18.32	0.00297	17.87	0.00381	97.52	18326
NR5-1	17.32	0.00287	14.87	0.00417	85.87	17230
NR5-2	17.32	0.00245	14.87	0.00499	85.87	17260
Promedio	17.244	0.00270	16.417	0.00377	95.242	18299
NV1-1	17.20	0.00295	16.66	0.00407	96.88	11107
NV1-2	17.20	0.00248	16.66	0.00229	96.88	14852
NV2-1	17.56	0.00202	16.05	0.00203	91.40	16884
NV2-2	17.56	0.00406	16.05	0.00512	91.40	11713
NV3-1	15.66	0.00333	12.48	0.00504	80	11868
NV3-2	15.66	0.00180	14.67	0.00181	93.66	15876
NV4-1	14.45	0.00140	12.68	0.00123	87.75	19171
NV4-2	14.45	0.00283	12.68	0.00422	87.75	12369
NV5-1	16.88	0.00309	13.32	0.00384	80	11642
NV5-2	16.88	0.00302	13.32	0.00299	80	12003
Promedio	16.350	0.00270	14.458	0.00327	88.728	13749

Cuadro A 6. Resultados de prismas de mampostería con mortero tipo S

Prisma	Esfuerzo Maximo (f_m, \max)	ϵ_m	Esfuerzo ultimo(f_m, ult)	ϵ_{mu}	%	E_m
SR1-1	16.59	0.00296	15.11	0.00388	91.10	24683
SR1-2	16.59	0.00109	15.11	0.00159	91.10	
SR2-1	17.70	0.00138	16.79	0.00183	94.90	20985
SR2-2	17.70	0.00312	16.79	0.00479	94.90	13026
SR3-1	17.97	0.00415	16.74	0.00521	93.13	13386
SR3-2	17.97	0.00155	16.74	0.00192	93.13	31596
SR4-1	15.73	0.00315	15.44	0.00393	98.17	12151
SR4-2	15.73	-	15.44	-	98.17	-
SR5-1	17.77	0.00152	17.74	0.00164	99.80	30983
SR5-2	17.77	0.00192	17.74	0.00207	99.80	15441
Promedio	17.149	0.00232	16.362	0.00298	95.419	20281
SV1-1	15.19	0.00114	15.11	0.00123	99.51	18762
SV1-2	15.19	0.00408	14.02	0.00514	92.29	11389
SV2-1	17.96	0.00179	15.85	0.00193	88.28	35013
SV2-2	17.96	0.00310	15.85	0.00387	88.28	12819
SV3-1	17.67	0.00469	16.28	0.00518	92.12	9988.9
SV3-2	17.67	0.00163	16.28	0.00199	92.12	20231
SV4-1	15.29	0.00317	14.60	0.00339	95.48	11101
SV4-2	15.29	0.00175	14.60	0.00186	95.48	17567
SV5-1	17.45	-	-	-	-	-
SV5-2	17.45	-	-	-	-	-
Promedio	16.711	0.00267	15.323	0.00307	92.946	17109

Cuadro A 7. Dimensiones de los prismas con mortero tipo M

	Ancho	Largo	Alto		Ancho	Largo	Alto
	201.07	390.42	399.13		201.22	390.92	398.95
	200.94	390.57	400.71		200.63	390.03	398.60
MR1	201.67	390.43	401.77	MV1	202.48	391.45	398.83
	201.01	390.71	399.02		200.83	390.43	398.49
Promedio	201.17	390.53	400.16	Promedio	201.29	390.71	398.72
Min	200.94	390.42	399.02	Min	200.63	390.03	398.49
área	78564			área	78645		
	200.67	390.03	399.59		201.14	390.43	399.82
	201.72	390.39	401.25		200.84	391.02	401.02
MR2	200.93	390.51	399.98	MV2	200.68	390.36	398.49
	201.89	390.20	400.47		201.08	390.33	399.98
Promedio	201.30	390.28	400.32	Promedio	200.94	390.54	399.83
Min	200.67	390.03	399.59	Min	200.68	390.33	398.49
área	78564			área	78472		
	202.88	391.08	399.54		200.90	391.44	400.45
	201.85	390.31	400.80		201.09	391.21	398.20
MR3	201.30	390.75	400.73	MV3	201.19	390.63	399.13
	201.18	390.75	399.76		200.82	390.21	400.95
Promedio	201.80	390.72	400.21	Promedio	201.00	390.87	399.68
Min	201.18	390.31	399.54	Min	200.82	390.21	398.20
área	78848			área	78565		
	201.44	390.19	398.52		200.66	391.45	400.07
	200.53	390.59	400.53		200.56	390.72	399.06
MR4	200.40	390.42	401.33	MV4	200.95	390.84	400.67
	200.71	390.23	398.11		200.36	390.12	398.53
Promedio	200.77	390.36	399.62	Promedio	200.63	390.78	399.58
Min	200.40	390.19	398.11	Min	200.36	390.12	398.53
área	78372			área	78403		
	201.69	390.72	399.02		200.68	390.11	399.90
	201.32	390.82	399.27		201.93	390.85	400.37
MR5	201.03	390.33	400.86	MV5	201.15	390.25	398.37
	200.85	390.58	399.68		200.77	390.62	399.63
Promedio	201.22	390.61	399.71	Promedio	201.13	390.46	399.57
Min	200.85	390.33	399.02	Min	200.68	390.11	398.37
área	78600			área	78533		

Cuadro A 8. Dimensiones de los prismas con mortero tipo N

	Ancho	Largo	Alto		Ancho	Largo	Alto
	201.01	390.67	401.73		200.99	390.42	401.14
	200.92	390.89	400.00		200.72	390.25	399.70
NR1	201.06	390.96	401.27	NV1	201.15	391.12	401.62
	200.81	390.40	401.72		200.61	390.70	398.67
Promedio	200.95	390.73	401.18	Promedio	200.87	390.62	400.28
Min	200.81	390.40	400.00	Min	200.61	390.25	398.67
área	78517			área	78463		
	200.65	390.44	401.93		200.44	390.04	401.77
	201.41	390.77	397.56		201.24	391.47	398.24
NR2	201.15	390.51	398.96	NV2	200.96	390.08	399.87
	200.50	390.74	400.06		200.41	390.42	399.07
Promedio	200.93	390.62	399.63	Promedio	200.76	390.50	399.74
Min	200.50	390.44	397.56	Min	200.41	390.04	398.24
área	78485			área	78398		
	200.94	391.12	401.69		200.54	390.45	397.93
	202.59	390.45	401.71		200.34	391.20	398.73
NR3	200.83	390.51	399.18	NV3	201.05	390.56	400.59
	201.33	390.49	399.64		200.71	390.82	401.47
Promedio	201.42	390.64	400.56	Promedio	200.66	390.76	399.68
Min	200.83	390.45	399.18	Min	200.34	390.45	397.93
área	78684			área	78409		
	201.61	390.12	398.22		200.94	390.94	401.44
	201.53	390.46	398.88		200.42	390.60	397.76
NR4	200.49	390.96	398.34	NV4	200.62	390.20	401.89
	200.60	390.87	400.45		200.71	391.19	398.59
Promedio	201.06	390.60	398.97	Promedio	200.67	390.73	399.92
Min	200.49	390.12	398.22	Min	200.42	390.20	397.76
área	78533			área	78409		
	201.78	390.51	398.21		200.59	390.89	399.98
	200.58	391.23	399.29		202.08	391.46	400.67
NR5	202.81	390.87	401.15	NV5	201.18	390.12	398.46
	201.43	390.46	401.84		200.83	391.10	398.01
Promedio	201.65	390.77	400.12	Promedio	201.17	390.89	399.28
Min	200.58	390.46	398.21	Min	200.59	390.12	398.01
área	78798			área	78635		

Cuadro A 9. Dimensiones de los prismas con mortero tipo S

	Ancho	Largo	Alto		Ancho	Largo	Alto
	200.72	391.40	398.87		201.63	391.33	398.51
	200.54	390.86	401.43		200.96	390.39	398.32
SV1	200.69	390.31	397.07	SR1	200.62	391.37	401.13
	200.19	390.46	398.88		201.04	390.80	398.47
Promedio	200.54	390.76	399.06	Promedio	201.06	390.97	399.11
Min	200.19	390.31	397.07	Min	200.62	390.39	398.32
área	78360			área	78609		
	200.76	390.99	401.00		200.82	390.95	398.39
	200.24	390.56	399.72		201.62	390.79	401.81
SV2	200.61	390.57	400.58	SR2	202.89	390.29	399.40
	200.25	391.32	401.06		200.76	390.77	401.12
Promedio	200.47	390.86	400.59	Promedio	201.52	390.70	400.18
Min	200.24	390.56	399.72	Min	200.76	390.29	398.39
área	78353			área	78734		
	200.61	391.10	400.25		200.65	390.83	401.09
	200.78	390.66	398.16		201.80	390.75	401.66
SV3	201.07	391.31	398.68	SR3	201.08	390.40	398.54
	200.89	390.74	401.49		200.59	390.95	398.49
Promedio	200.84	390.95	399.65	Promedio	201.03	390.73	399.95
Min	200.61	390.66	398.16	Min	200.59	390.40	398.49
área	78517			área	78548		
	201.16	390.08	399.23		200.73	390.12	399.80
	200.93	391.01	400.54		201.13	390.85	398.67
SV4	201.09	391.29	398.90	SR4	202.03	390.27	398.10
	200.54	390.21	401.36		200.99	390.74	400.45
Promedio	200.93	390.65	400.01	Promedio	201.22	390.50	399.26
Min	200.54	390.08	398.90	Min	200.73	390.12	398.10
área	78492			área	78575		
	202.09	390.76	397.97		201.05	391.34	398.90
	200.38	390.06	400.73		201.08	391.10	398.38
SV5	200.19	391.26	400.90	SR5	200.68	390.85	398.44
	201.01	391.05	400.14		202.07	390.69	398.99
Promedio	200.92	390.78	399.94	Promedio	201.22	391.00	398.68
Min	200.19	390.06	397.97	Min	200.68	390.69	398.38
área	78515			área	78676		

A.2. Diagramas de caja

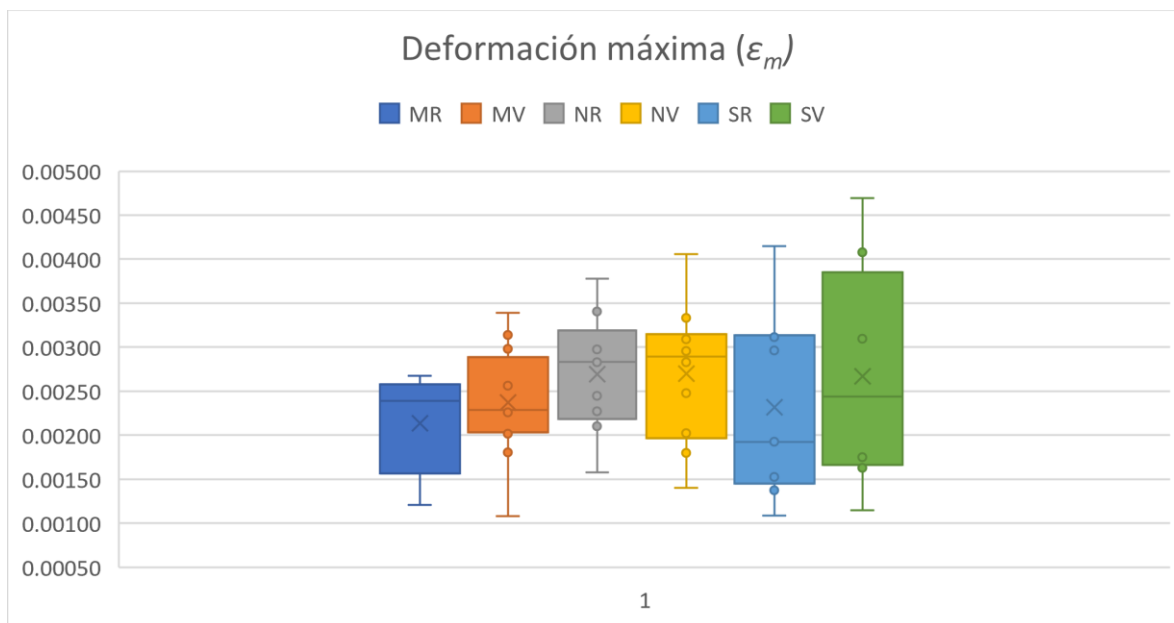


Figura A 1. Diagrama de caja, deformación en punto de carga máxima separada en cada variable

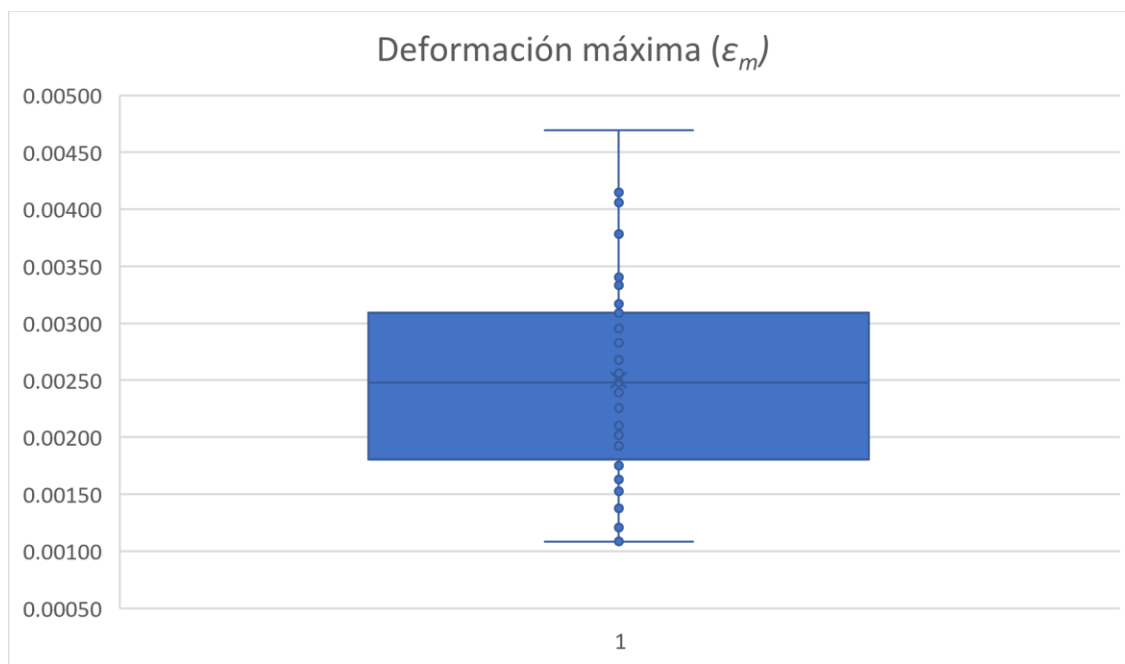


Figura A 2. Diagrama de caja, deformación en punto de carga máxima

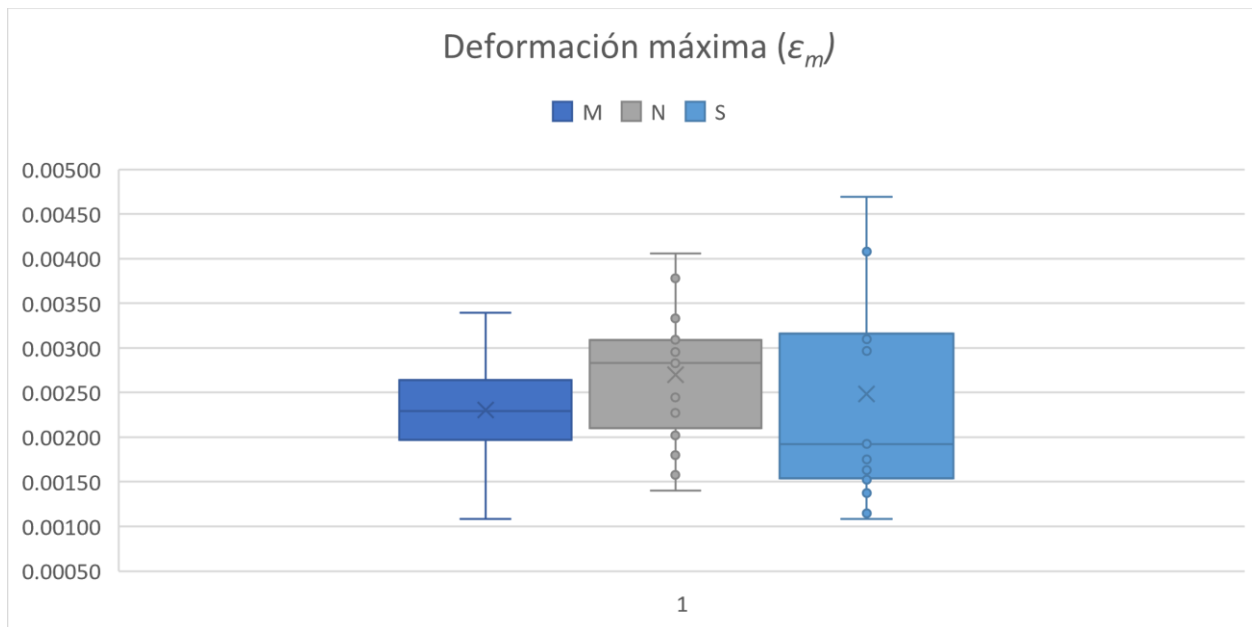


Figura A 3. Diagrama de caja, deformación en punto de carga máxima separada por tipo de mortero

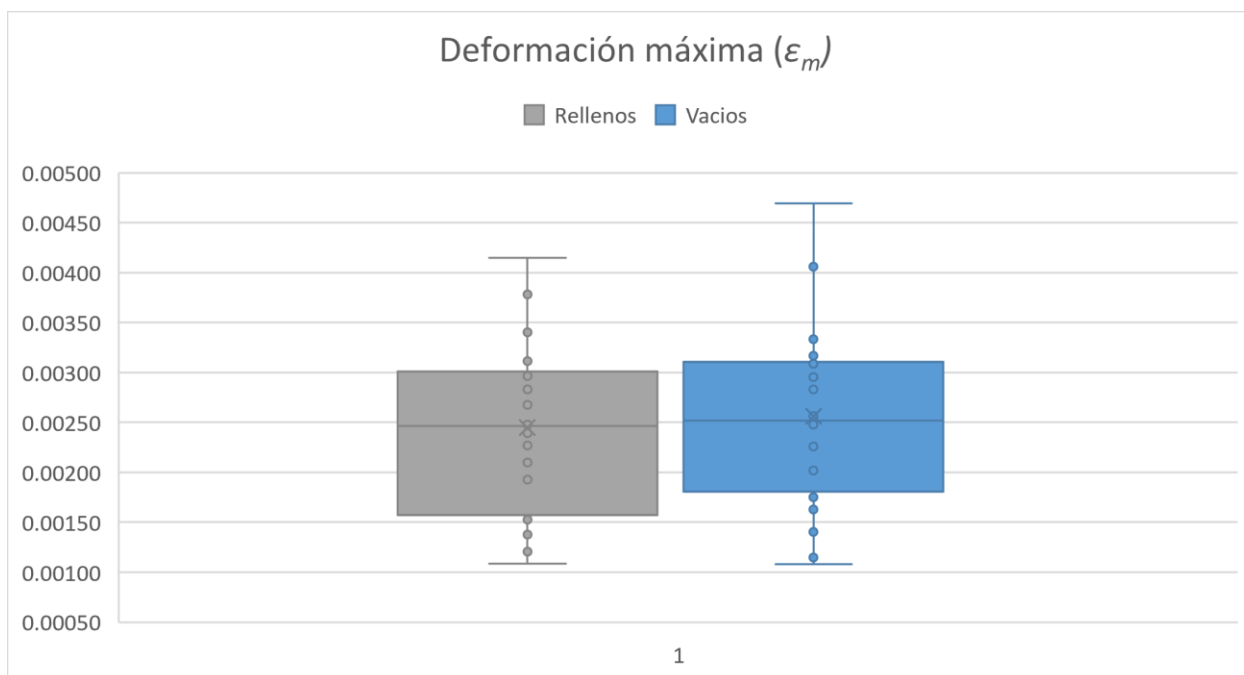


Figura A 4. Diagrama de caja, deformación en punto de carga máxima separada en rellenos y vacíos

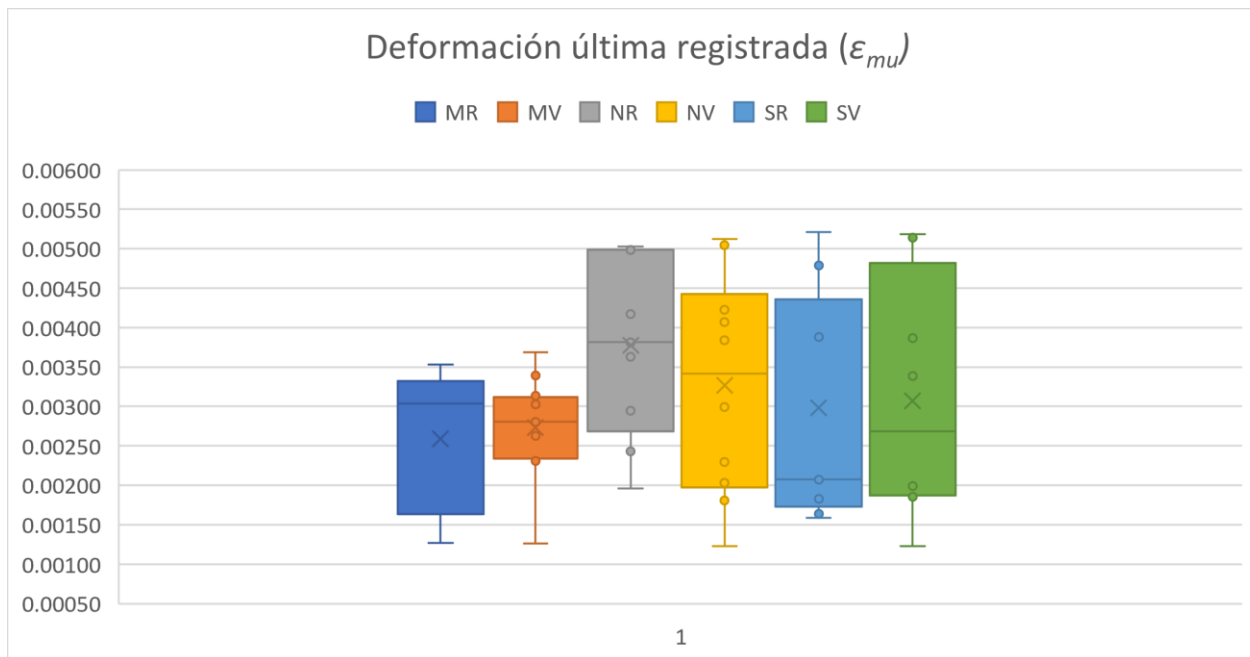


Figura A 5. Diagrama de caja, deformación última registrada separada en cada variable

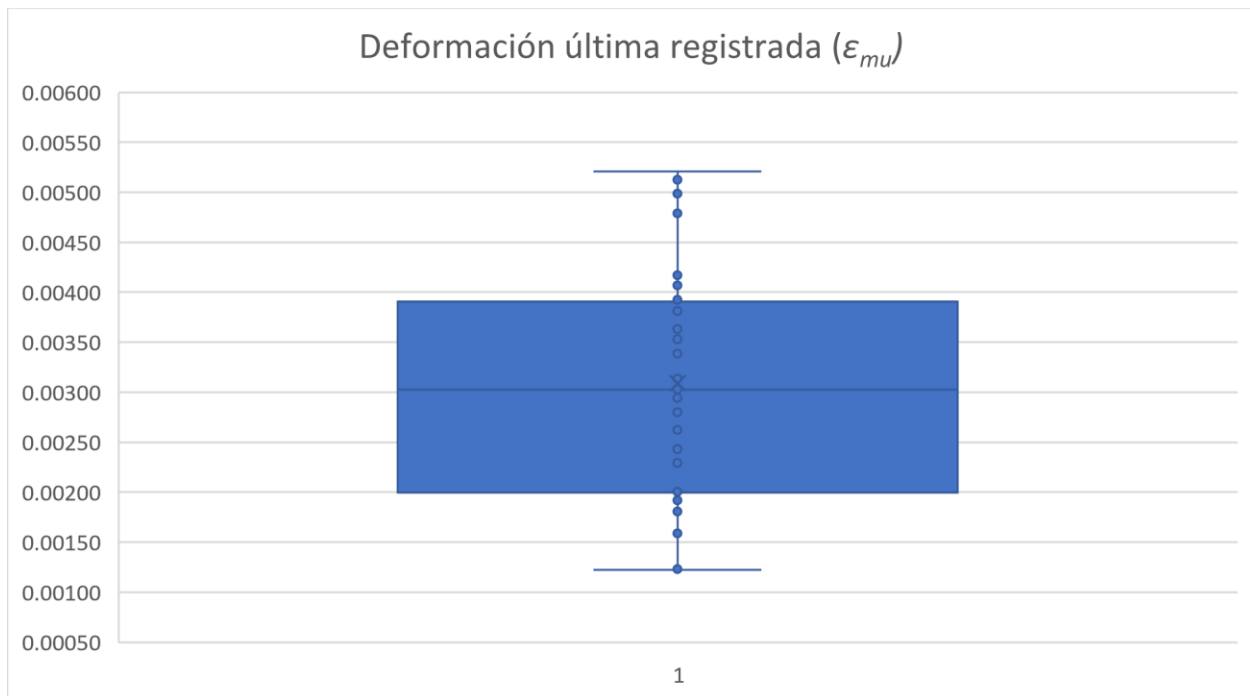


Figura A 6. Diagrama de caja, deformación última registrada

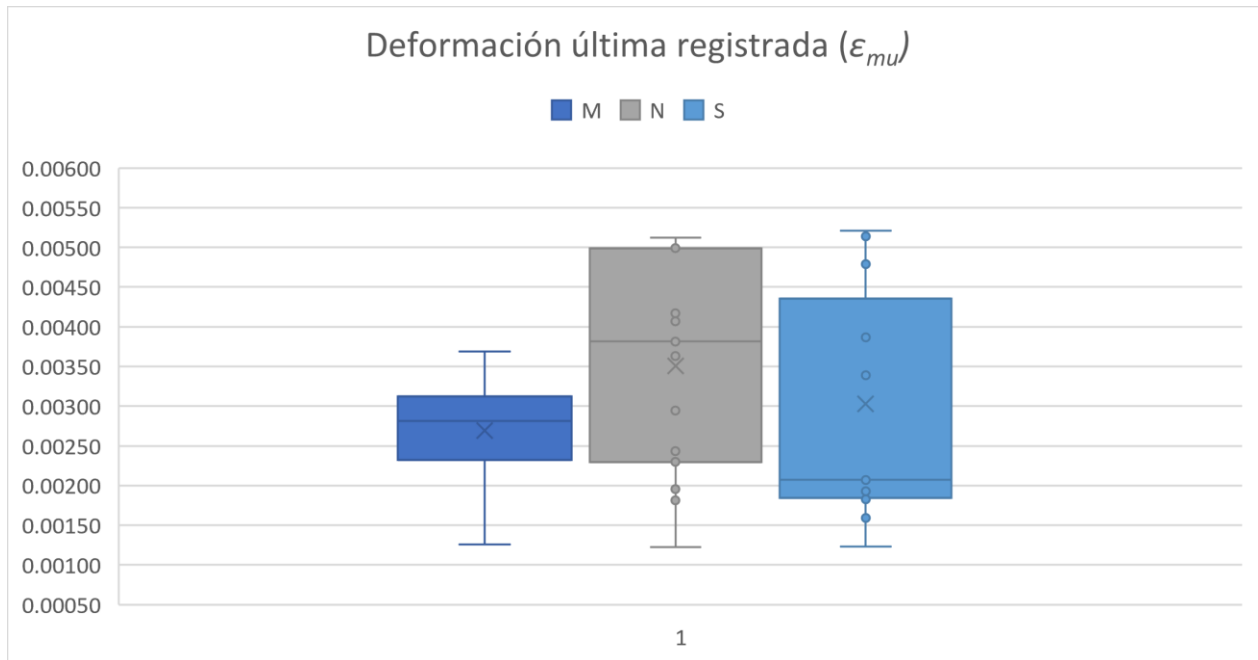


Figura A 7. Diagrama de caja, deformación última registrada separada por tipo de mortero

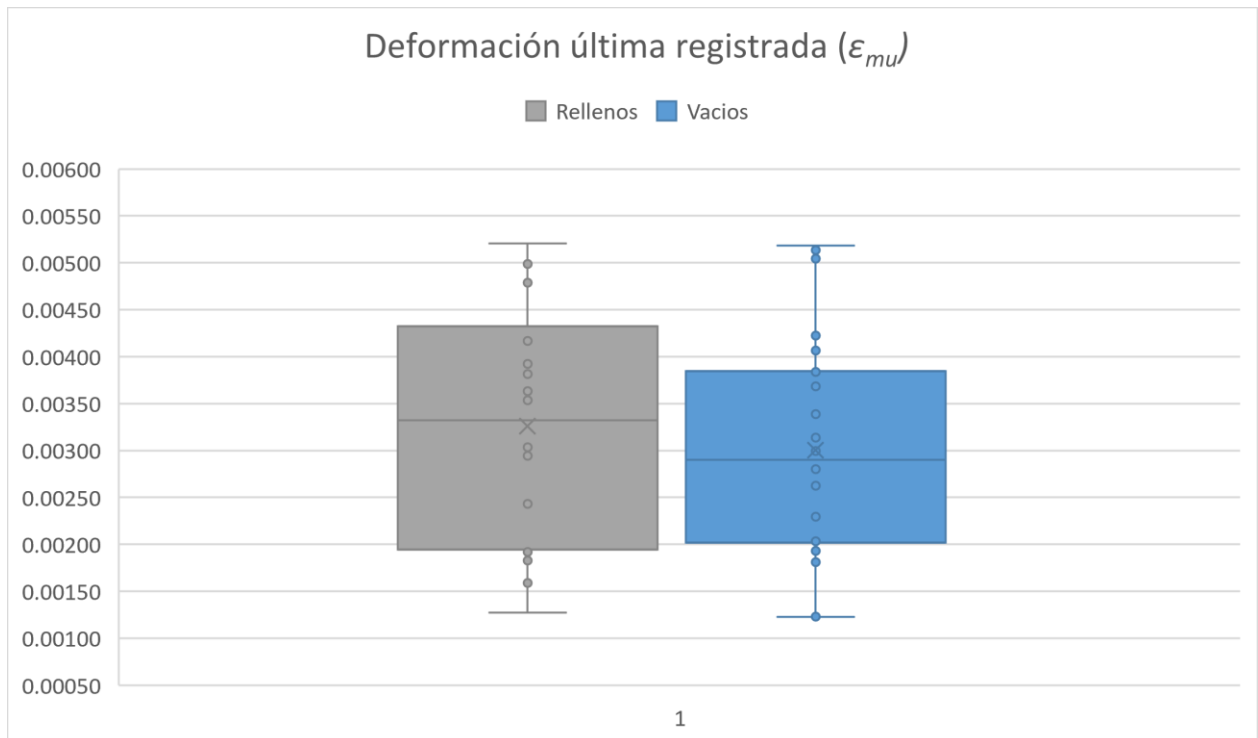


Figura A 8. Diagrama de caja, deformación última registrada separada en rellenos y vacíos

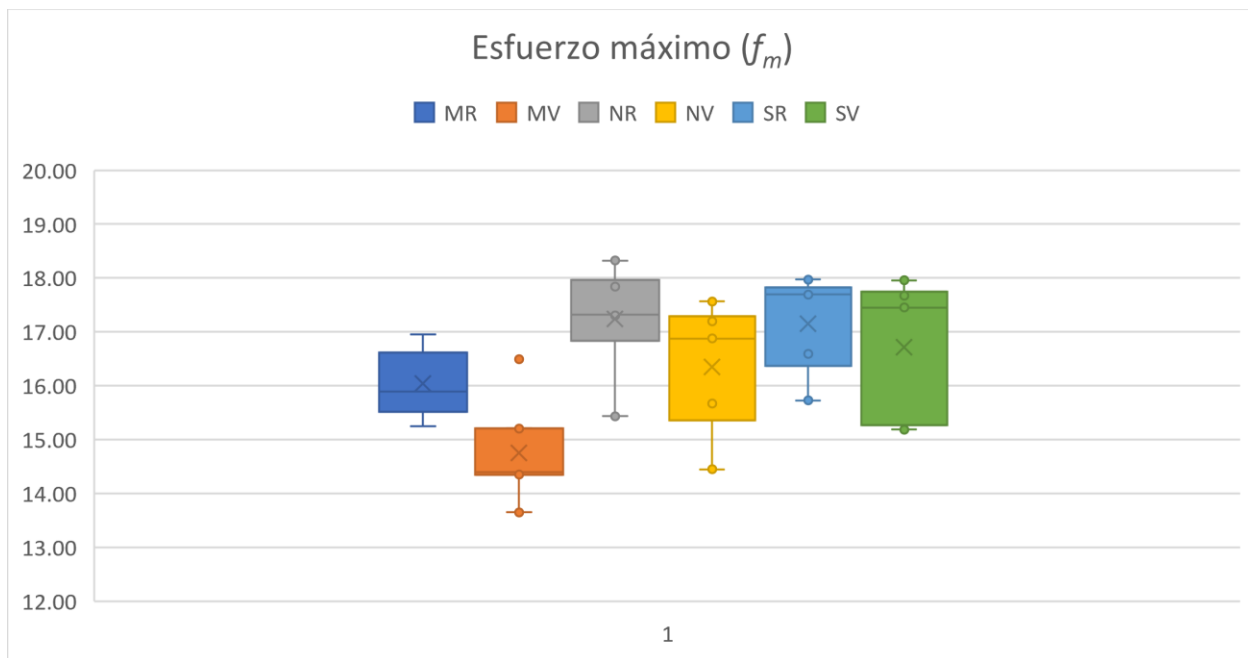


Figura A 9. Diagrama de caja, esfuerzo máximo separado en cada variable

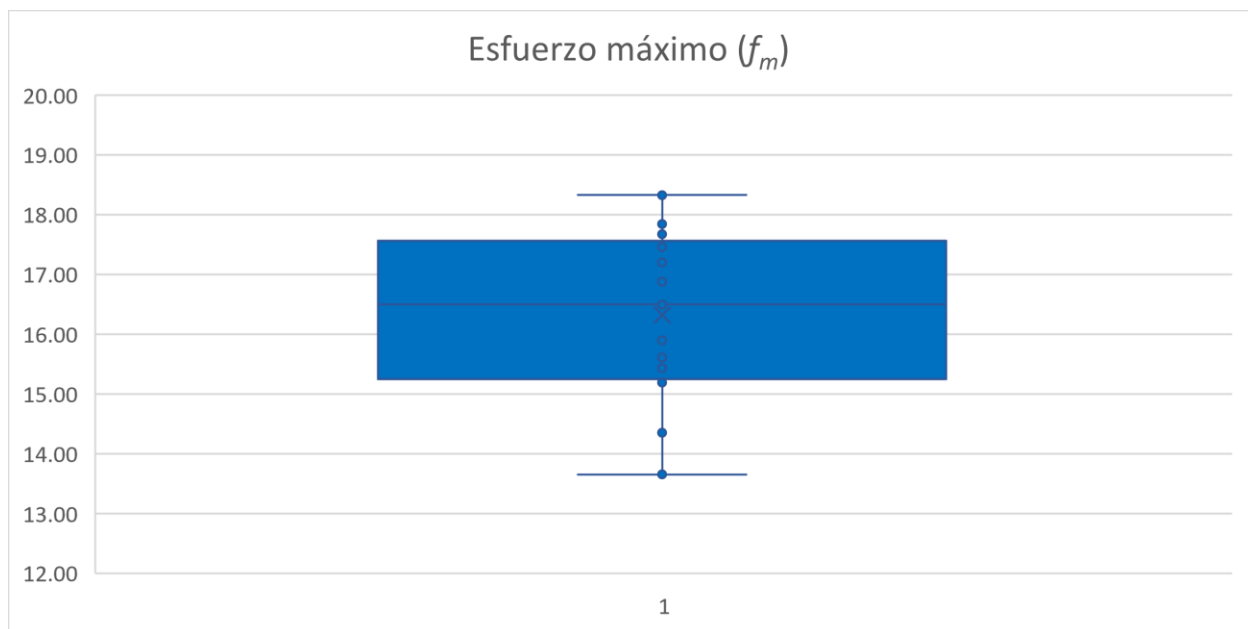


Figura A 10. Diagrama de caja, esfuerzo máximo

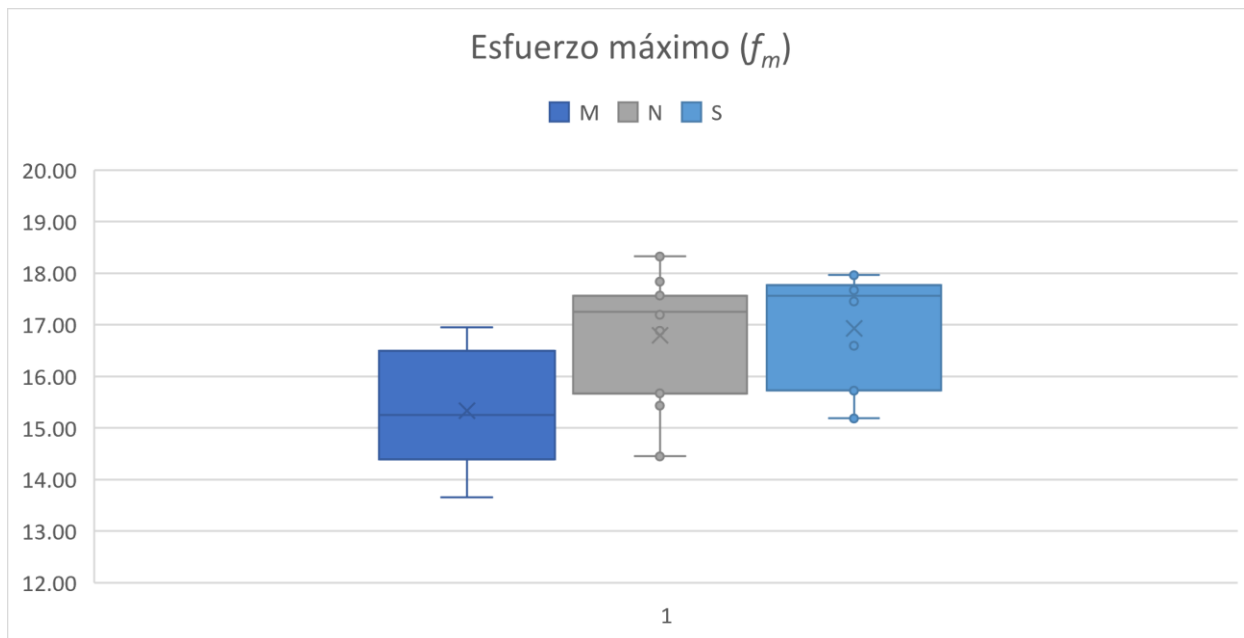


Figura A 11. Diagrama de caja, esfuerzo máximo separado por tipo de mortero

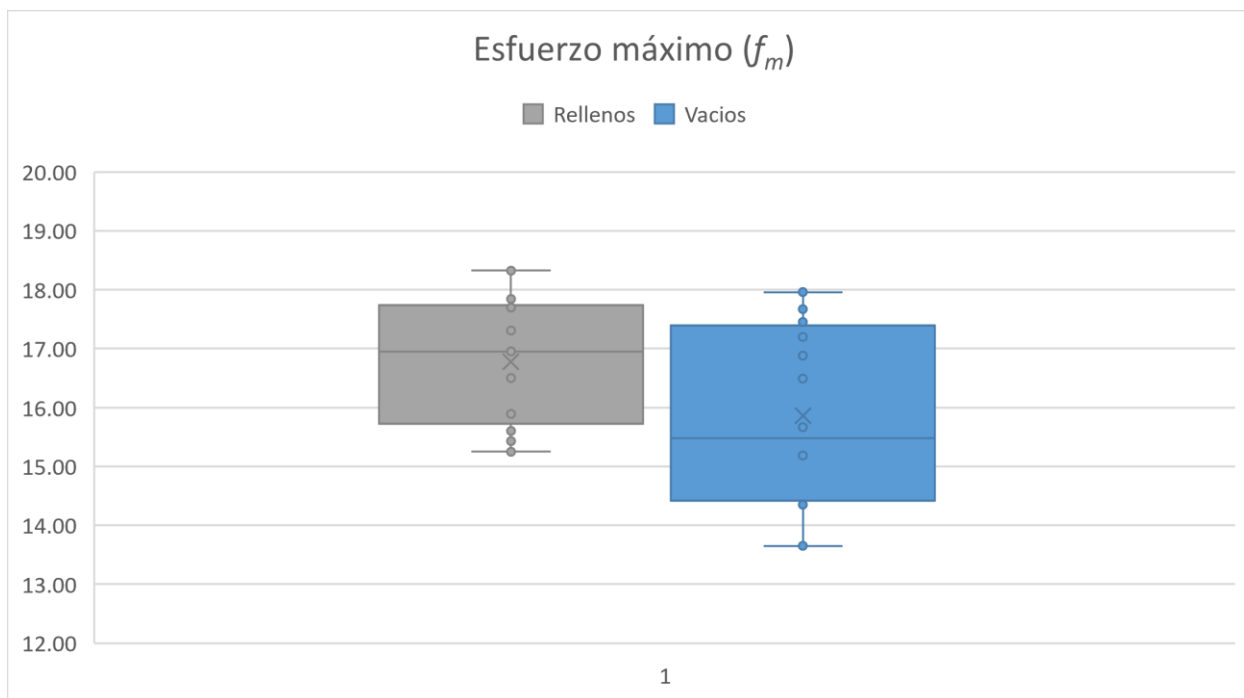


Figura A 12. Diagrama de caja, esfuerzo máximo separado en rellenos y vacíos

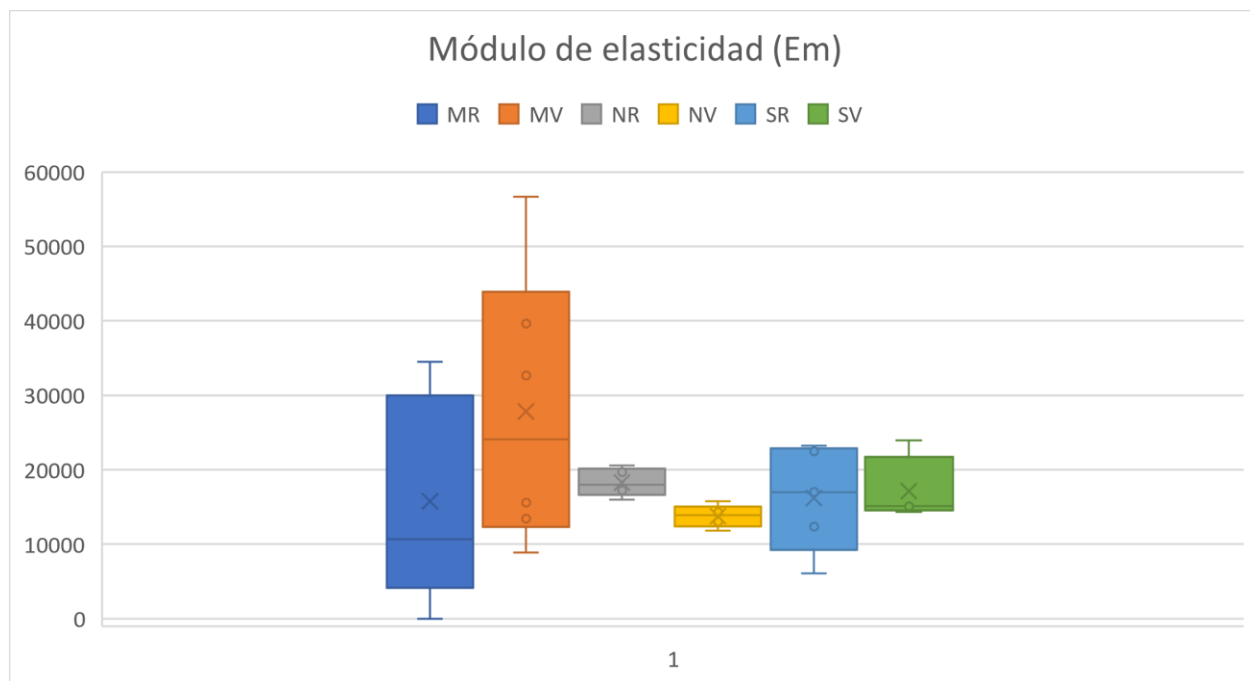


Figura A 13. Diagrama de caja, módulo de elasticidad separado en cada variable

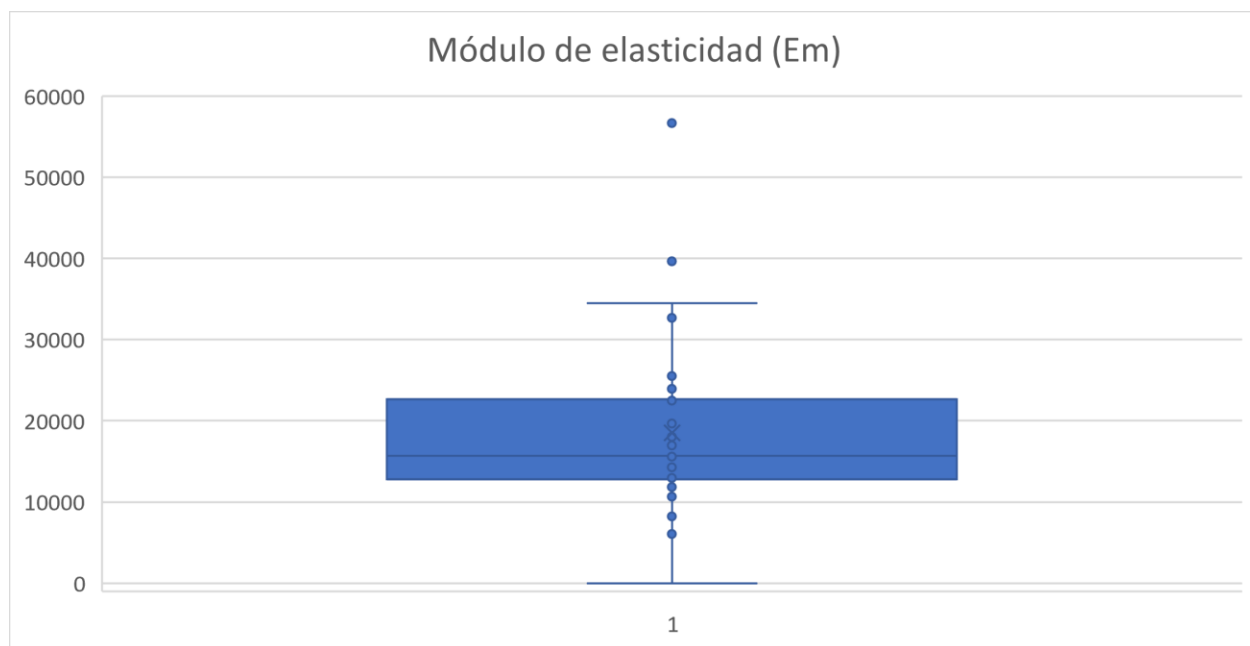


Figura A 14. Diagrama de caja, módulo de elasticidad

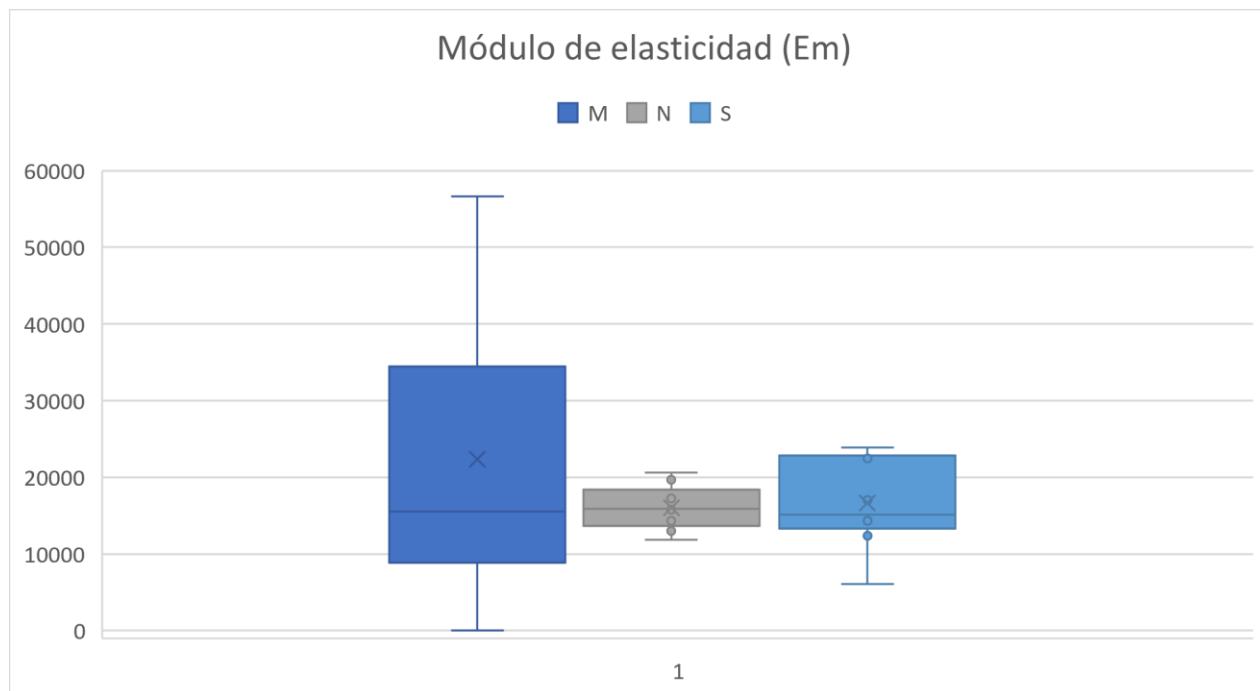


Figura A 15. Diagrama de caja, módulo de elasticidad separado por tipo de mortero

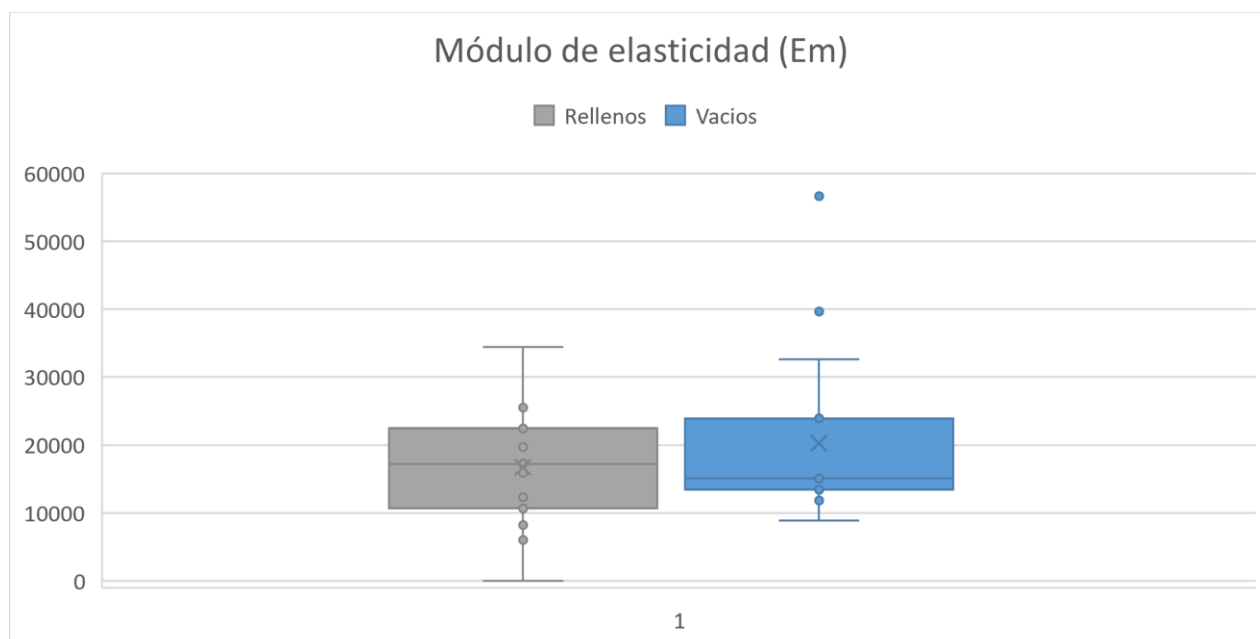


Figura A 16. Diagrama de caja, módulo de elasticidad separado en rellenos y vacíos

A.3. Curvas esfuerzo-deformación agrupadas por tipo de mortero, prismas rellenos y prismas vacíos

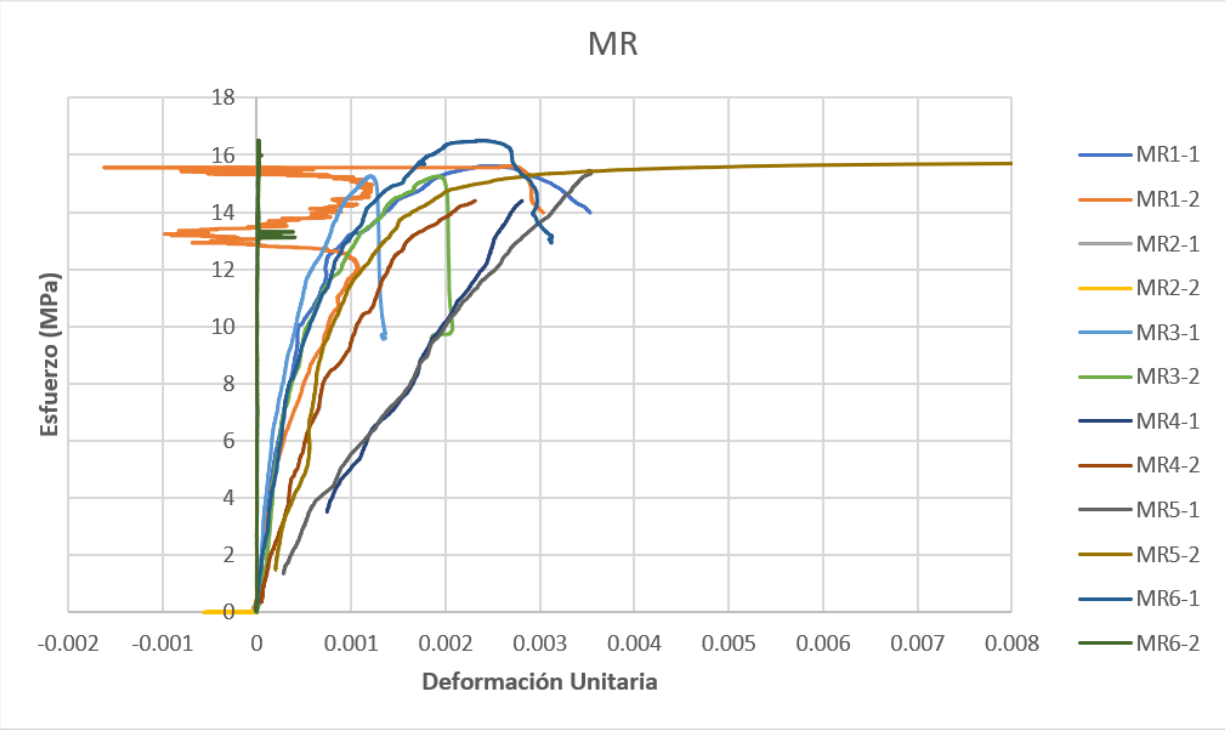


Figura A 17. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero M relleno

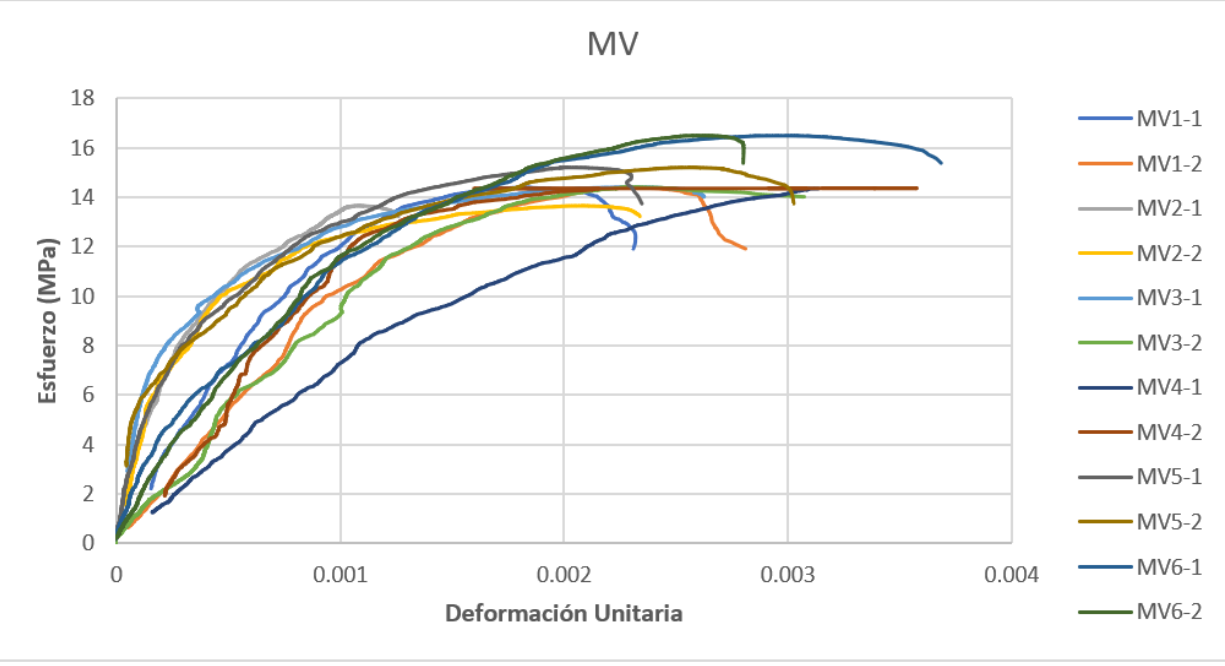


Figura A 18. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero M vacío

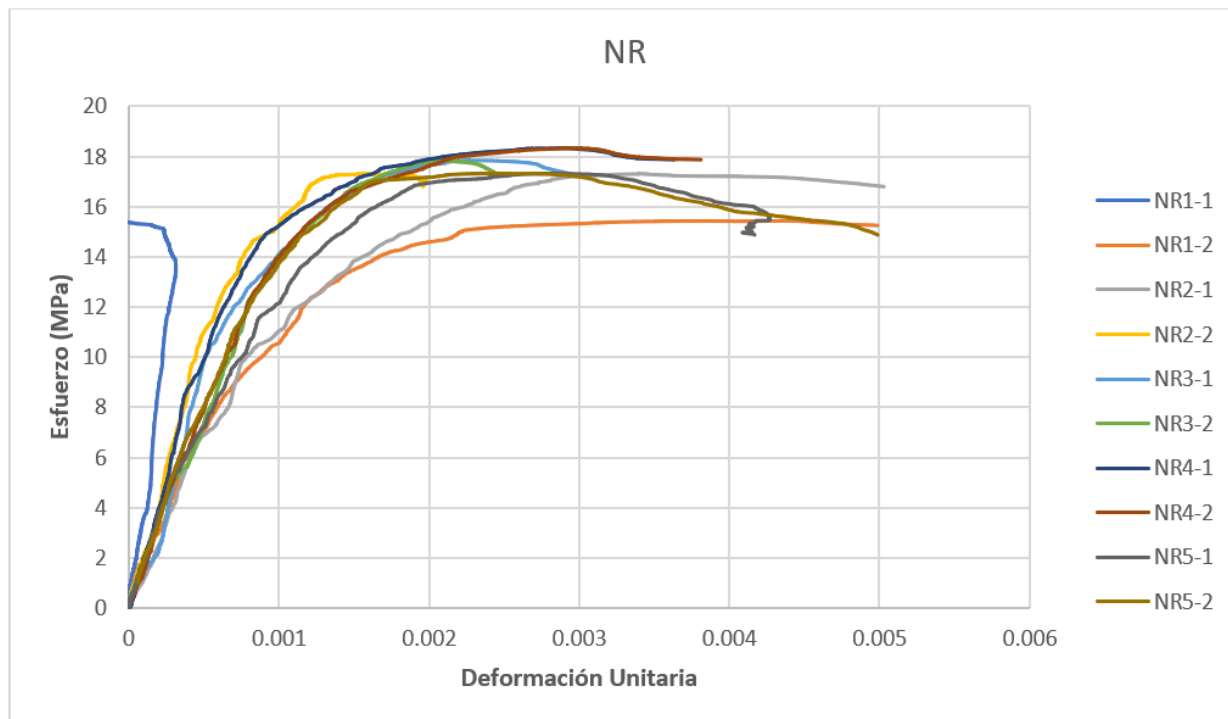


Figura A 19. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero N relleno

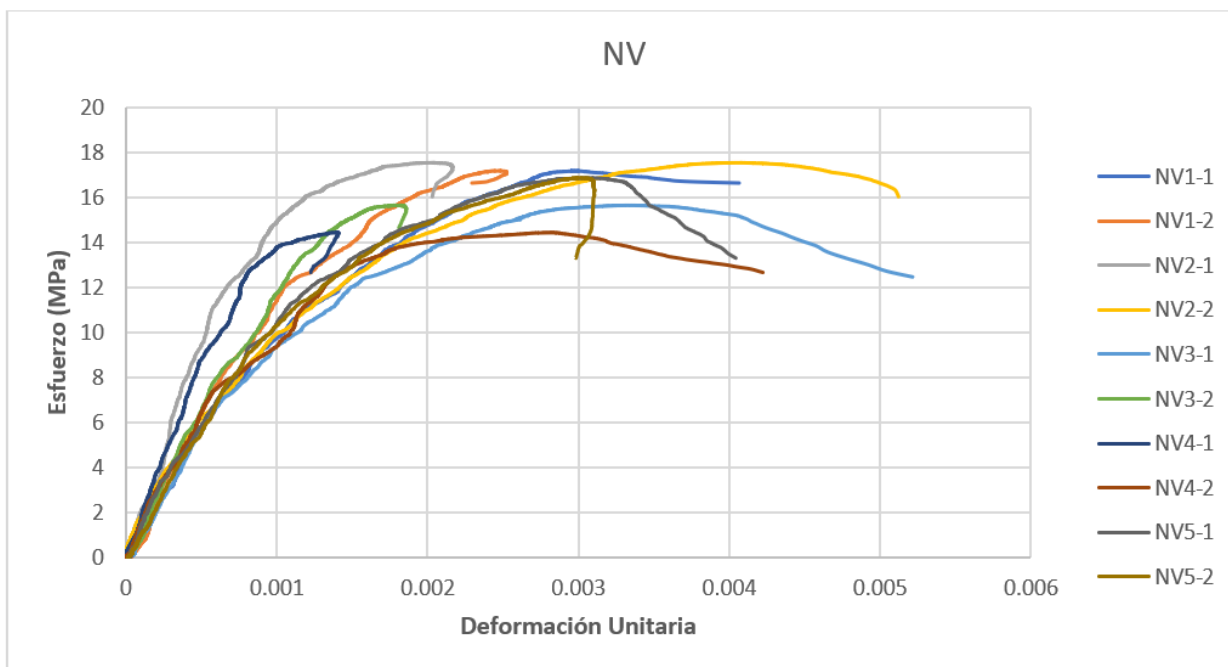


Figura A 20. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero N vacío

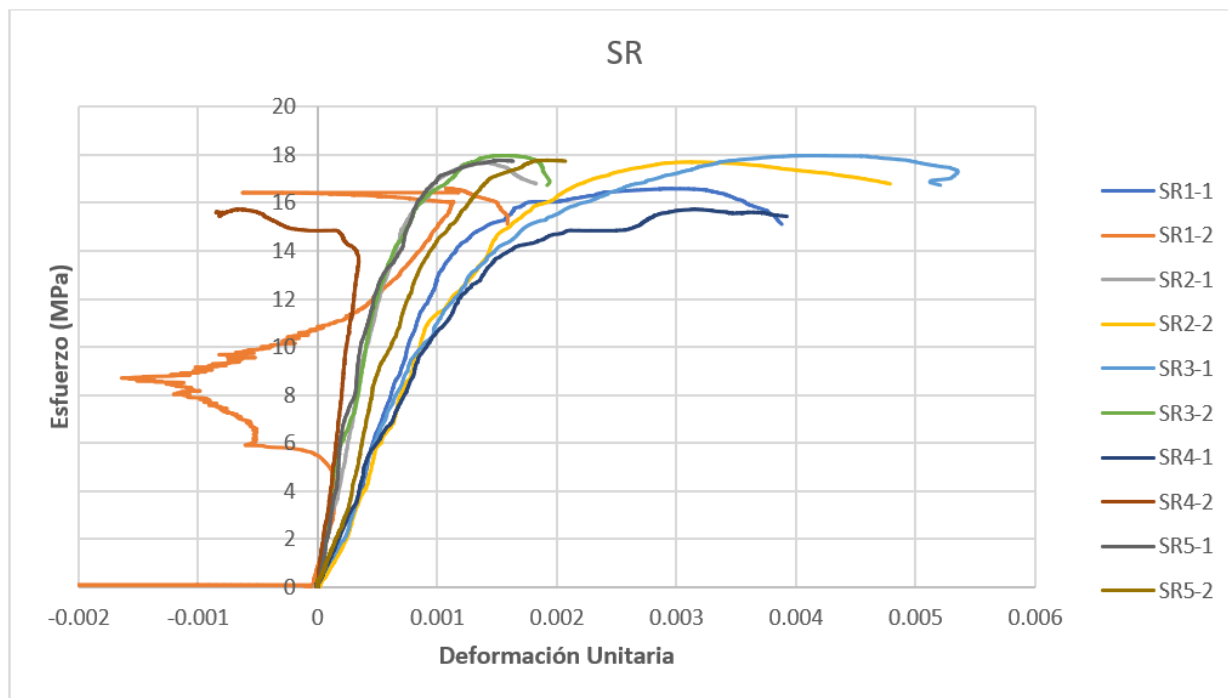


Figura A 21. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero S relleno

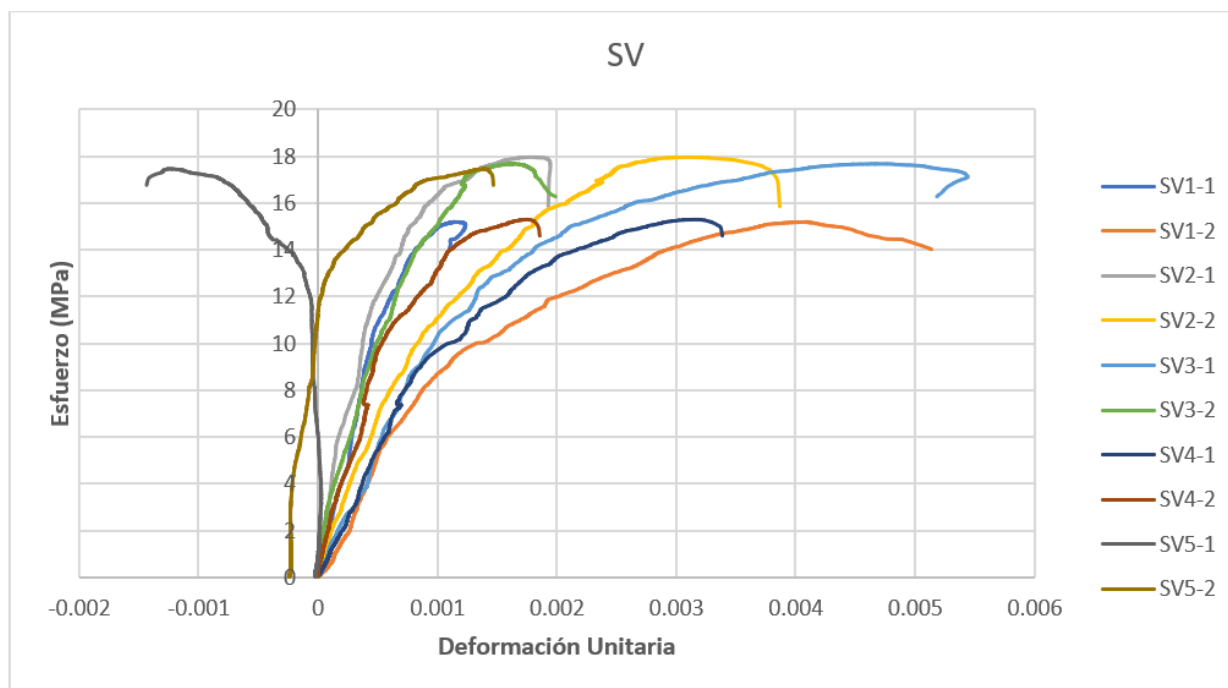


Figura A 22. Grafica esfuerzo-deformación prisma con mortero S vacío

A.4. Curvas esfuerzo-deformación individuales

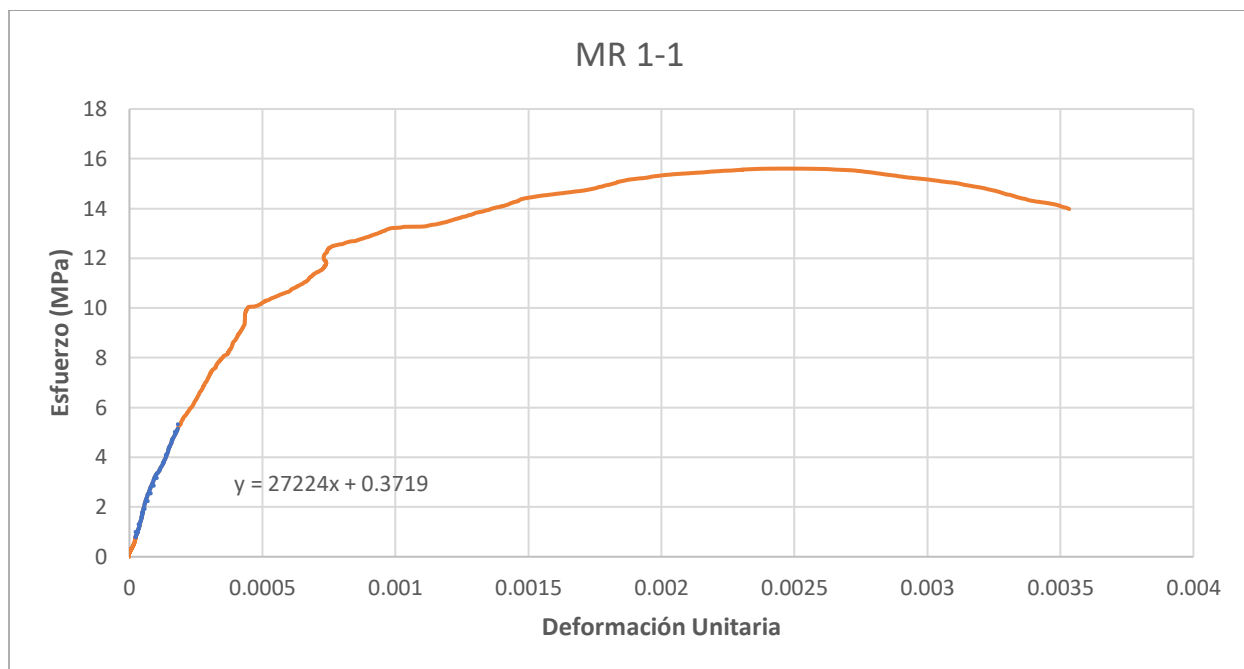


Figura A 23. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero M relleno LVDT 1

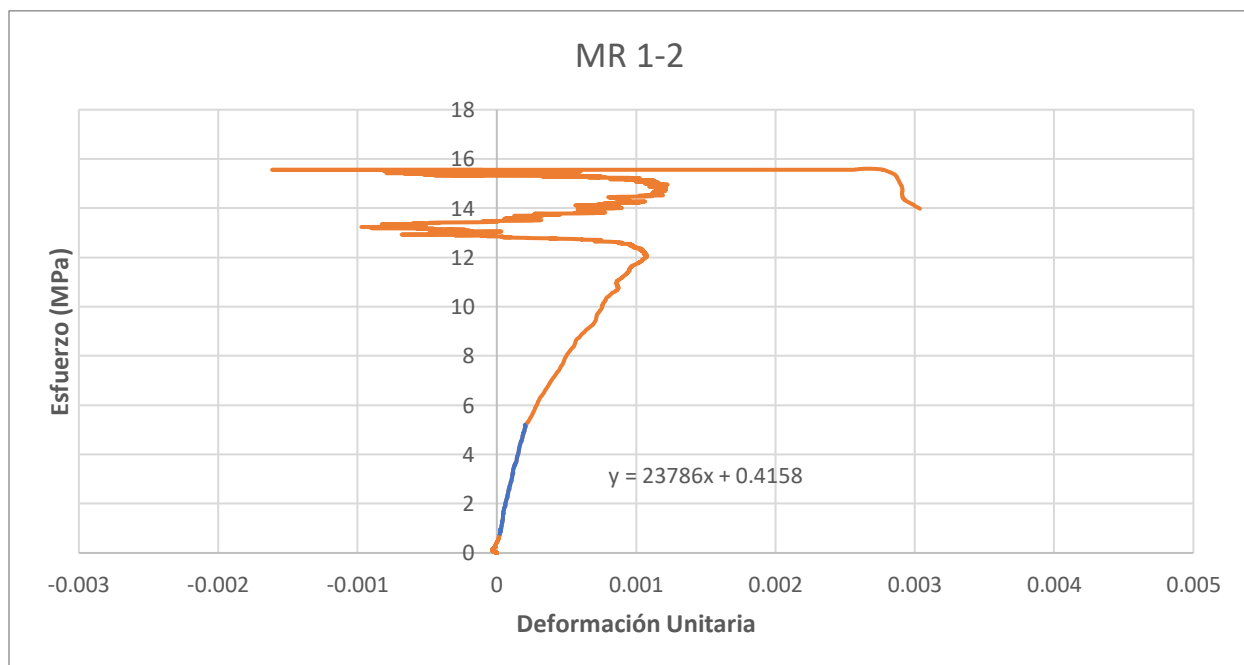


Figura A 24. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero M relleno LVDT 2

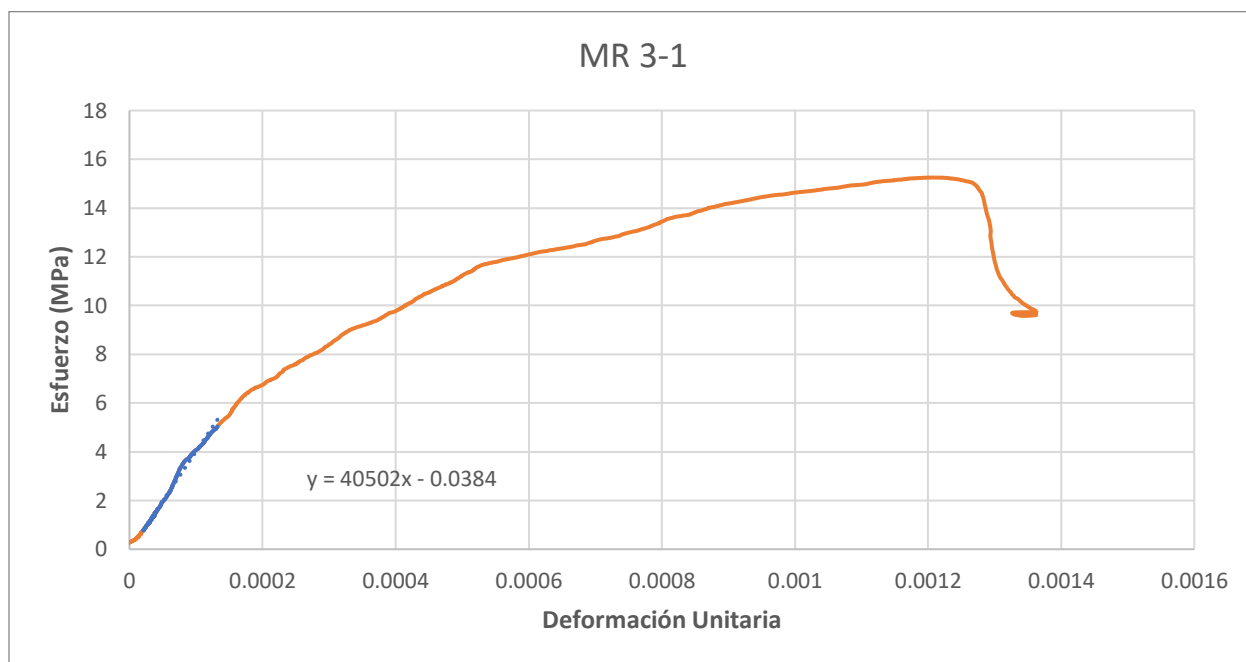


Figura A 25. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero M relleno LVDT 1

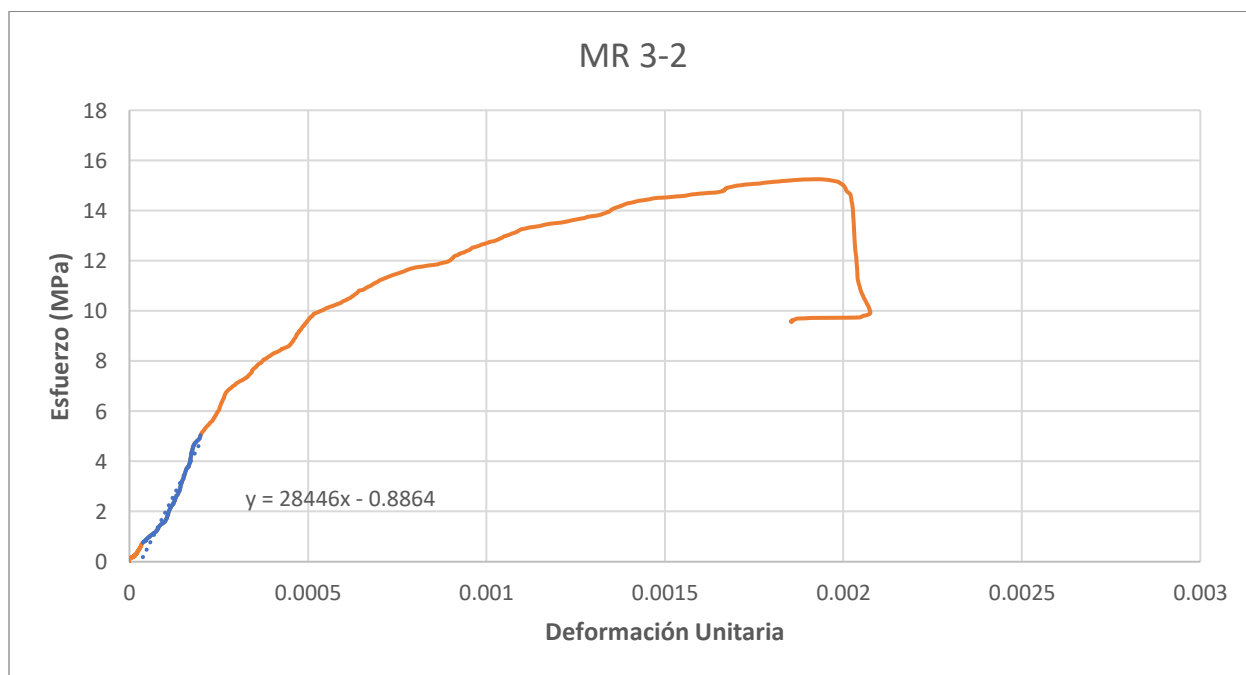


Figura A 26. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero M relleno LVDT 2

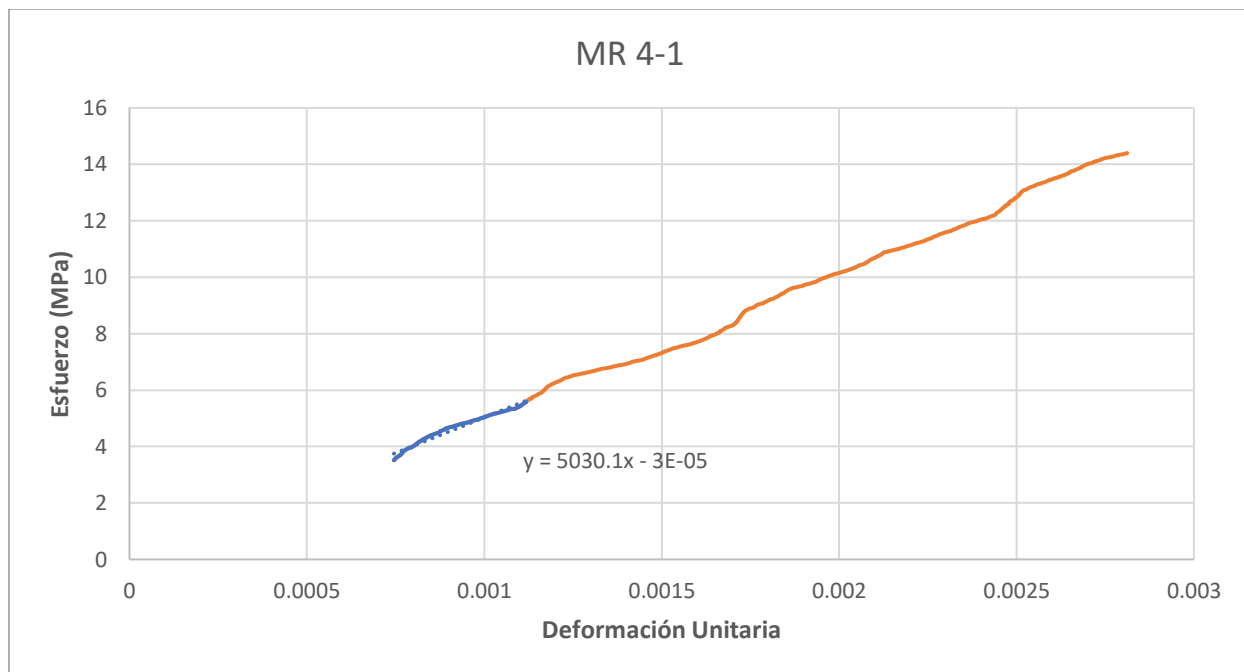


Figura A 27. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero M relleno LVDT 1

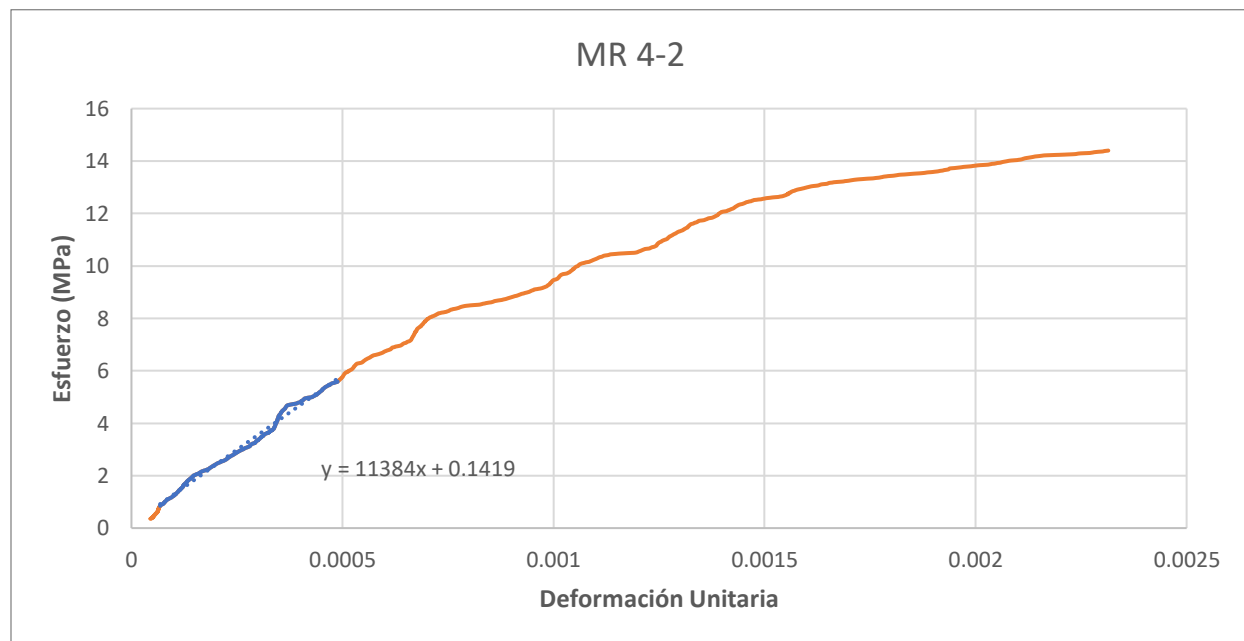


Figura A 28. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero M relleno LVDT 2

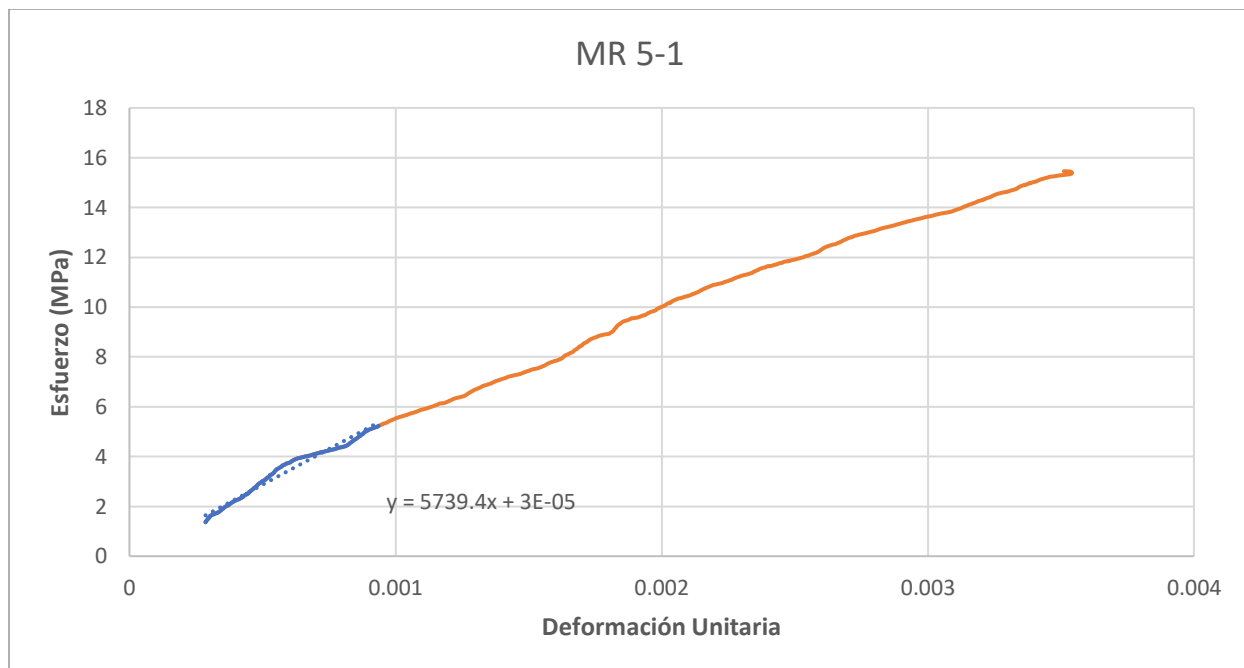


Figura A 29. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero M relleno LVDT 1

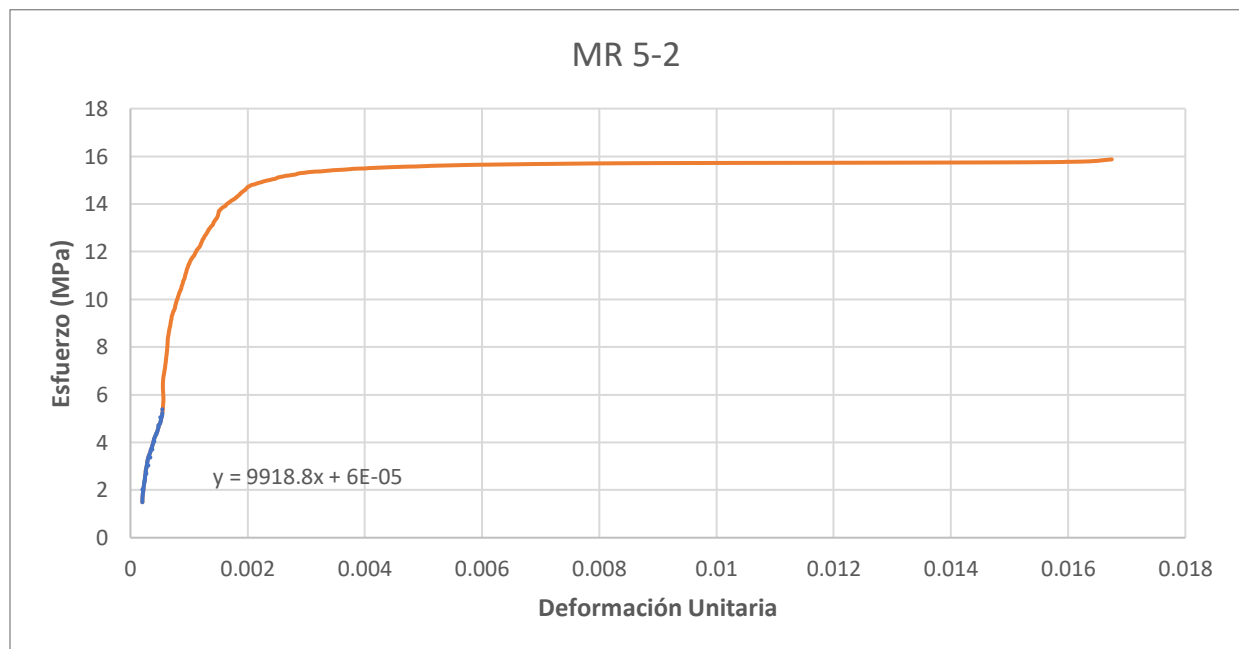


Figura A 30. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero M relleno LVDT 2

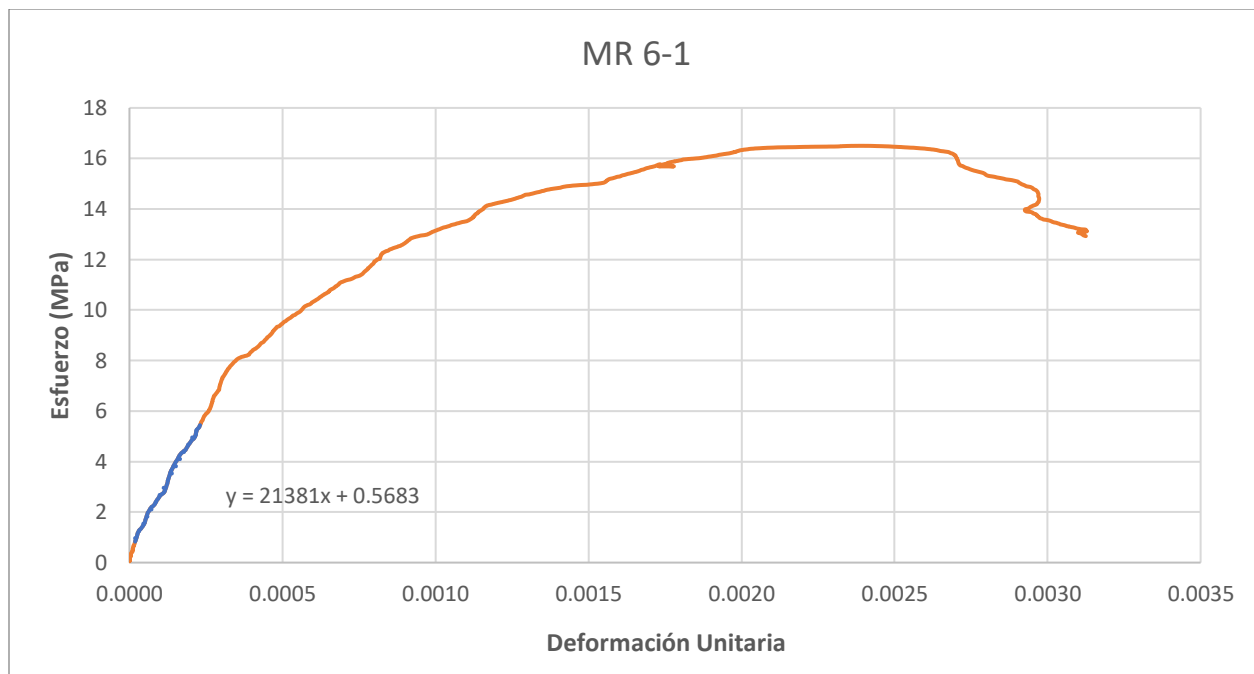


Figura A 31. Grafica esfuerzo-deformación prisma 6 mortero M relleno LVDT 1

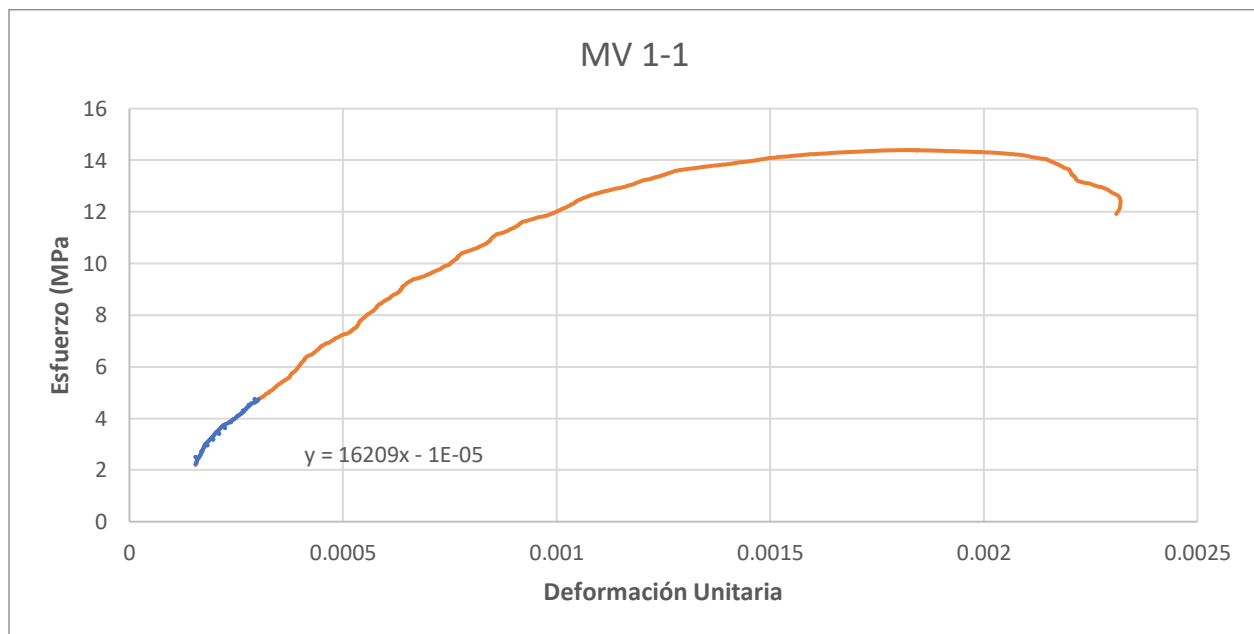


Figura A 32. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero M vacío LVDT 1

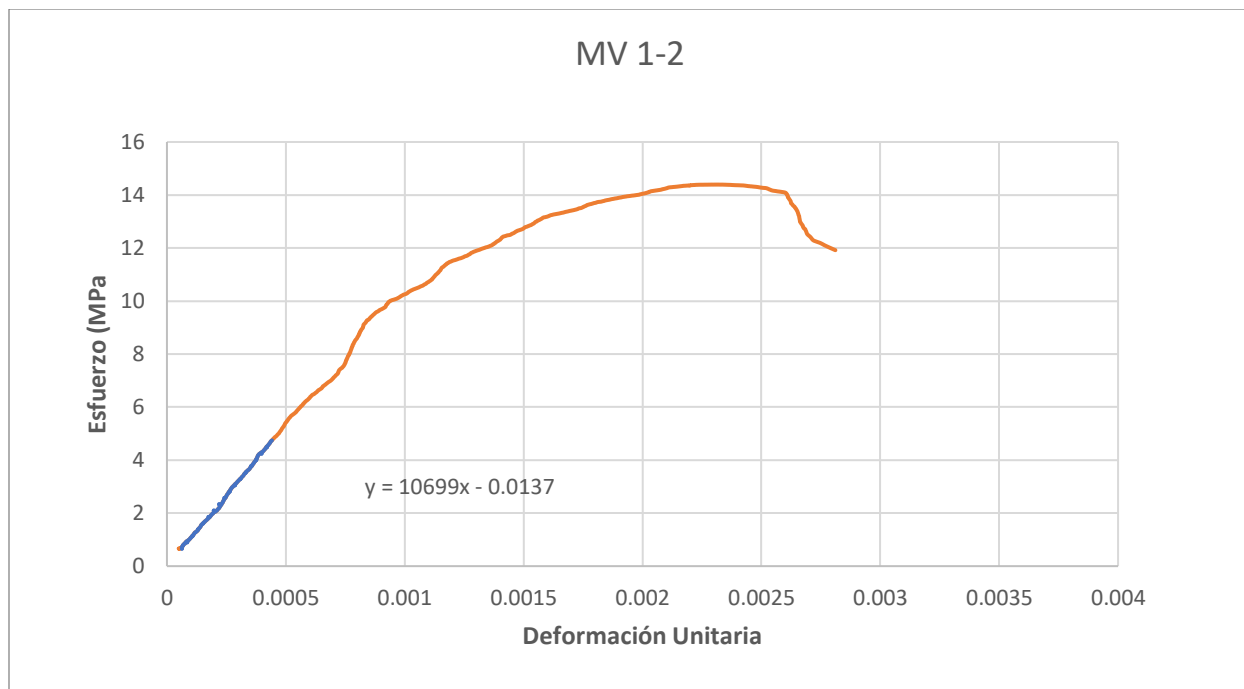


Figura A 33. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero M vacío LVDT 2

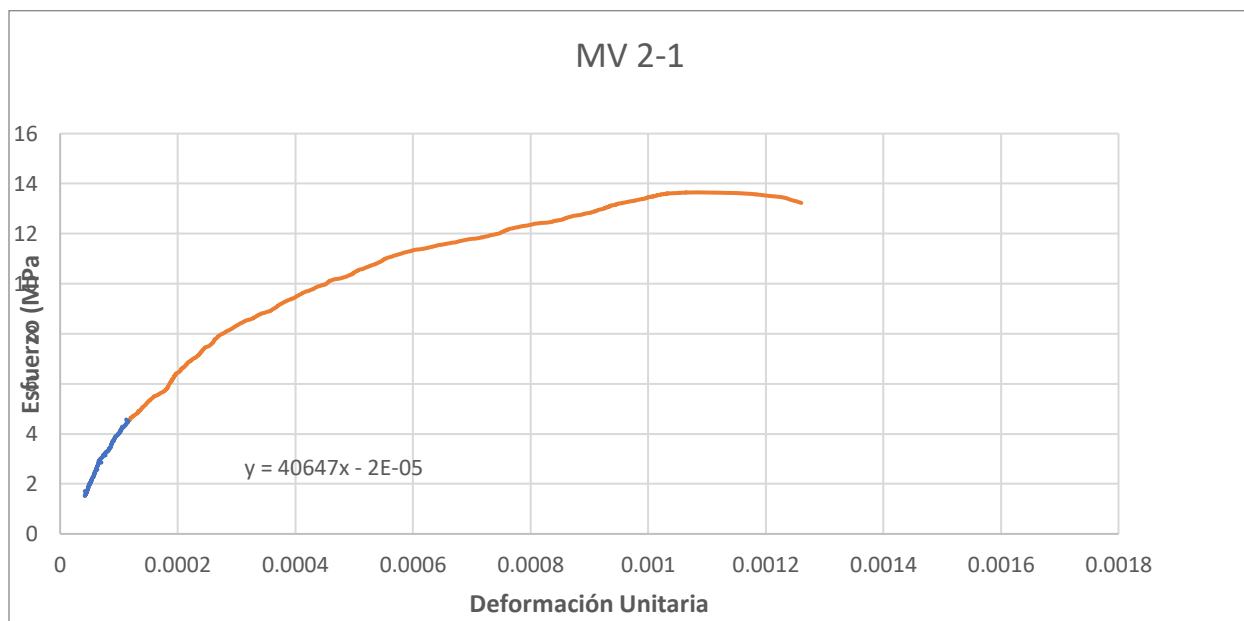


Figura A 34. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero M vacío LVDT 1

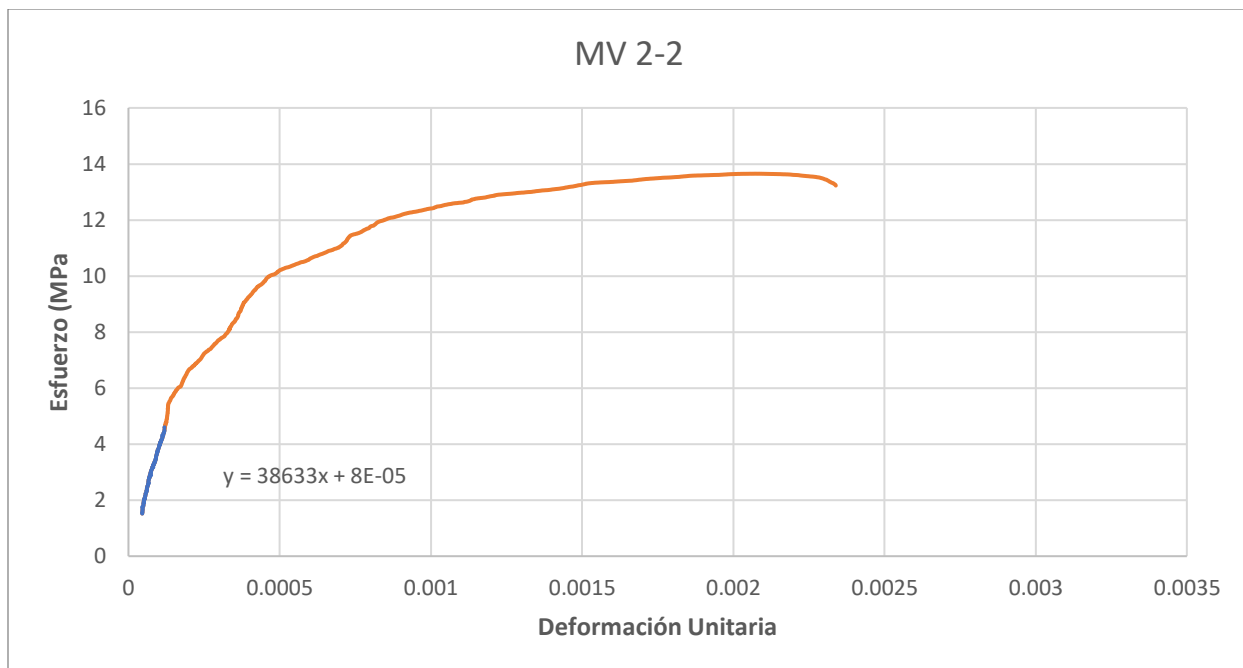


Figura A 35. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero M vacío LVDT 2

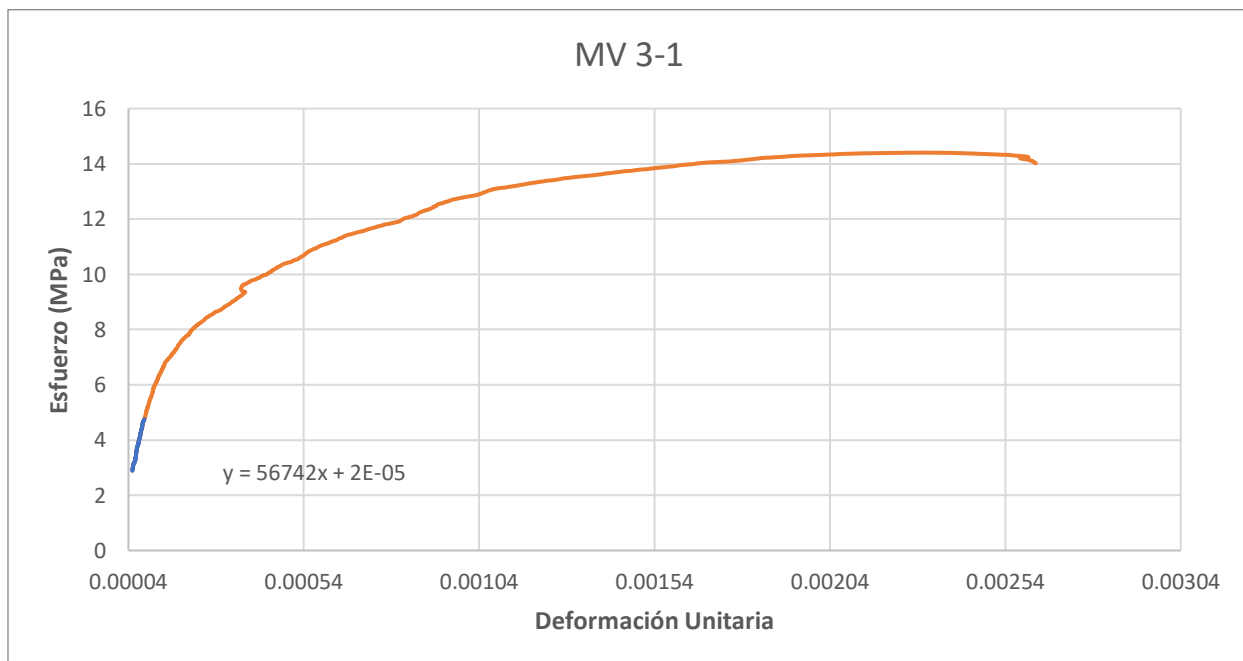


Figura A 36. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero M vacío LVDT 1

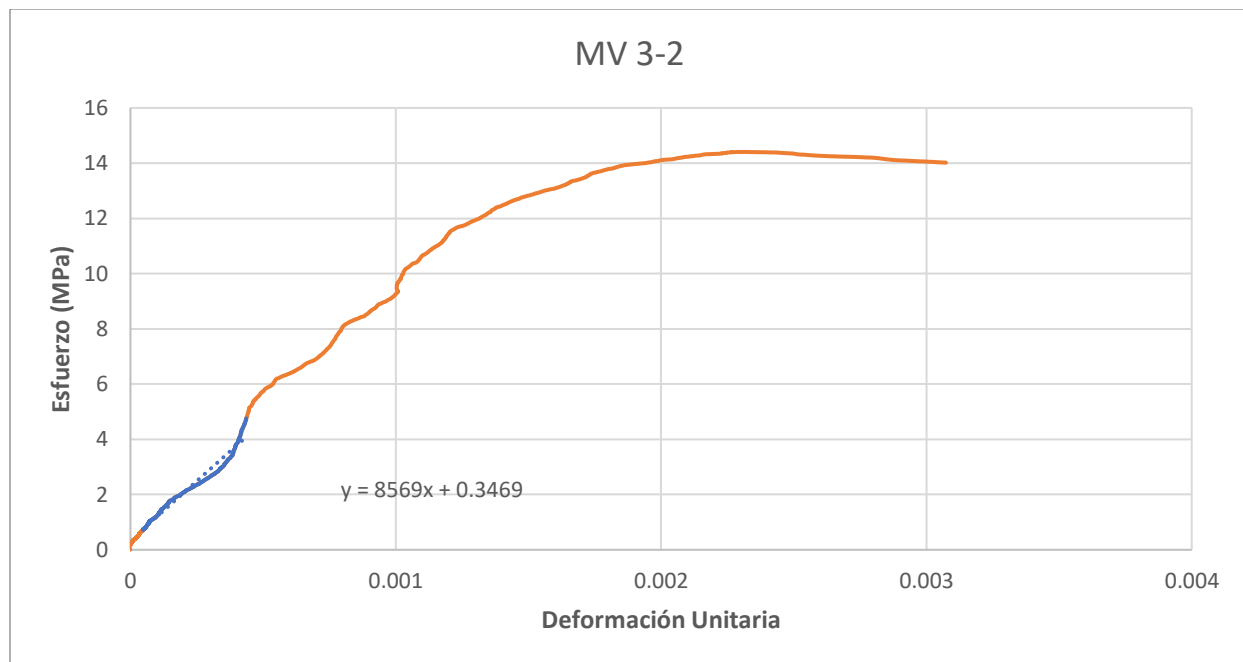


Figura A 37. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero M vacío LVDT 2

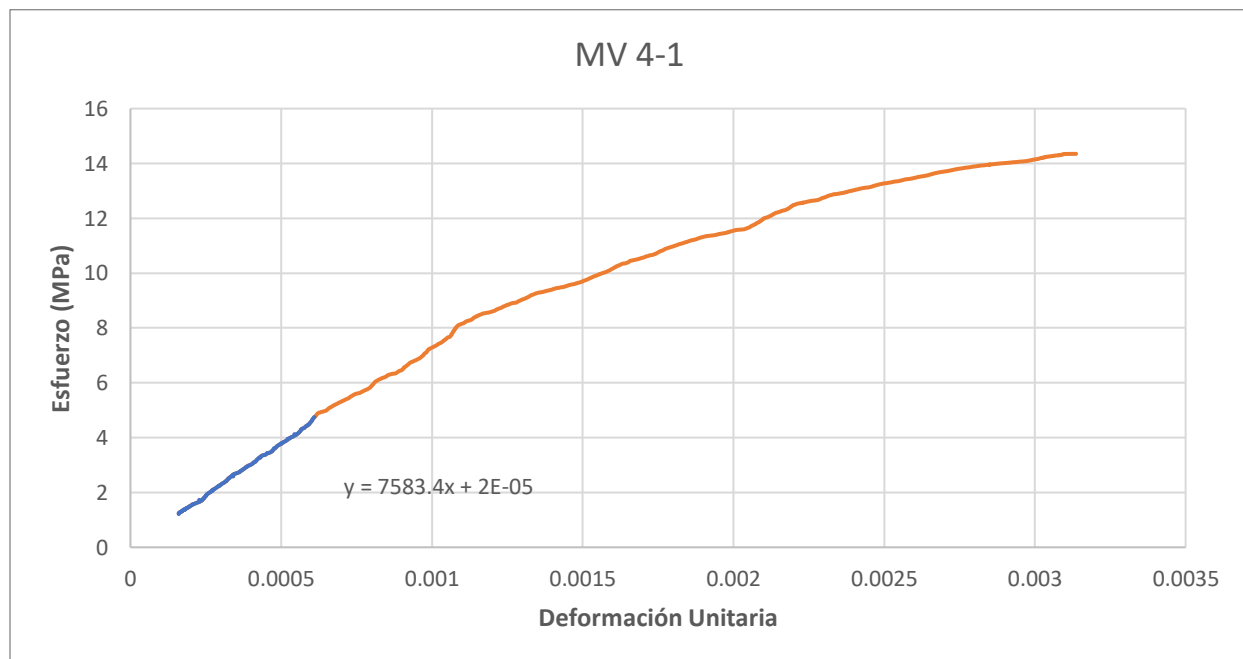


Figura A 38. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero M vacío LVDT 1

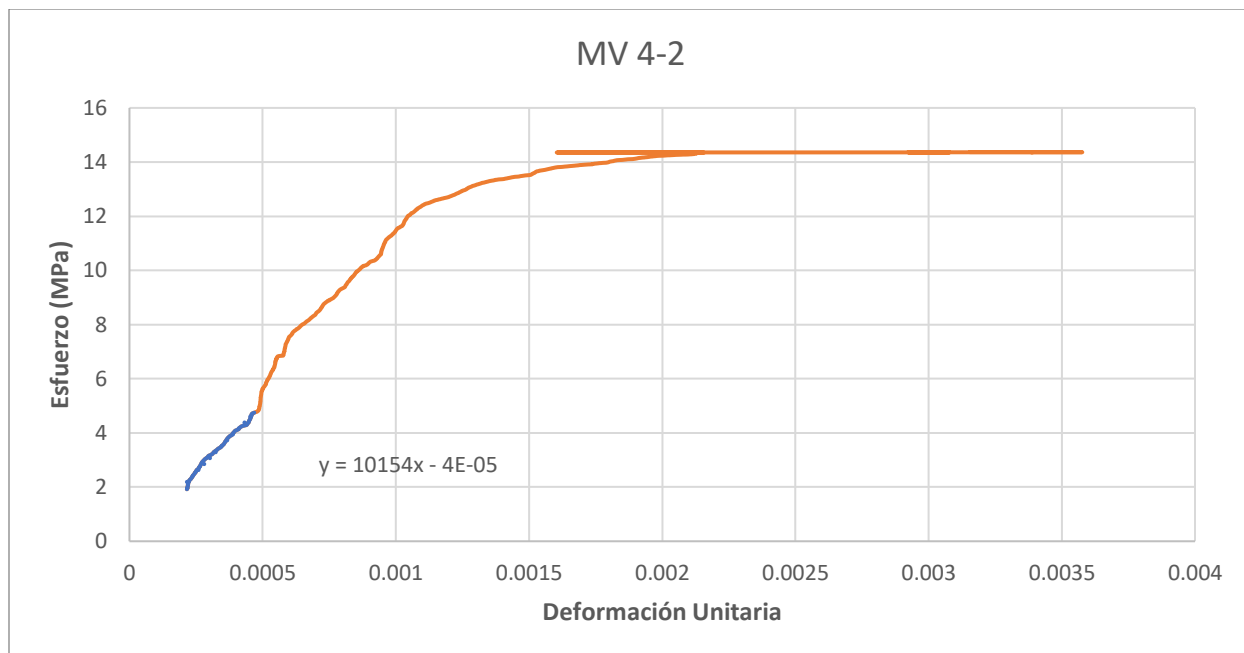


Figura A 39. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero M vacío LVDT 2

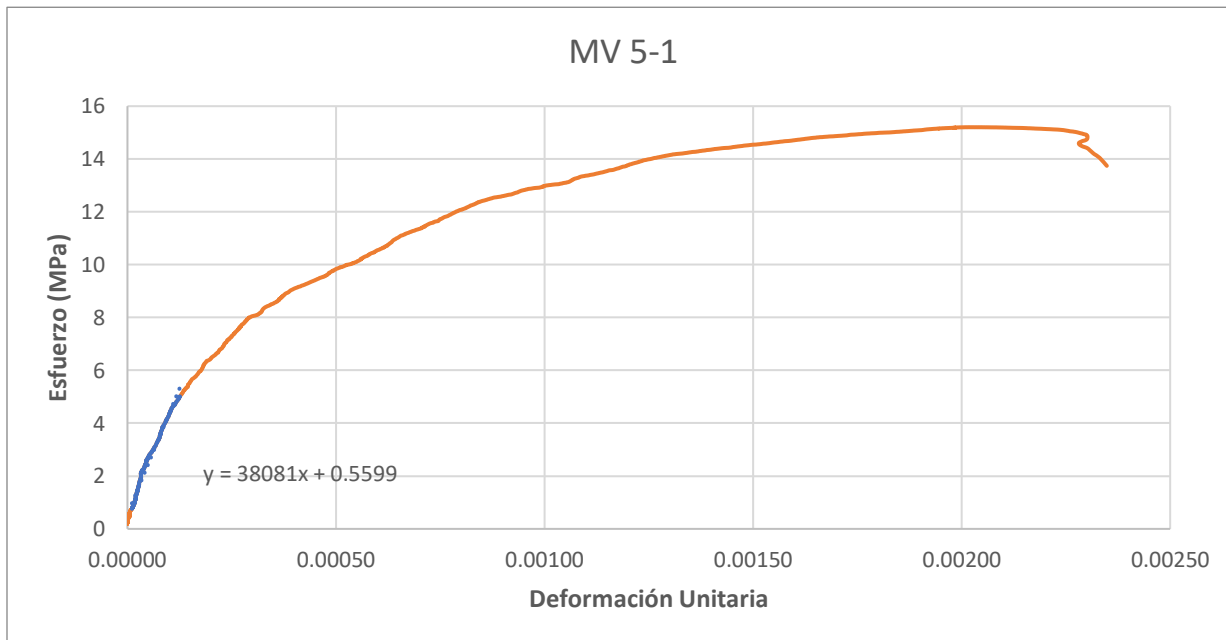


Figura A 40. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero M vacío LVDT 1

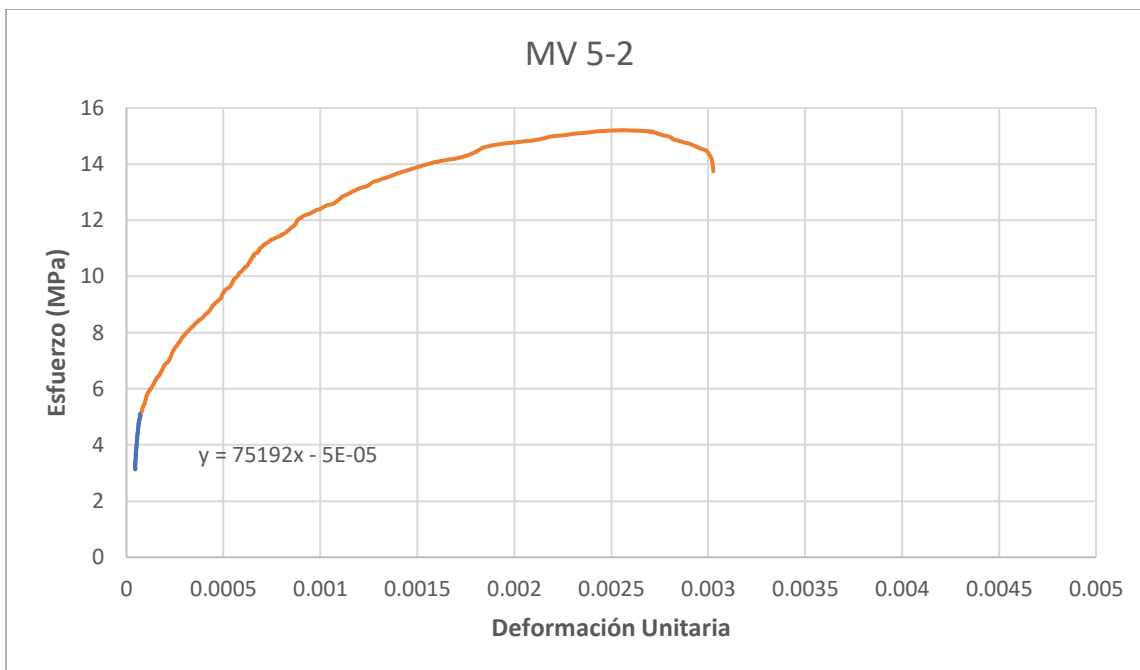


Figura A 41. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero M vacío LVDT 2

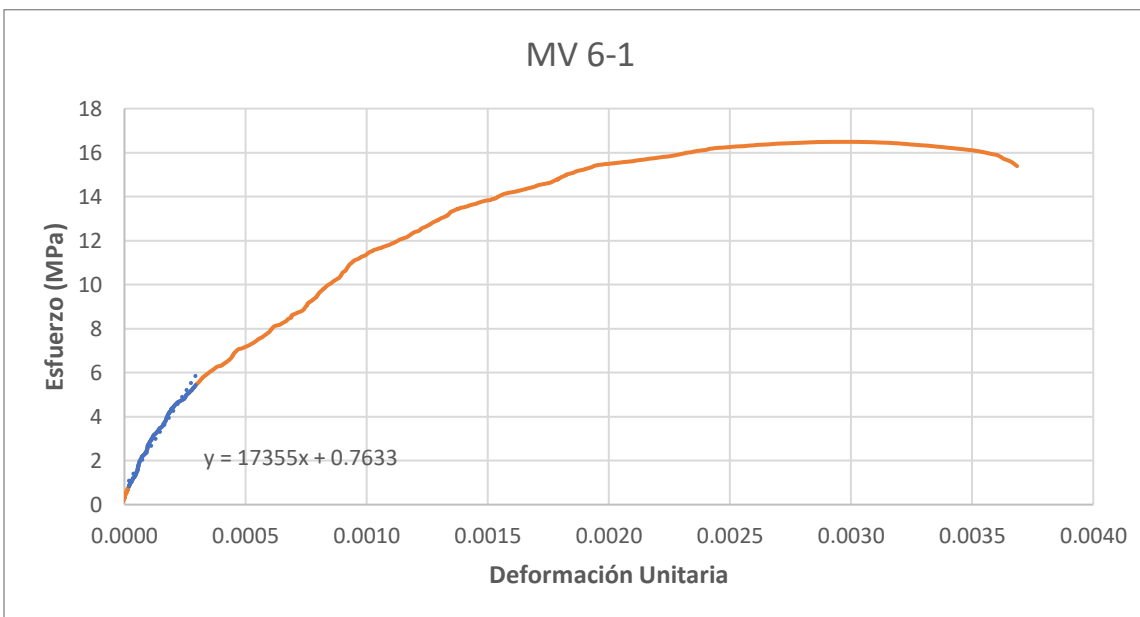


Figura A 42. Grafica esfuerzo-deformación prisma 6 mortero M vacío LVDT 1

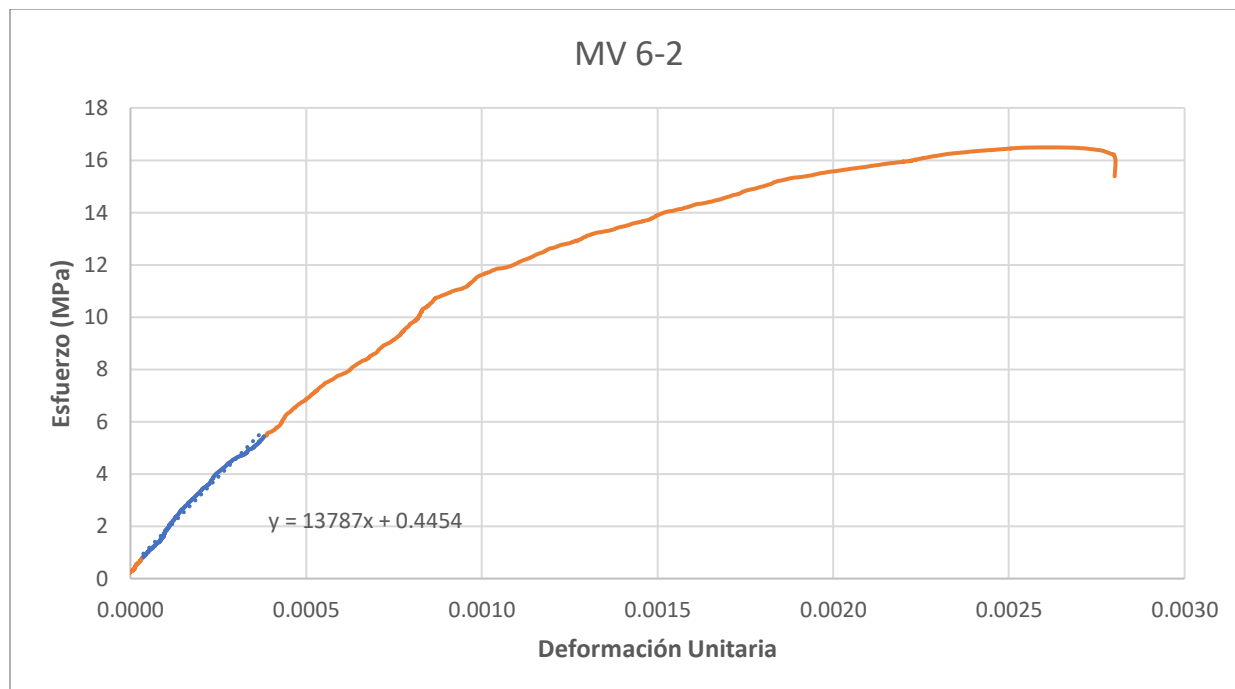


Figura A 43. Grafica esfuerzo-deformación prisma 6 mortero M vacío LVDT 2

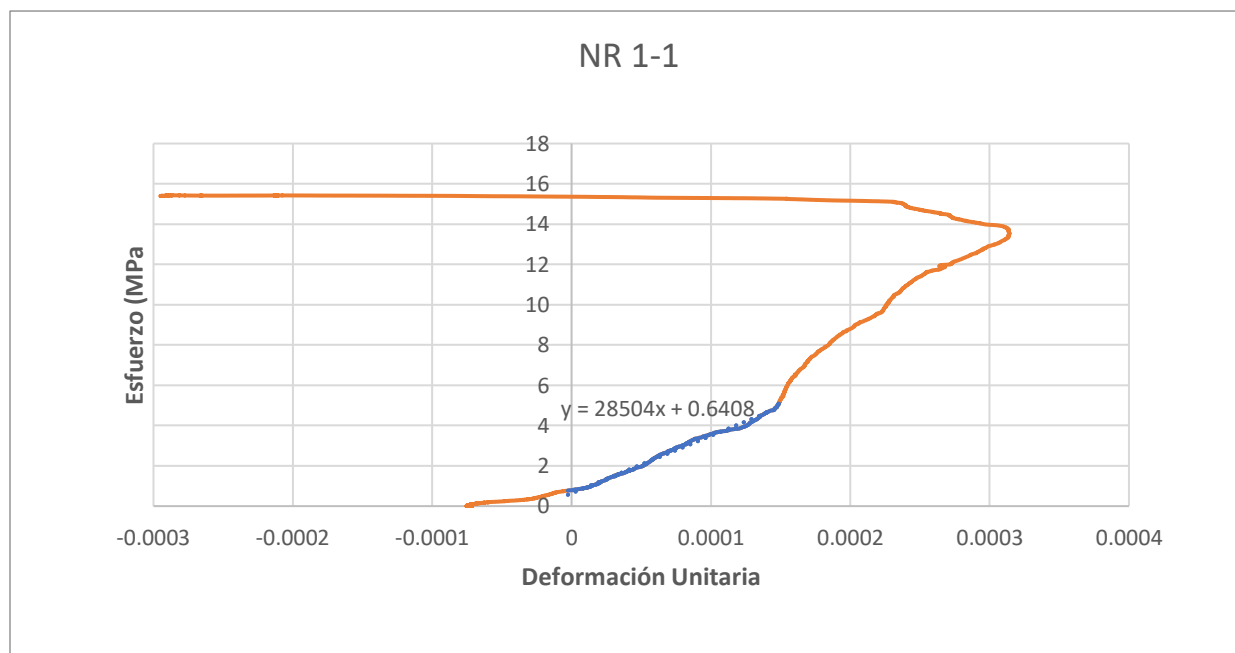


Figura A 44. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero N relleno LVDT 1

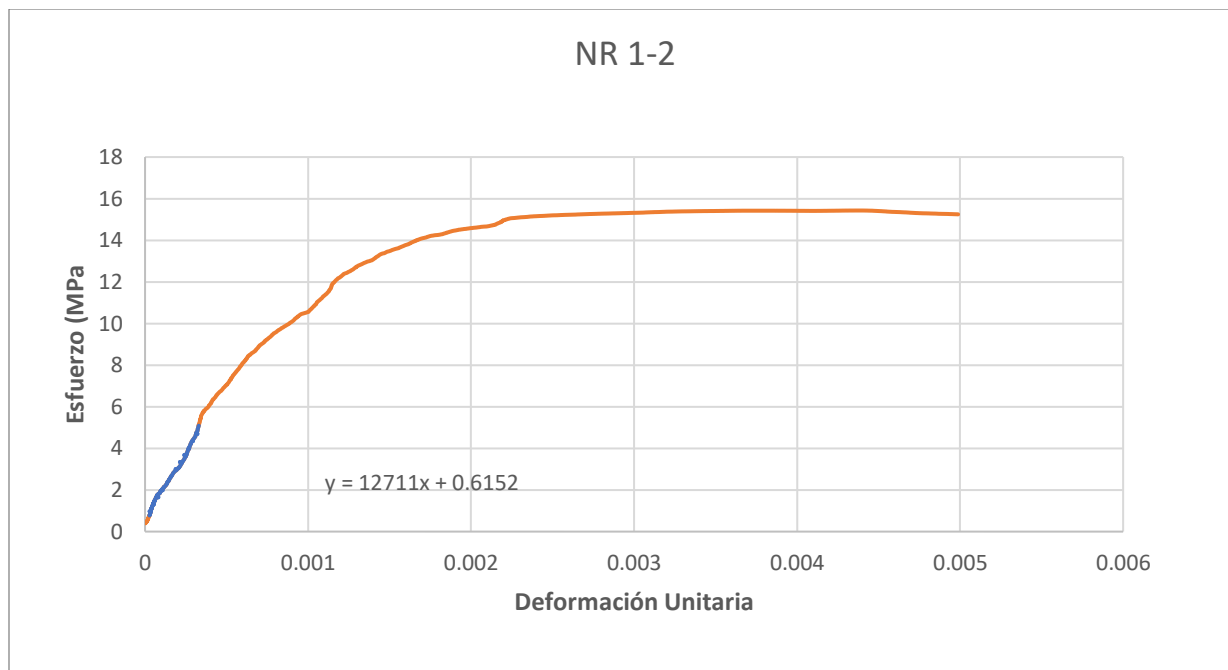


Figura A 45. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero N relleno LVDT 2

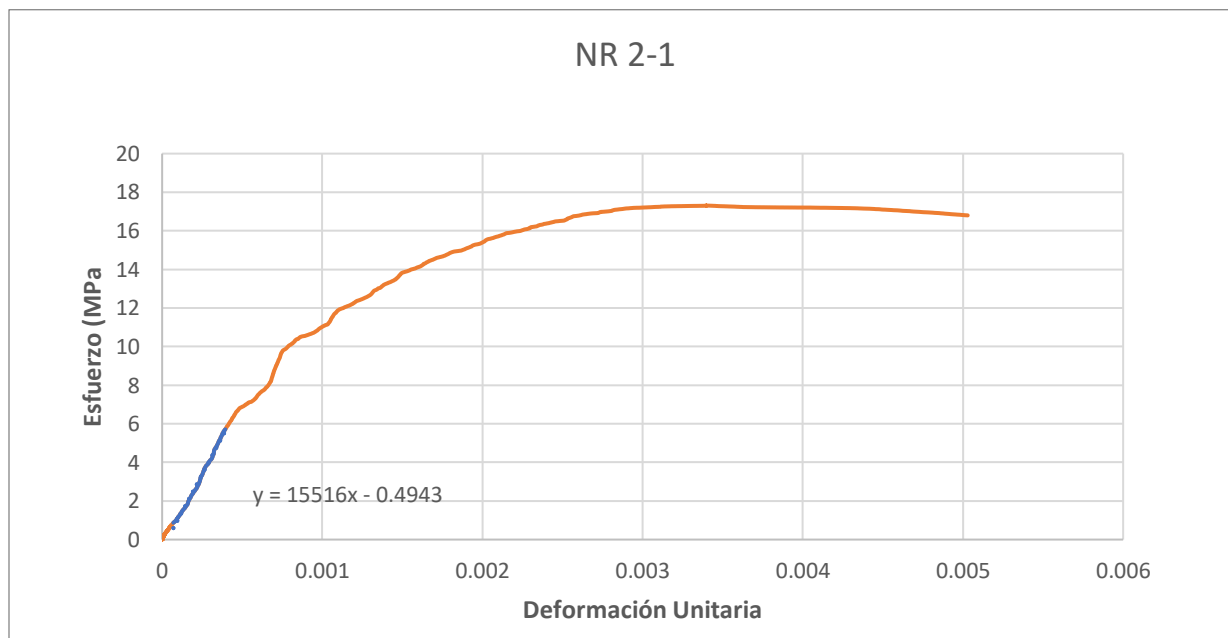


Figura A 46. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero N relleno LVDT 1

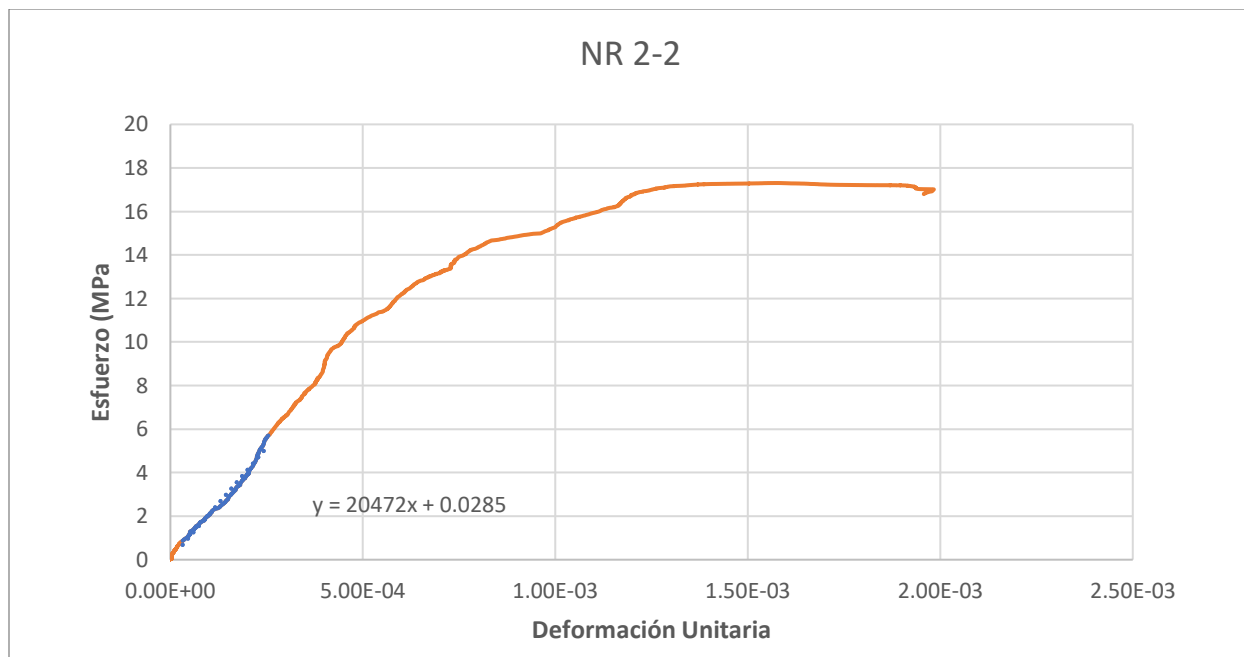


Figura A 47. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero N relleno LVDT 2

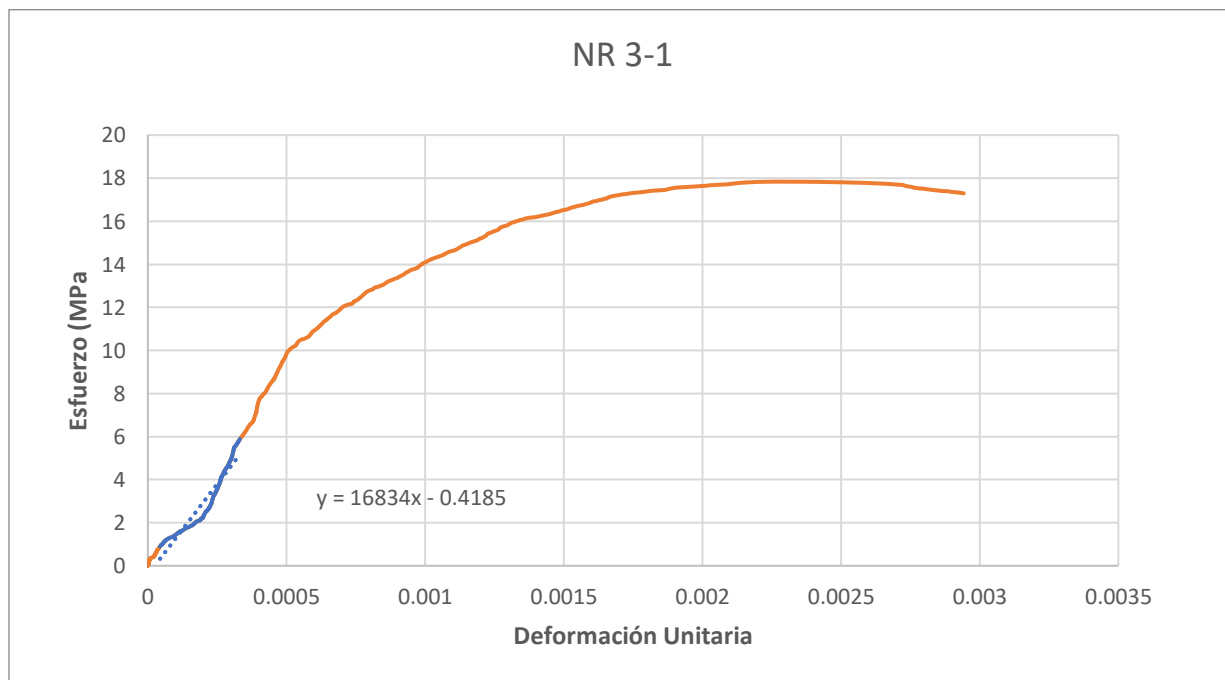


Figura A 48. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero N relleno LVDT 1

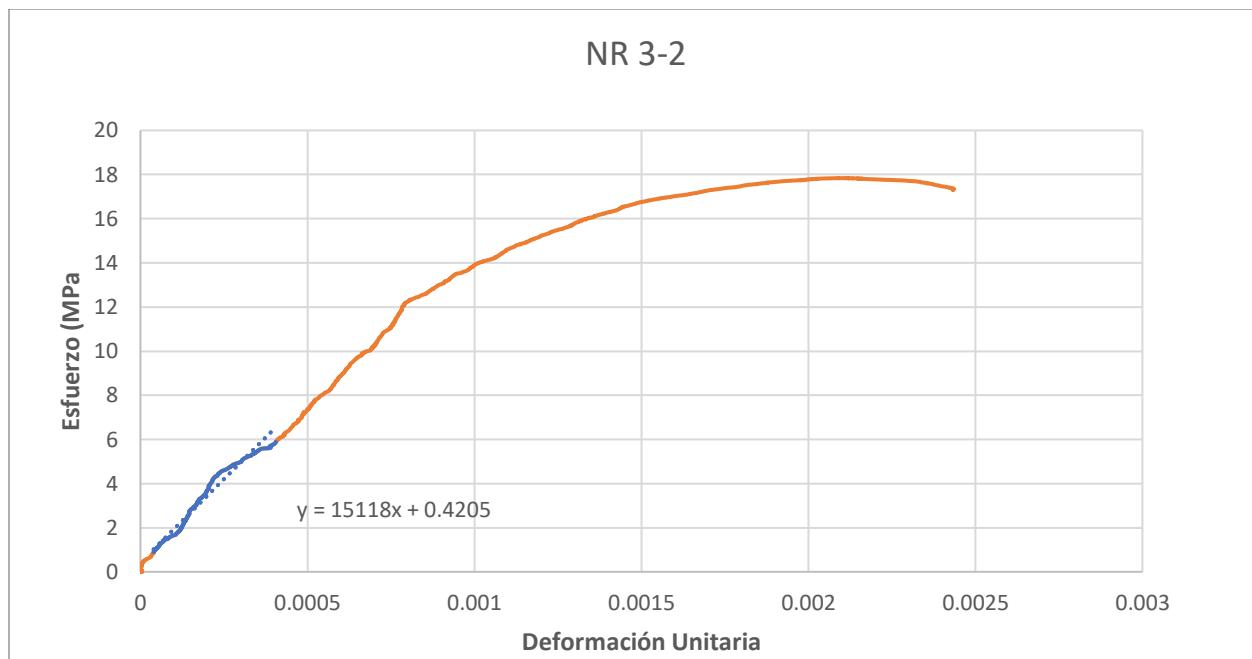


Figura A 49. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero N relleno LVDT 2

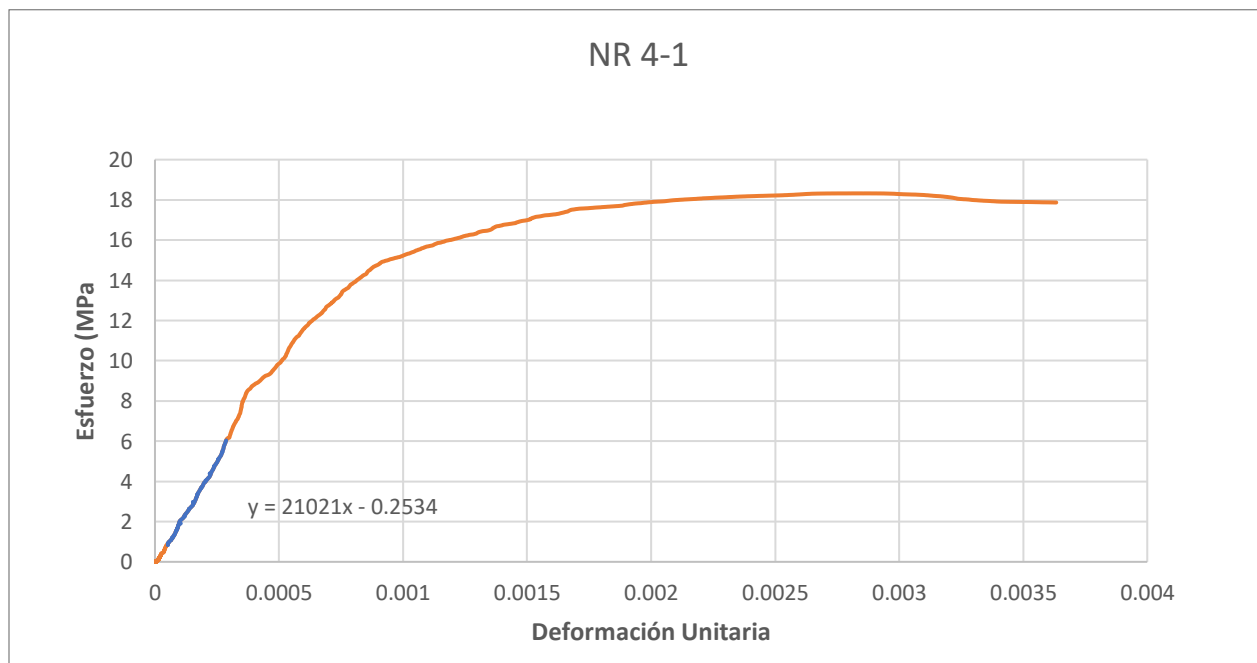


Figura A 50. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero N relleno LVDT 1

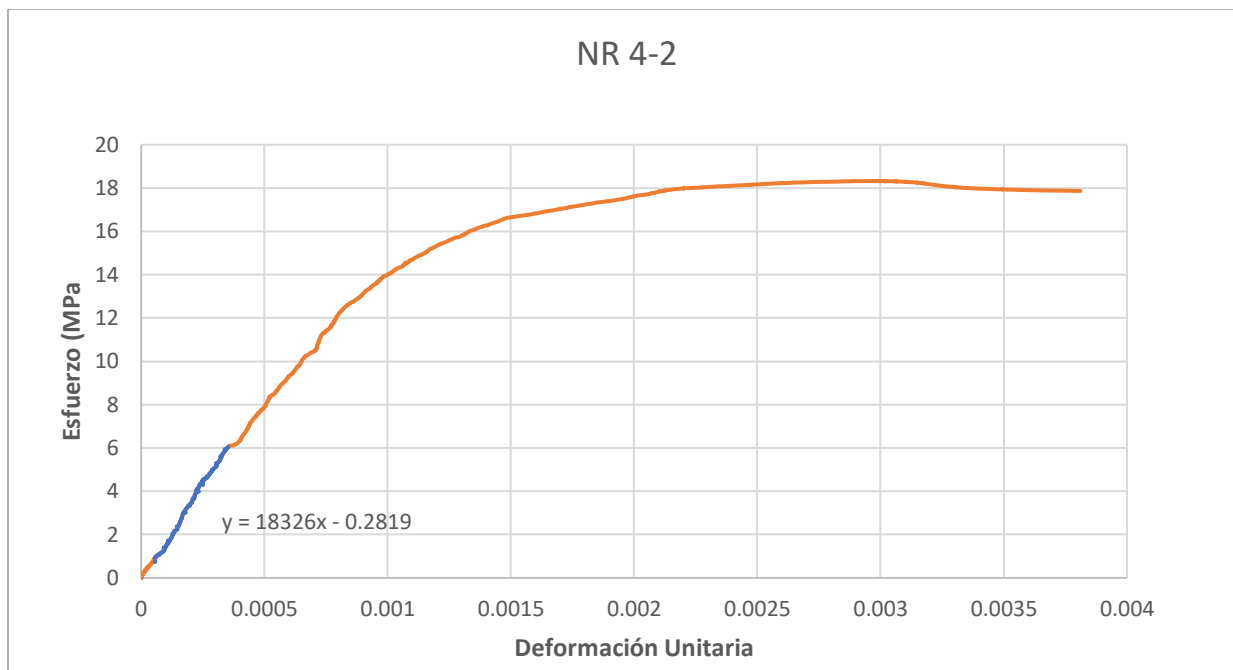


Figura A 51. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero N relleno LVDT 2

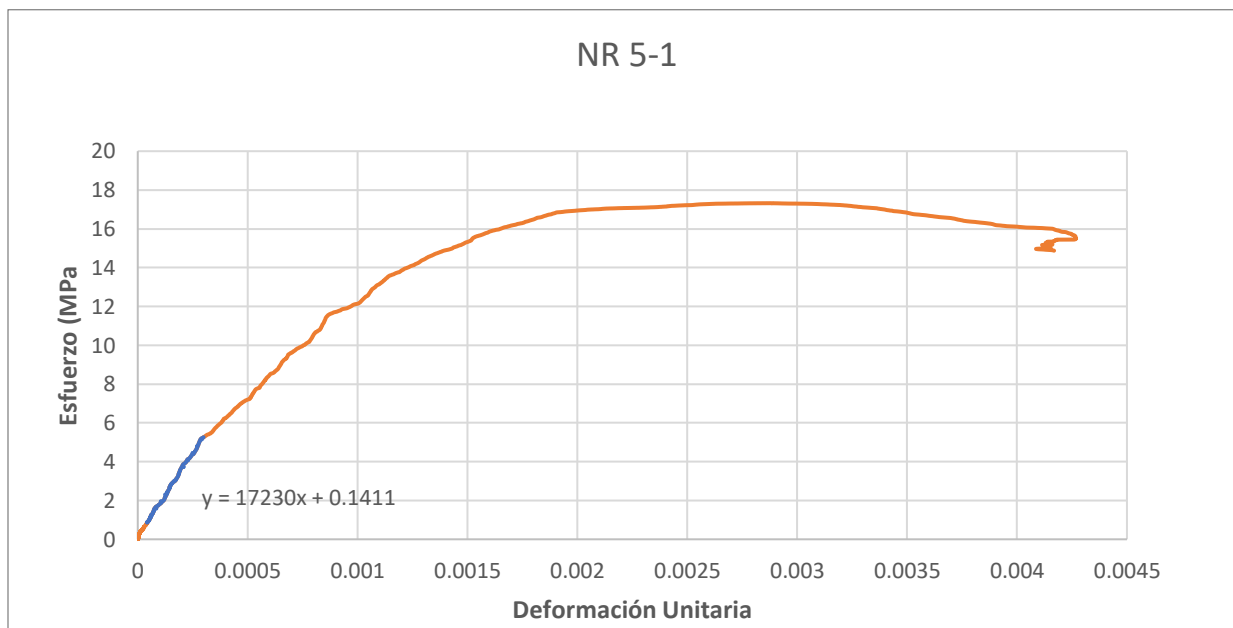


Figura A 52. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero N relleno LVDT 1

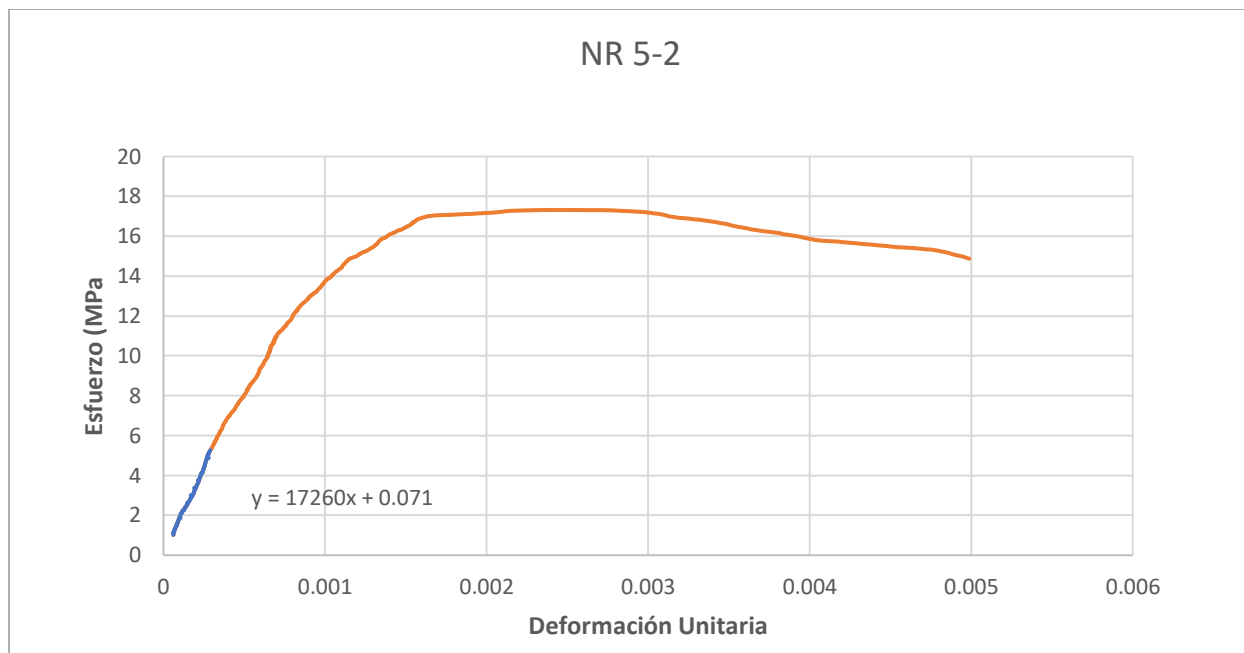


Figura A 53. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero N relleno LVDT 2

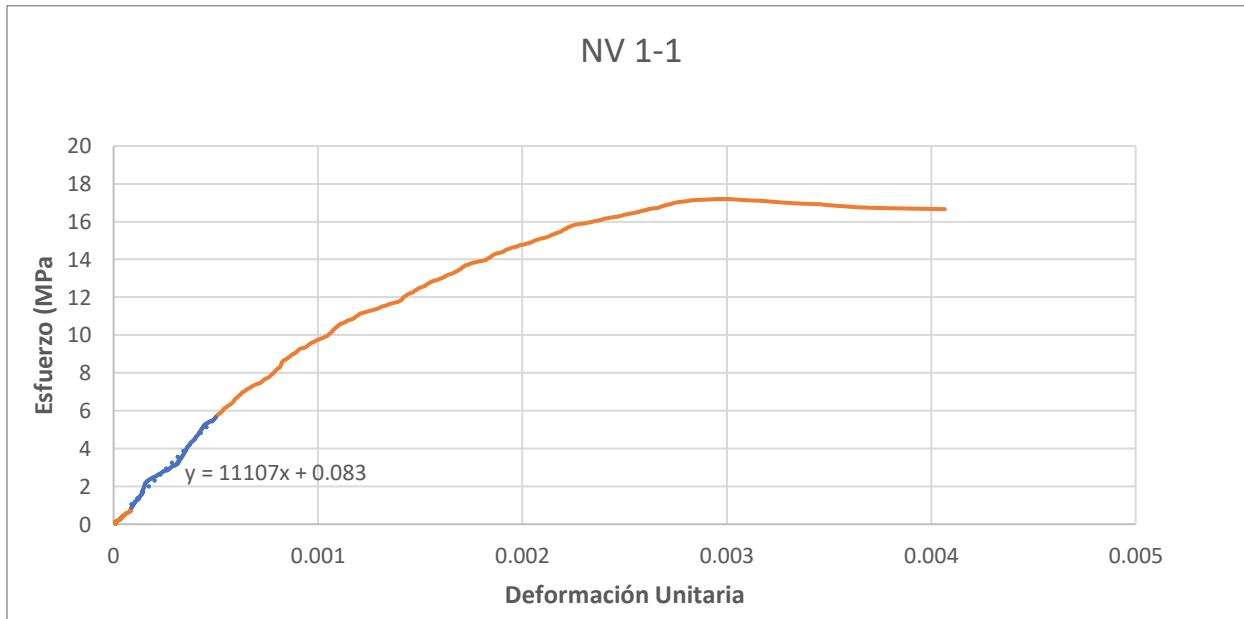


Figura A 54. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero N vacío LVDT 1

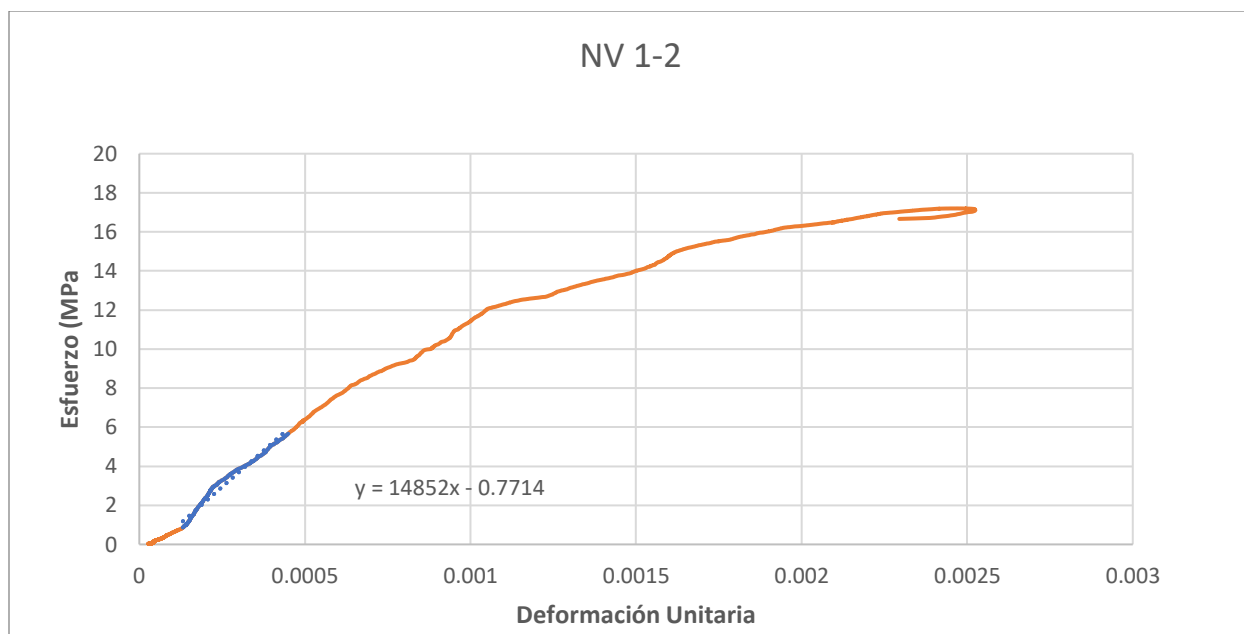


Figura A 55. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero N vacío LVDT 2

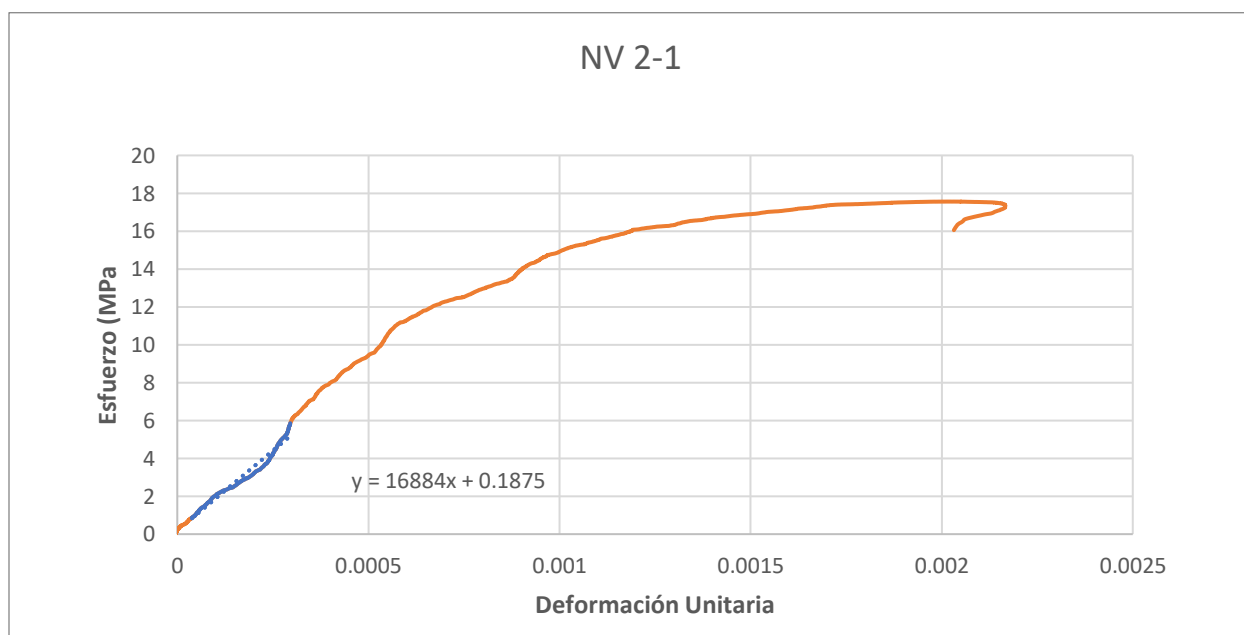


Figura A 56. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero N vacío LVDT 1

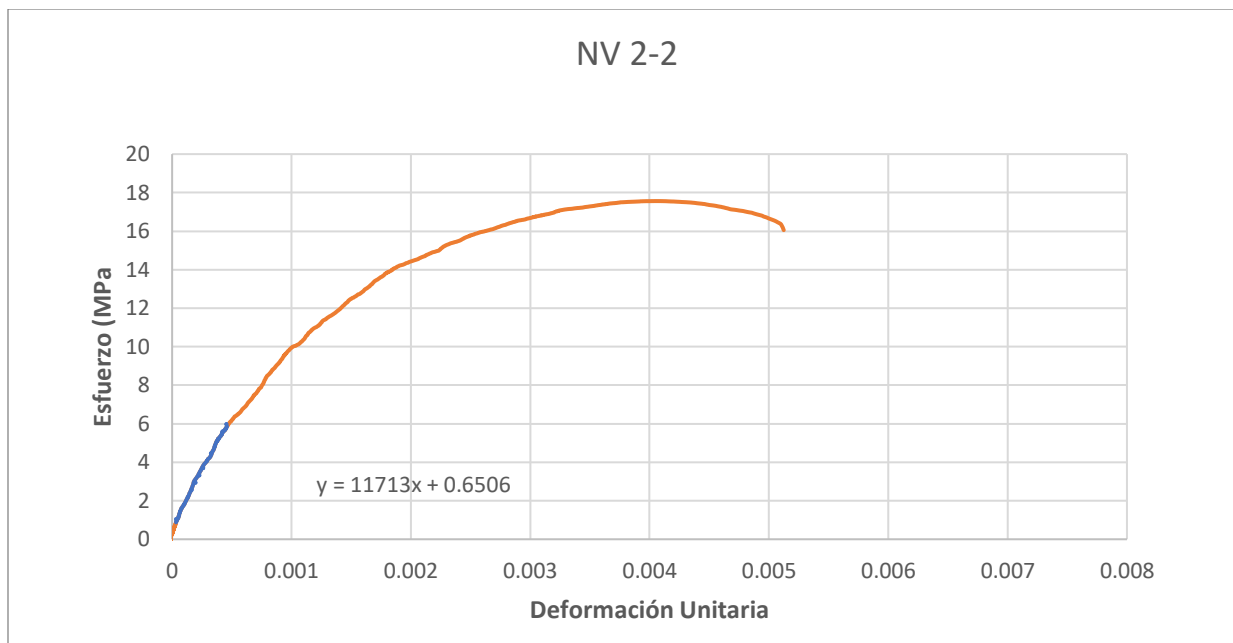


Figura A 57. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero N vacío LVDT 2

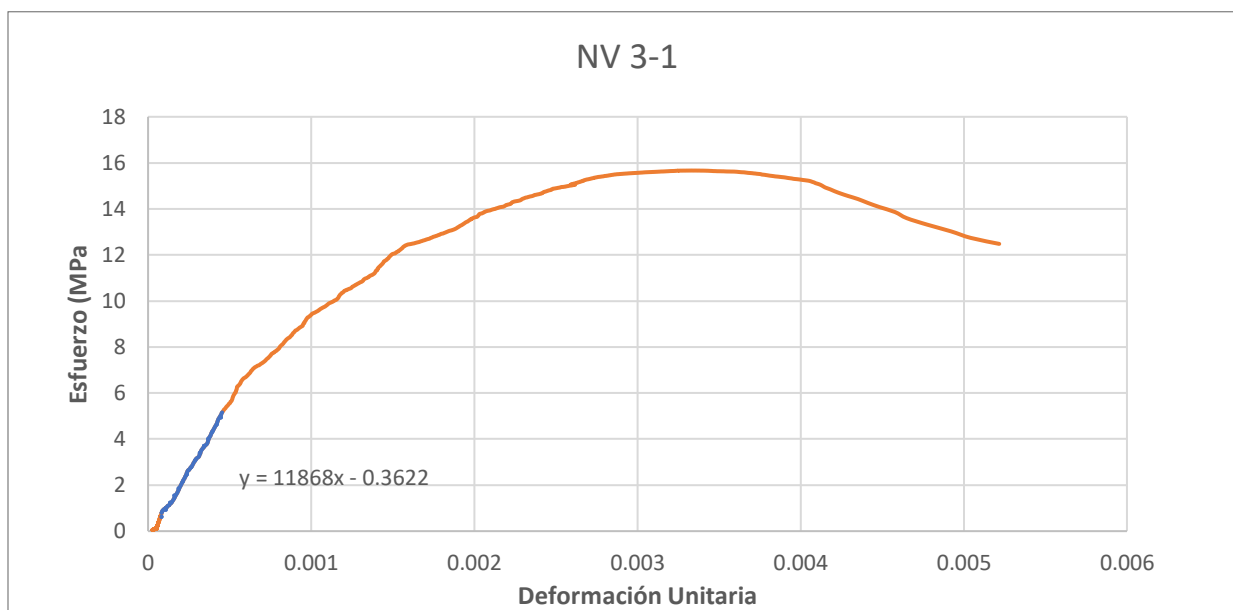


Figura A 58. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero N vacío LVDT 1

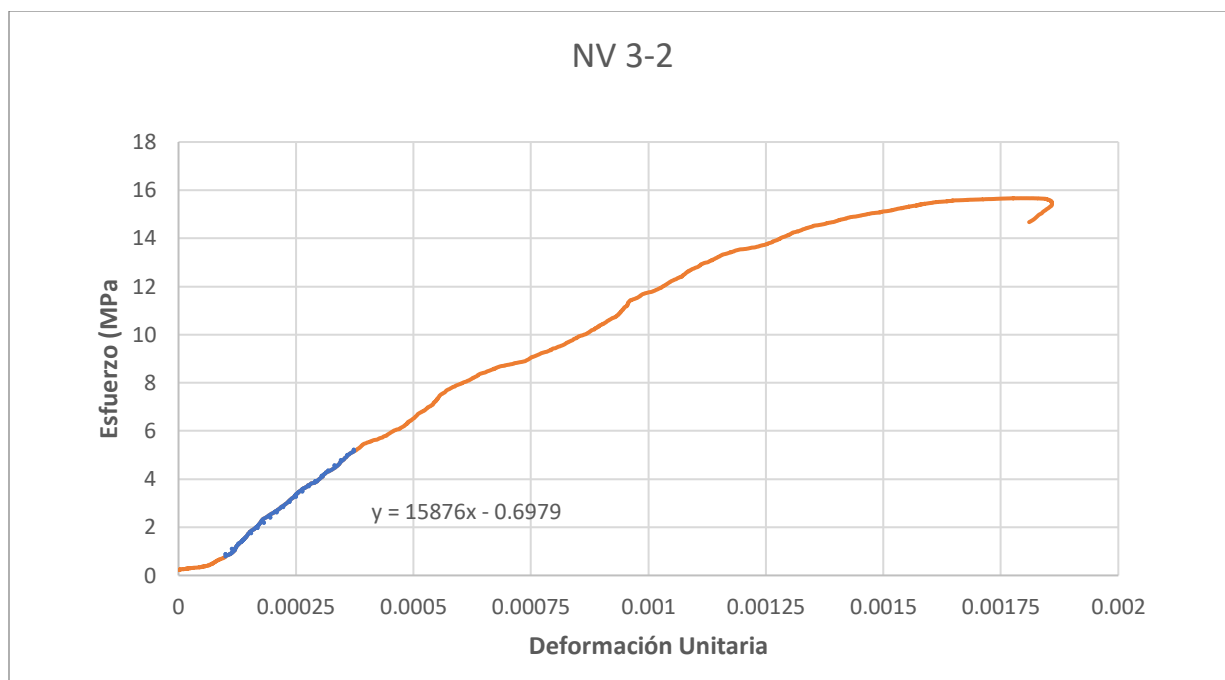


Figura A 59. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero N vacío LVDT 2

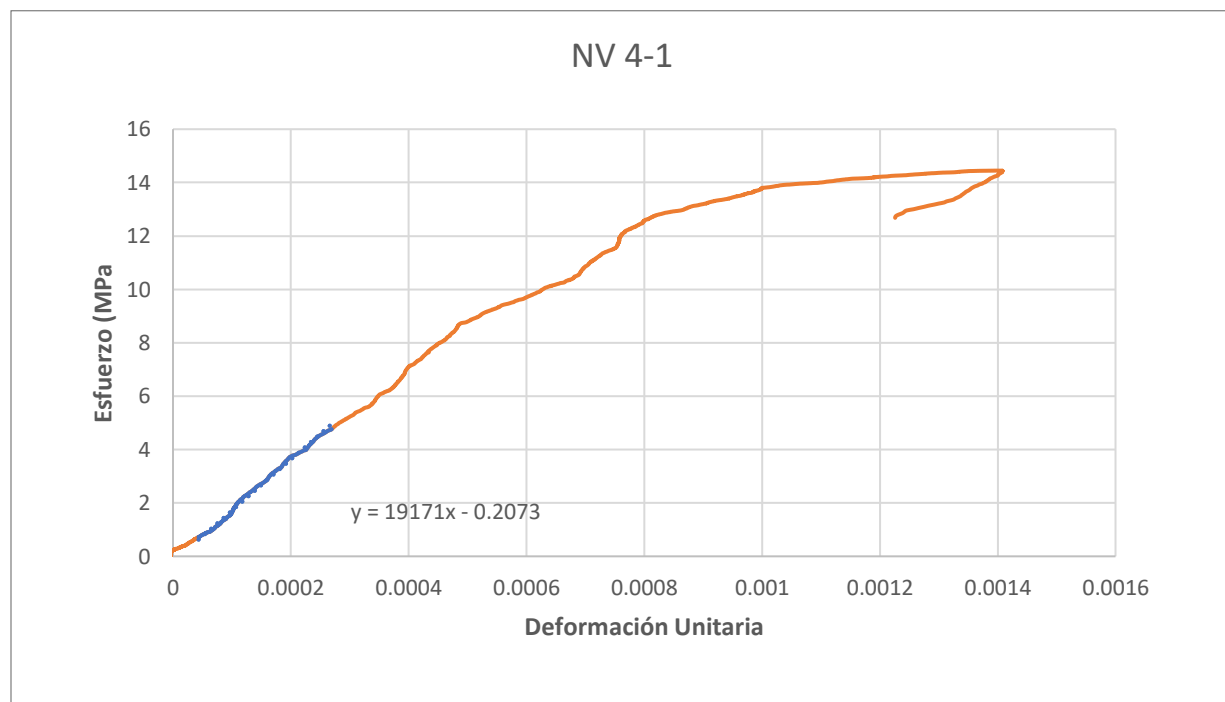


Figura A 60. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero N vacío LVDT 1

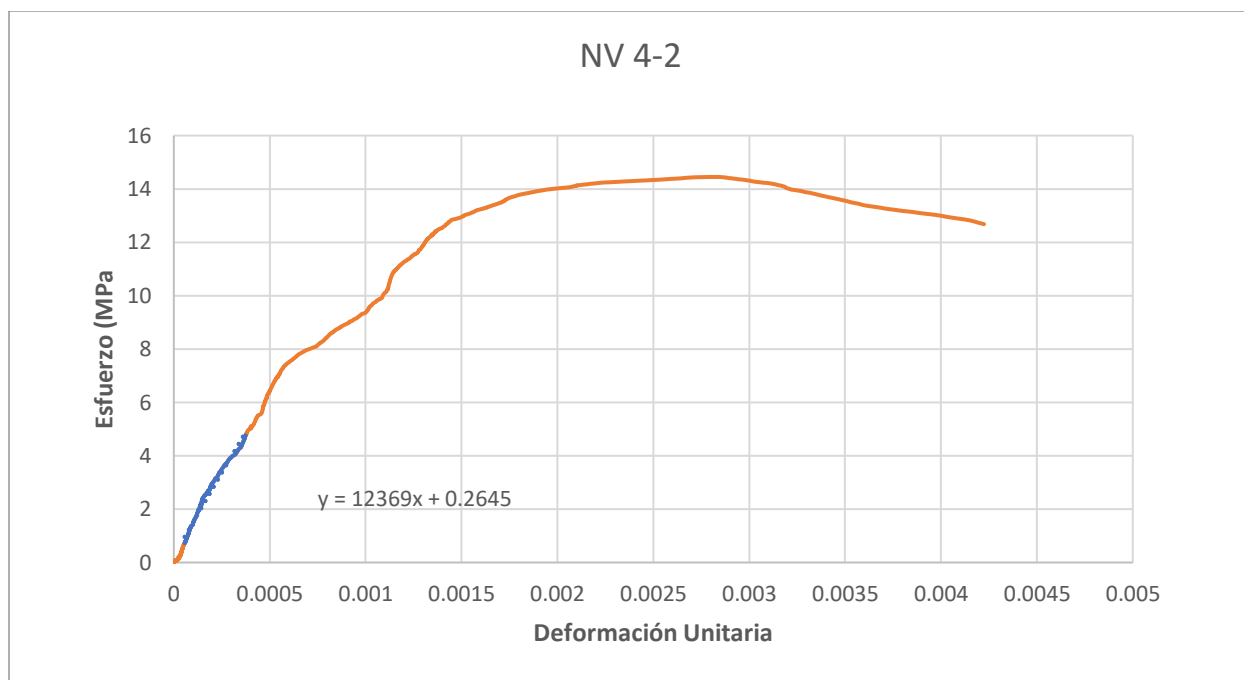


Figura A 61. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero N vacío LVDT 2

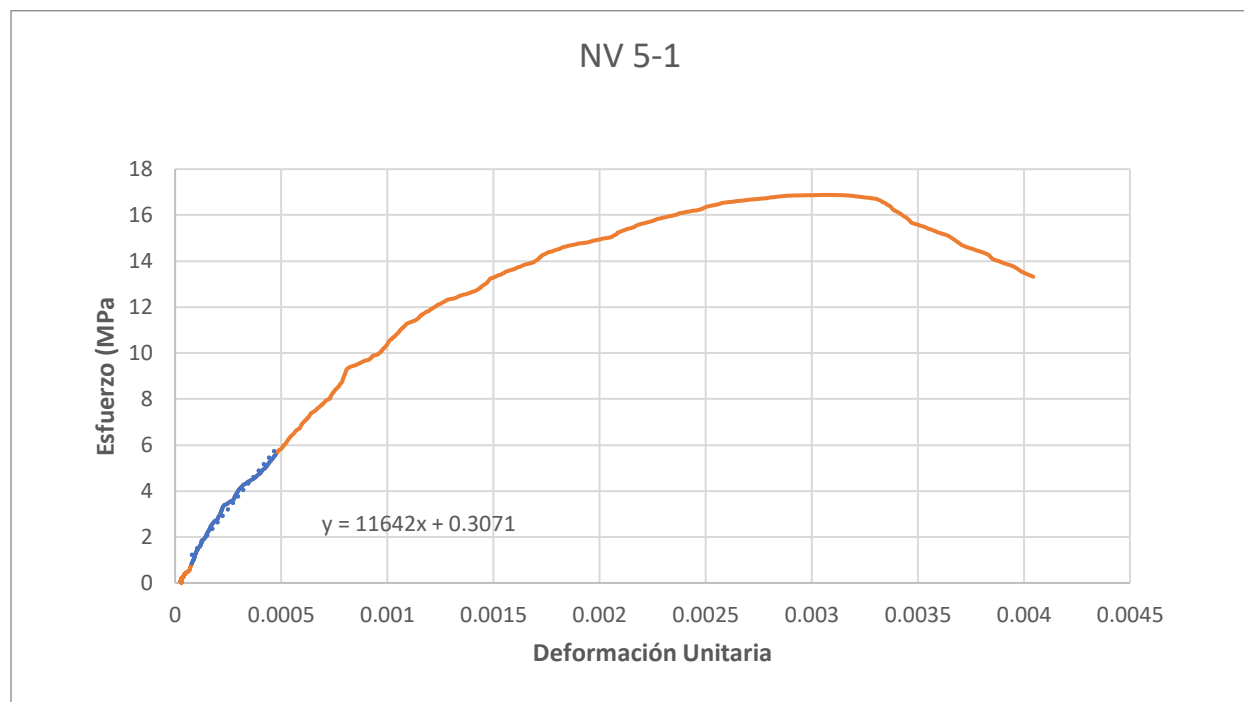


Figura A 62. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero N vacío LVDT 1

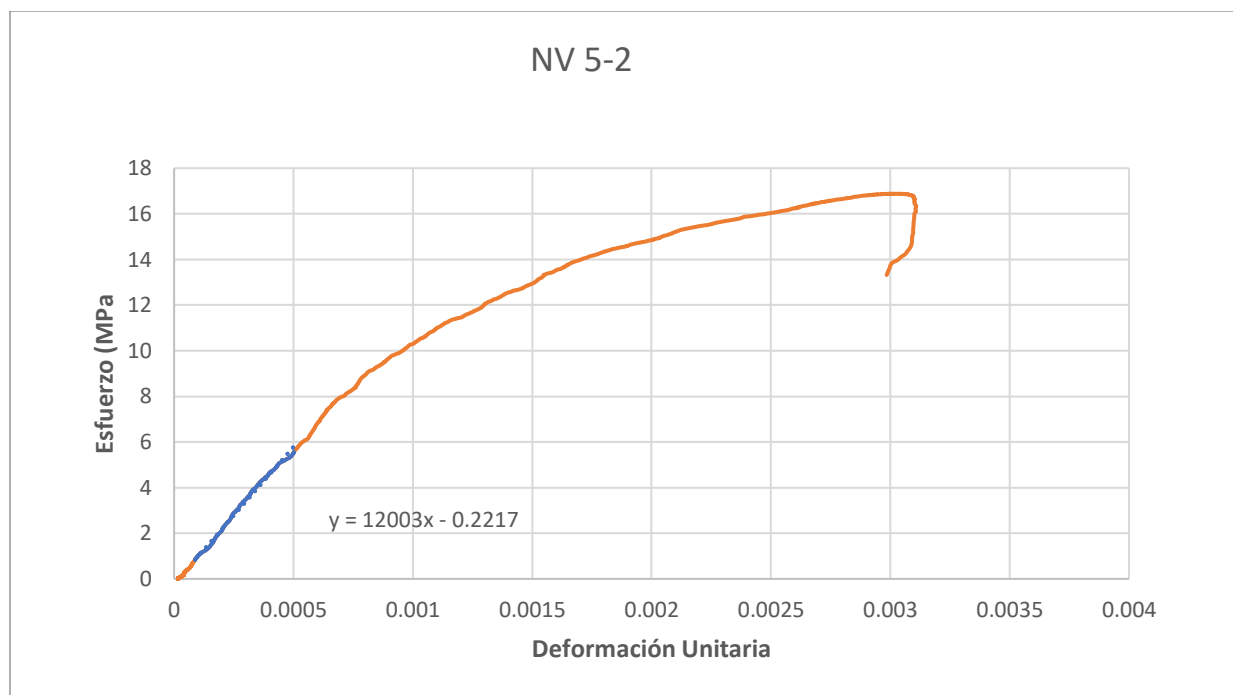


Figura A 63. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero N vacío LVDT 2

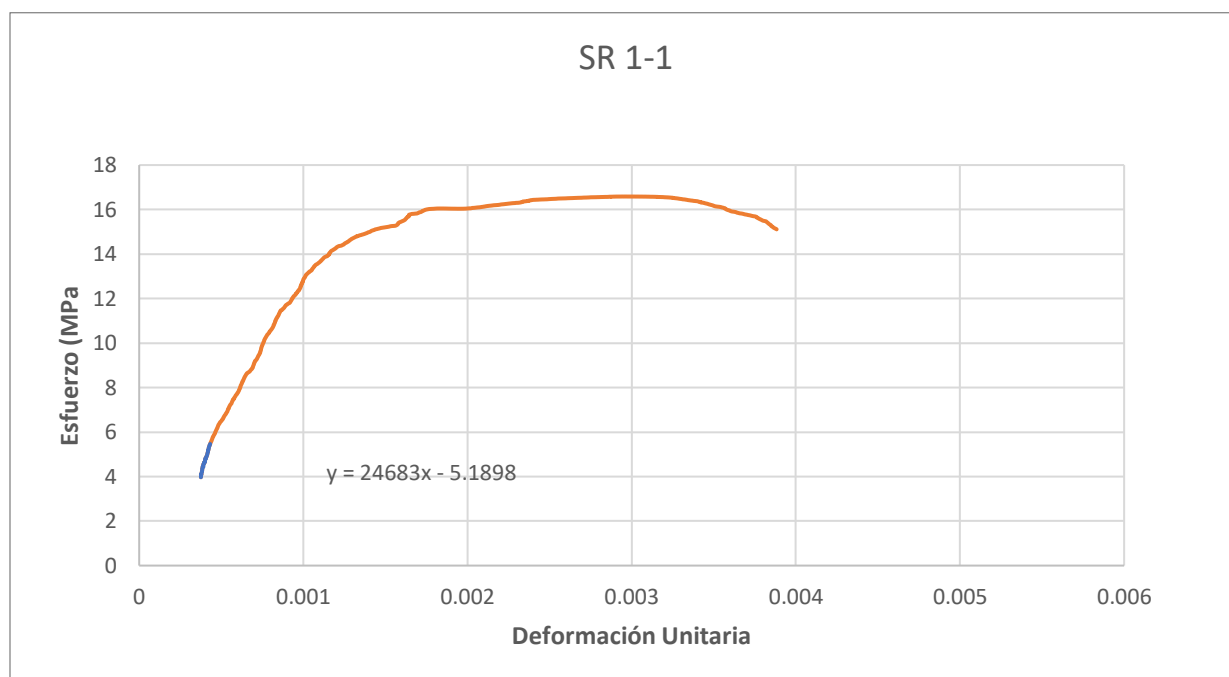


Figura A 64. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero S relleno LVDT 1

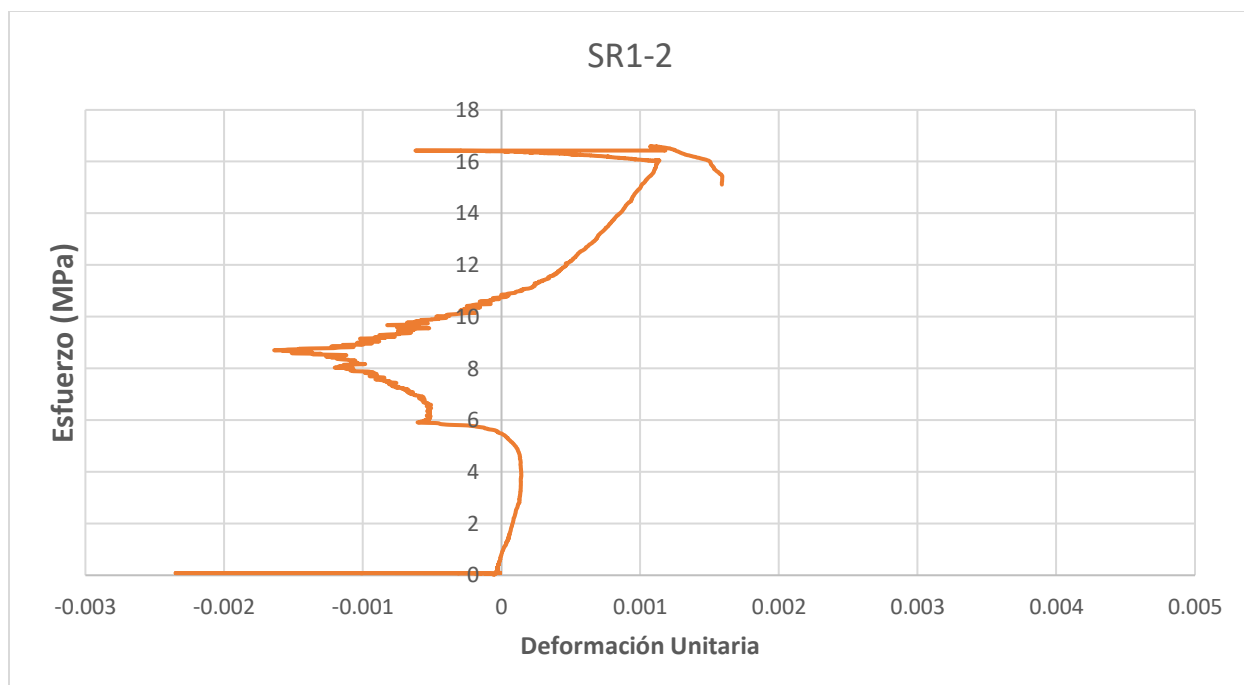


Figura A 65. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero S relleno LVDT 2

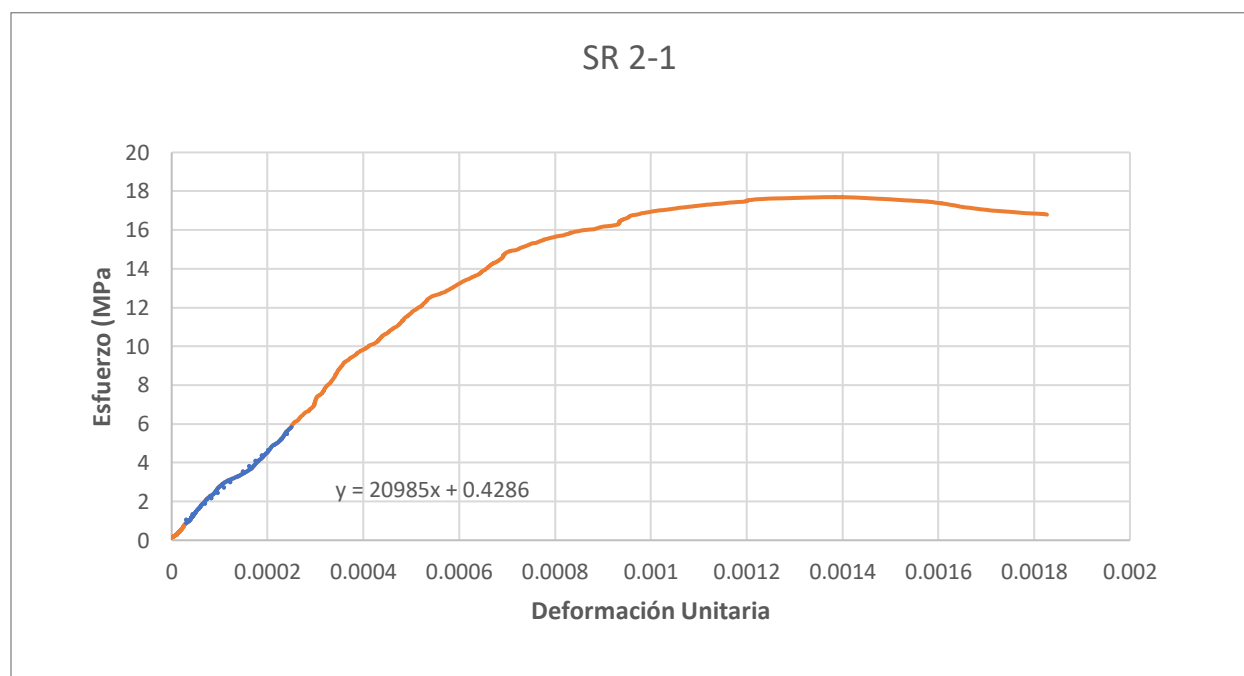


Figura A 66. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero S relleno LVDT 1

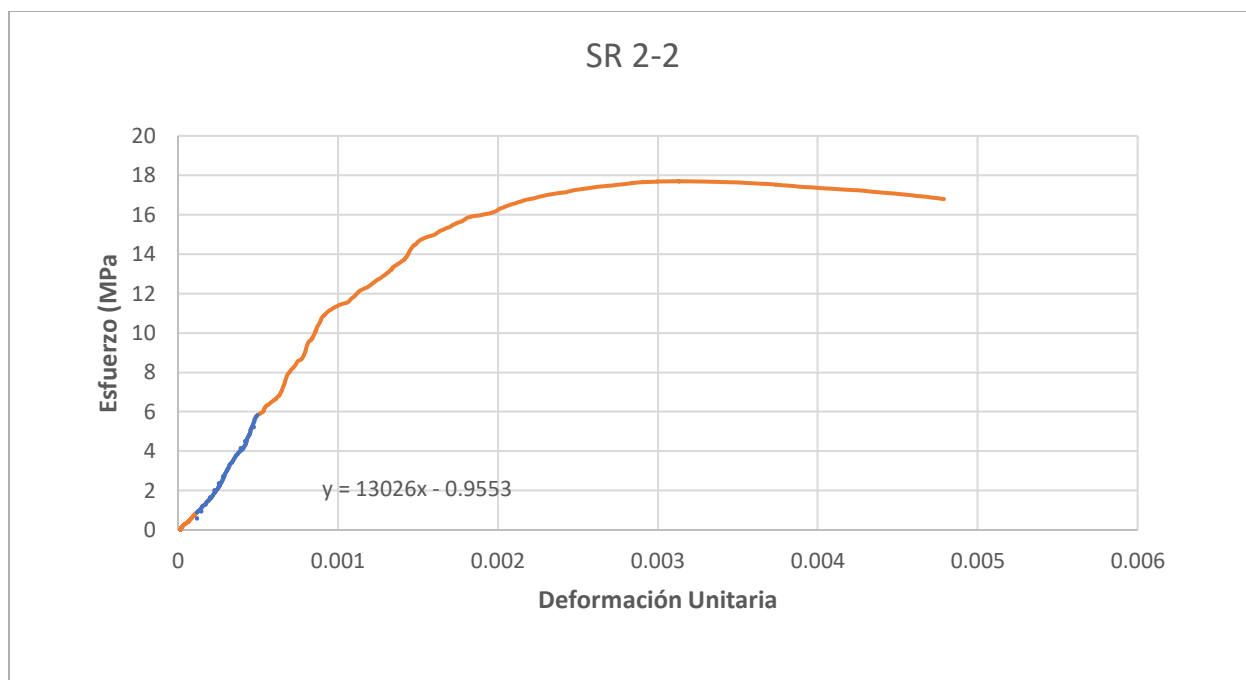


Figura A 67. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero S relleno LVDT 2

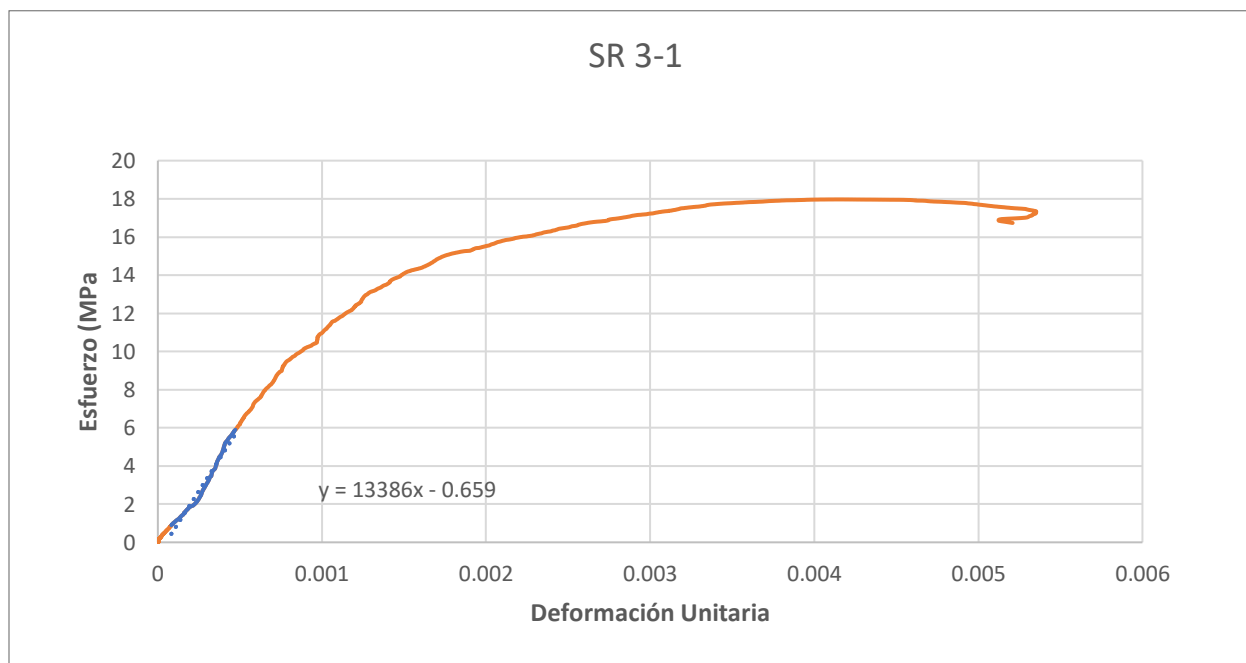


Figura A 68. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero S relleno LVDT 1

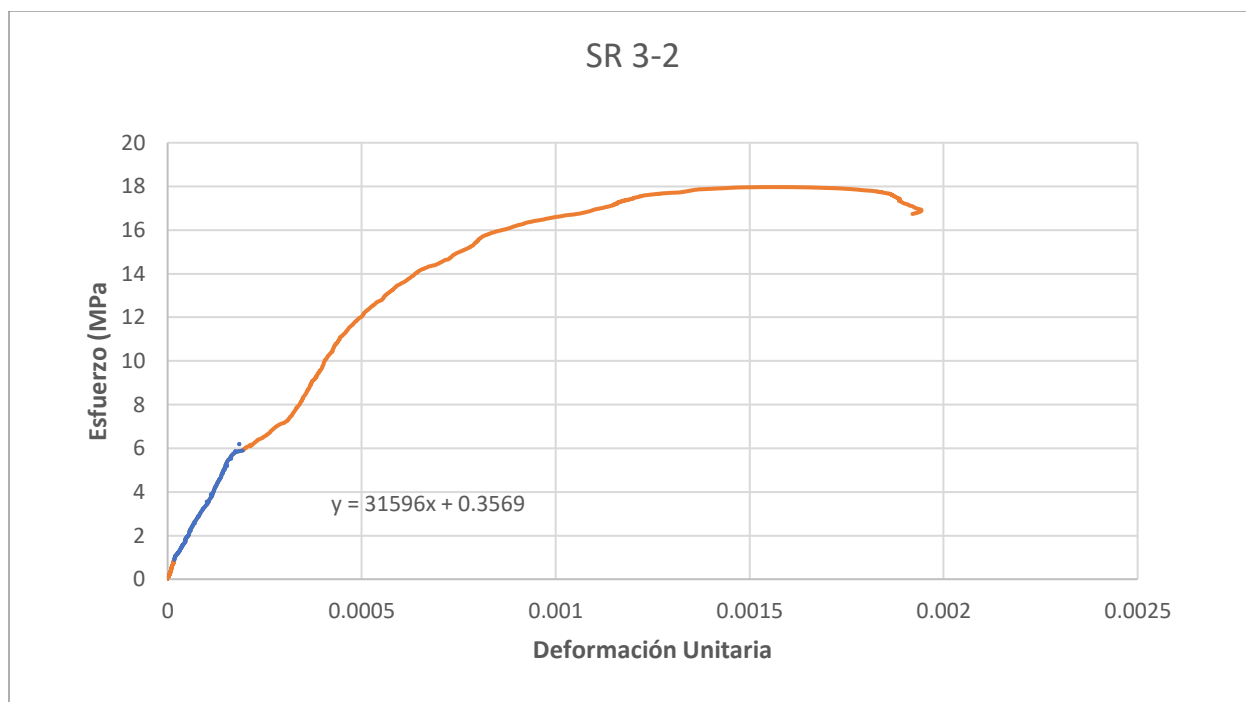


Figura A 69. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero S relleno LVDT 2

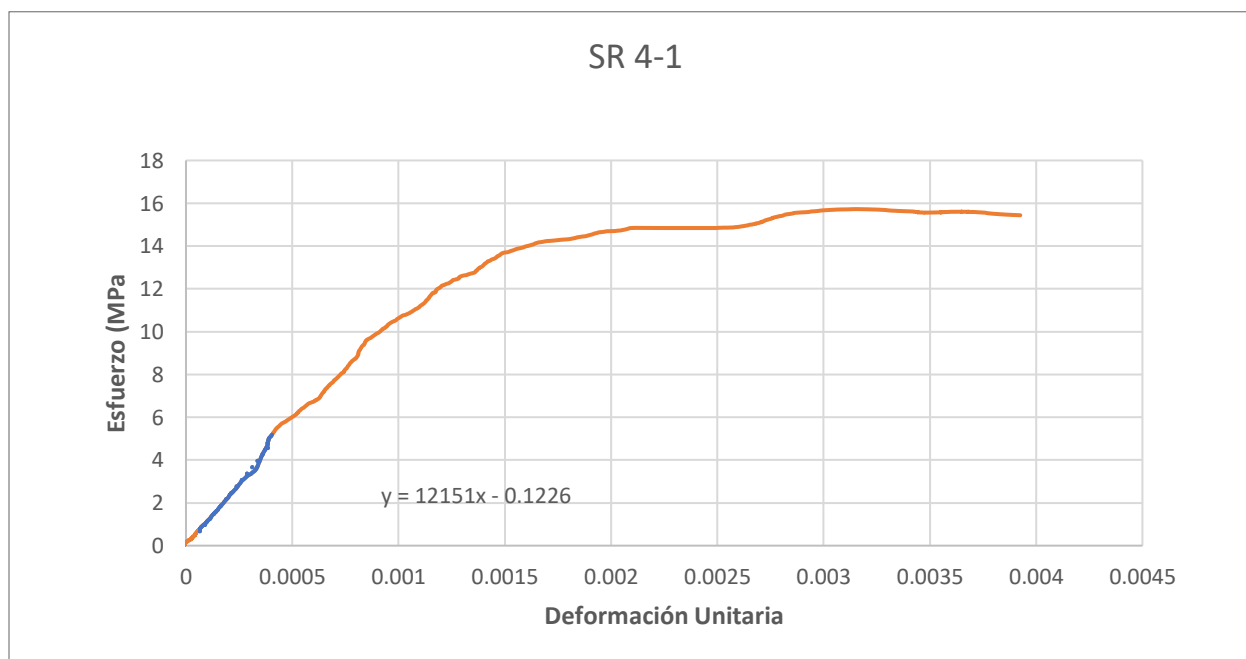


Figura A 70. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero S relleno LVDT 1

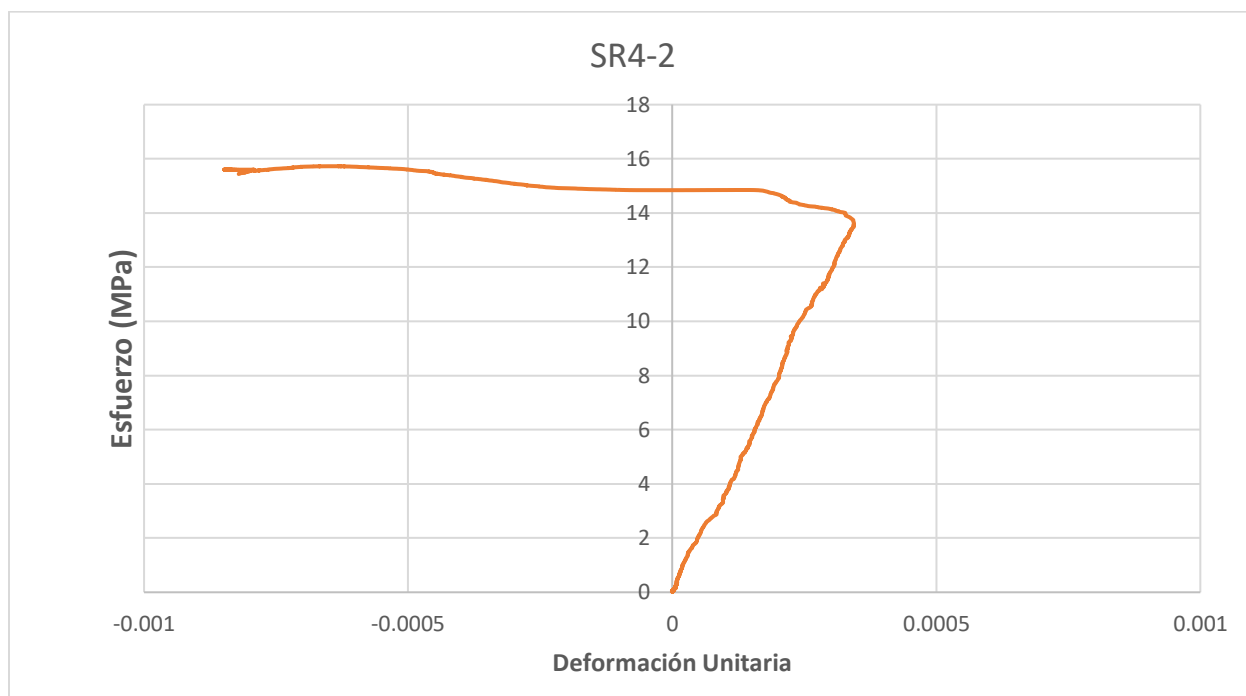


Figura A 71. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero S relleno LVDT 2

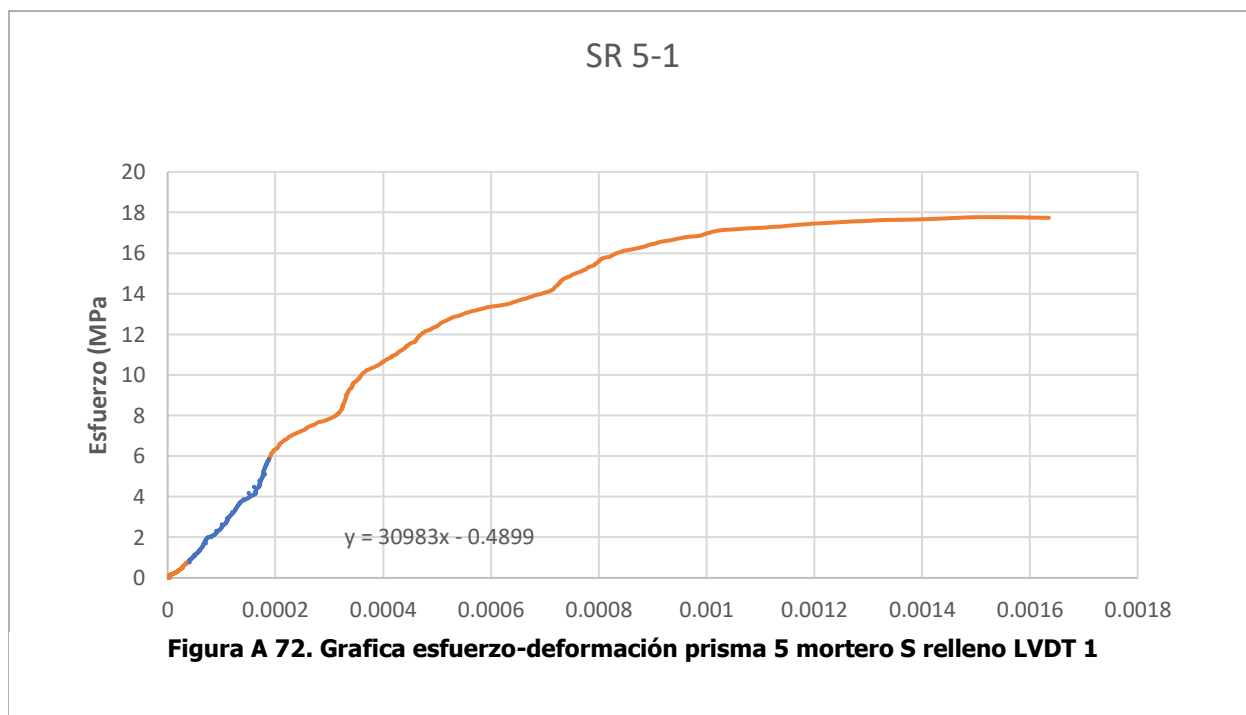


Figura A 72. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero S relleno LVDT 1

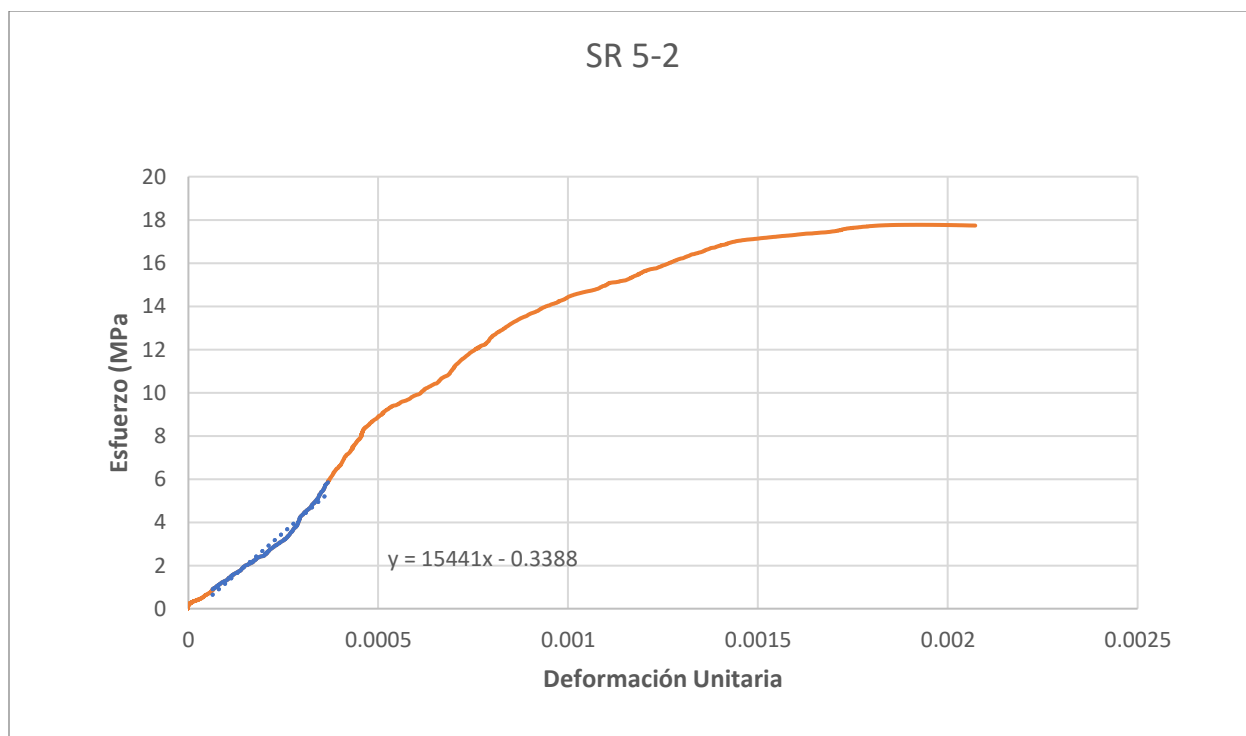


Figura A 73. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero S relleno LVDT 2

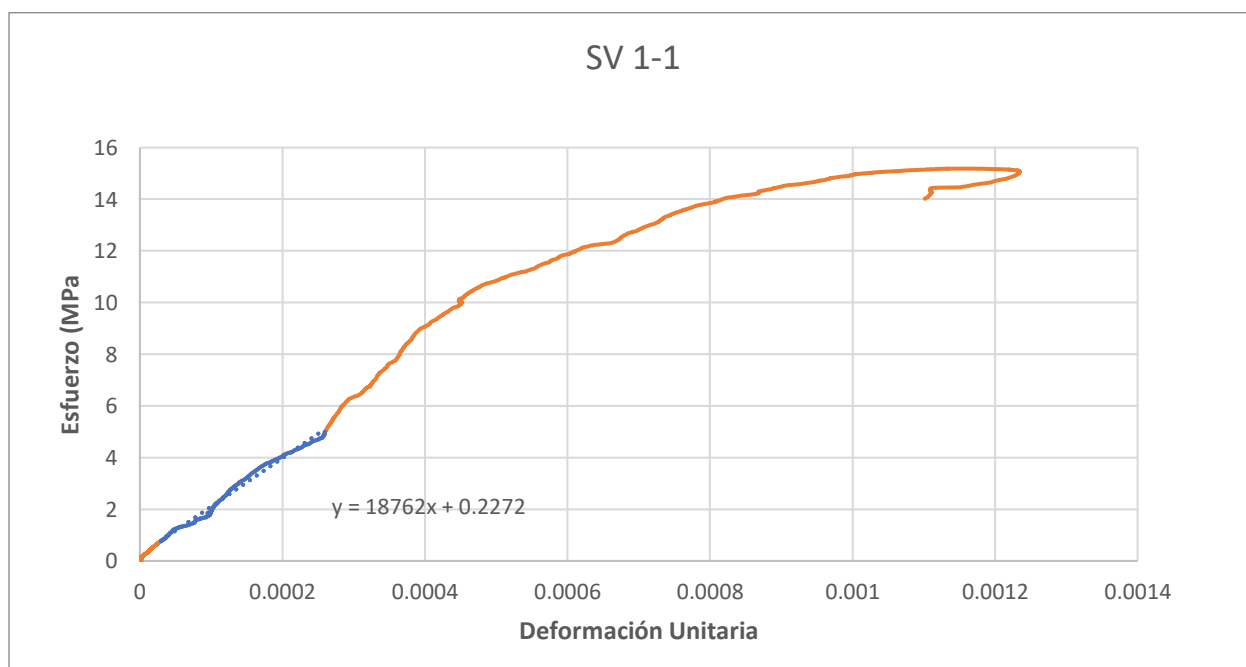


Figura A 74. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero S vacío LVDT 1

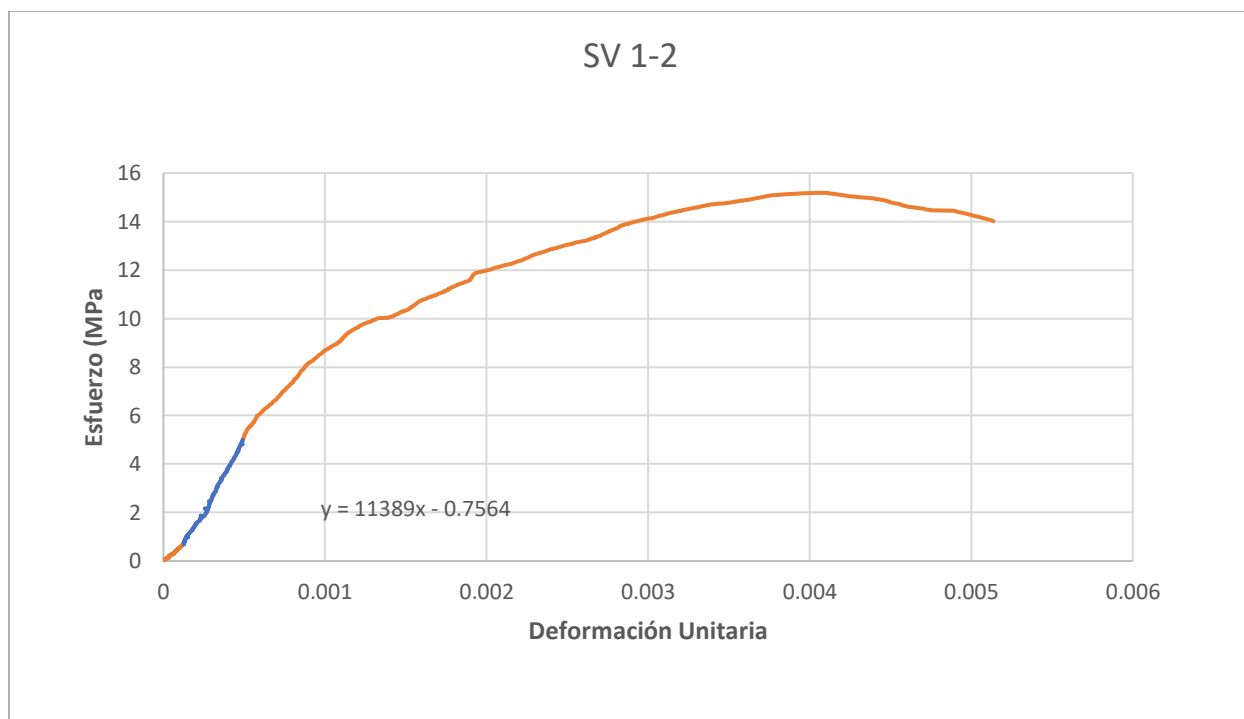


Figura A 75. Grafica esfuerzo-deformación prisma 1 mortero S vacío LVDT 2

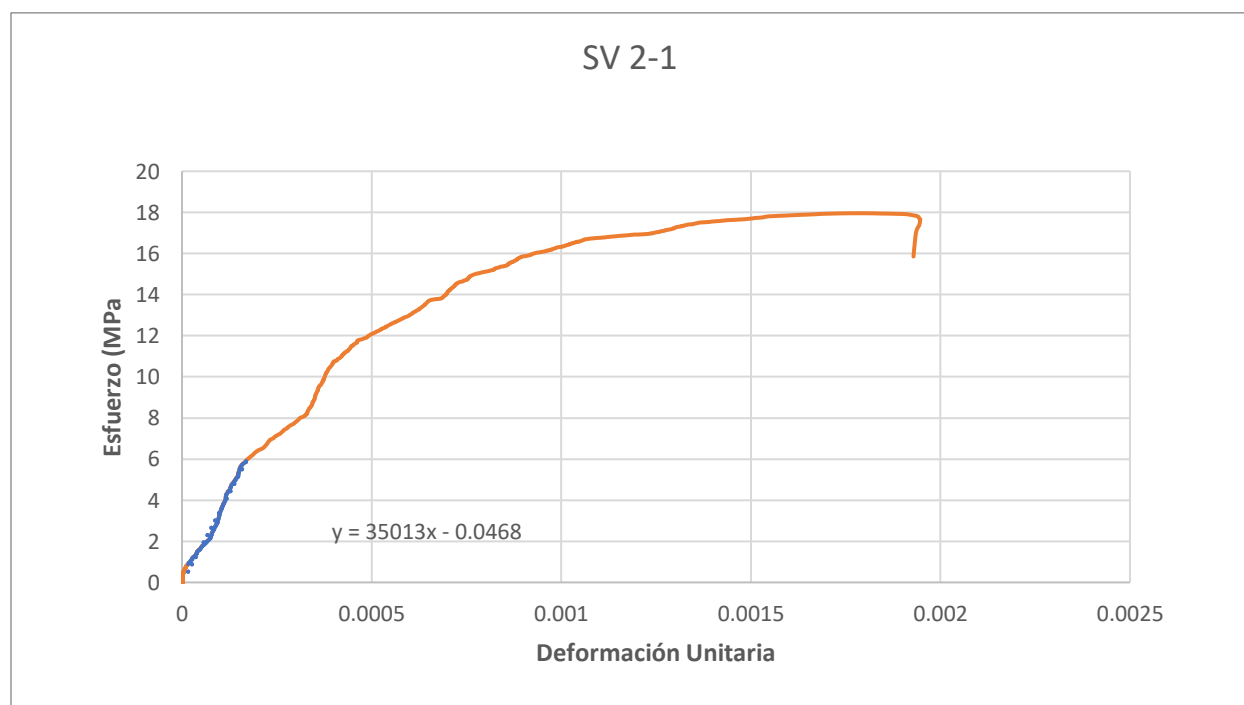


Figura A 76. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero S vacío LVDT 1

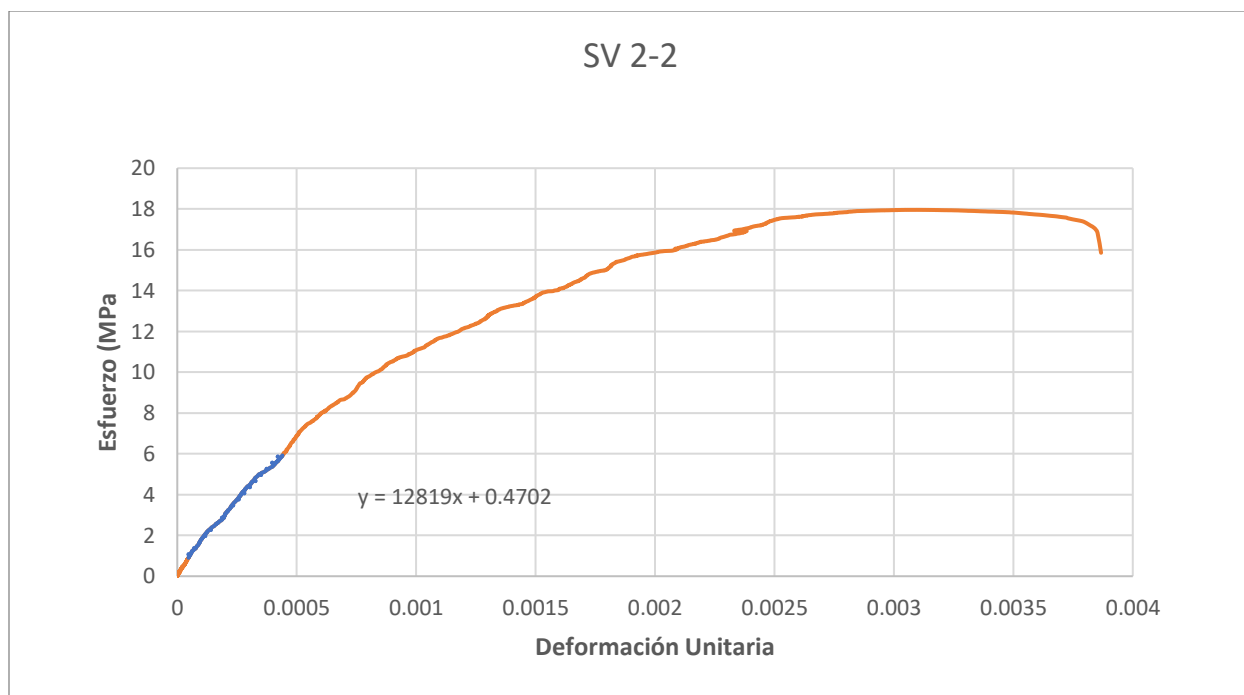


Figura A 77. Grafica esfuerzo-deformación prisma 2 mortero S vacío LVDT 2

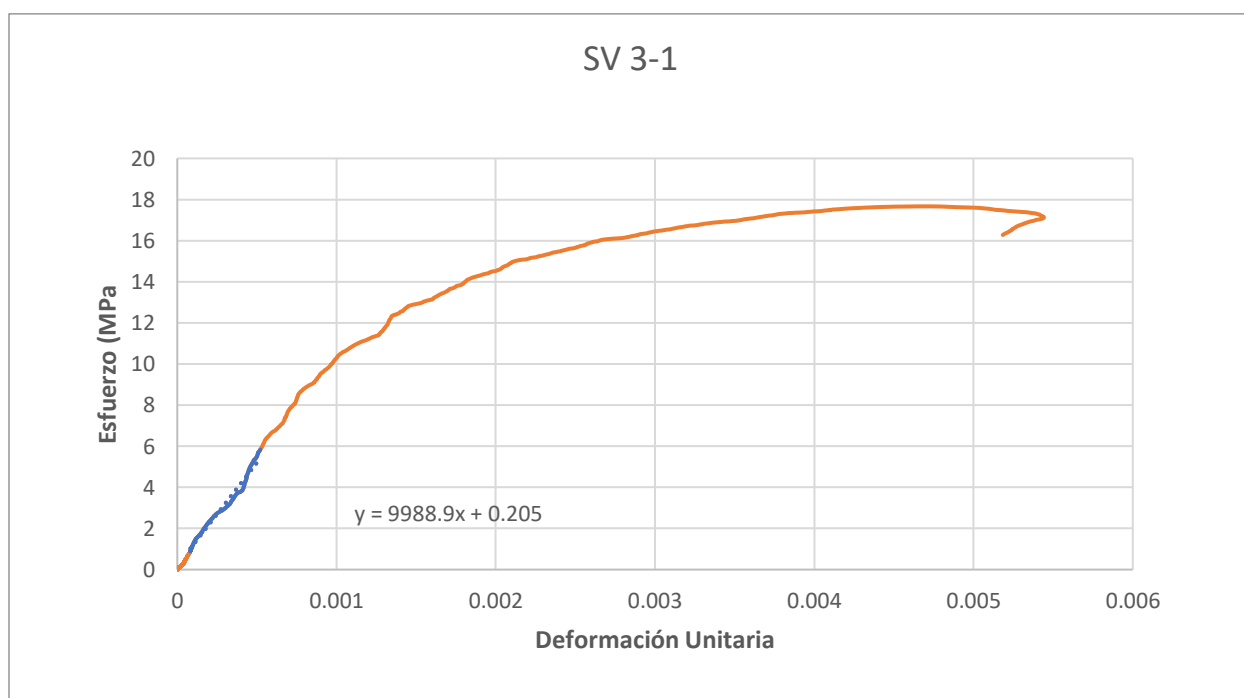


Figura A 78. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero S vacío LVDT 1

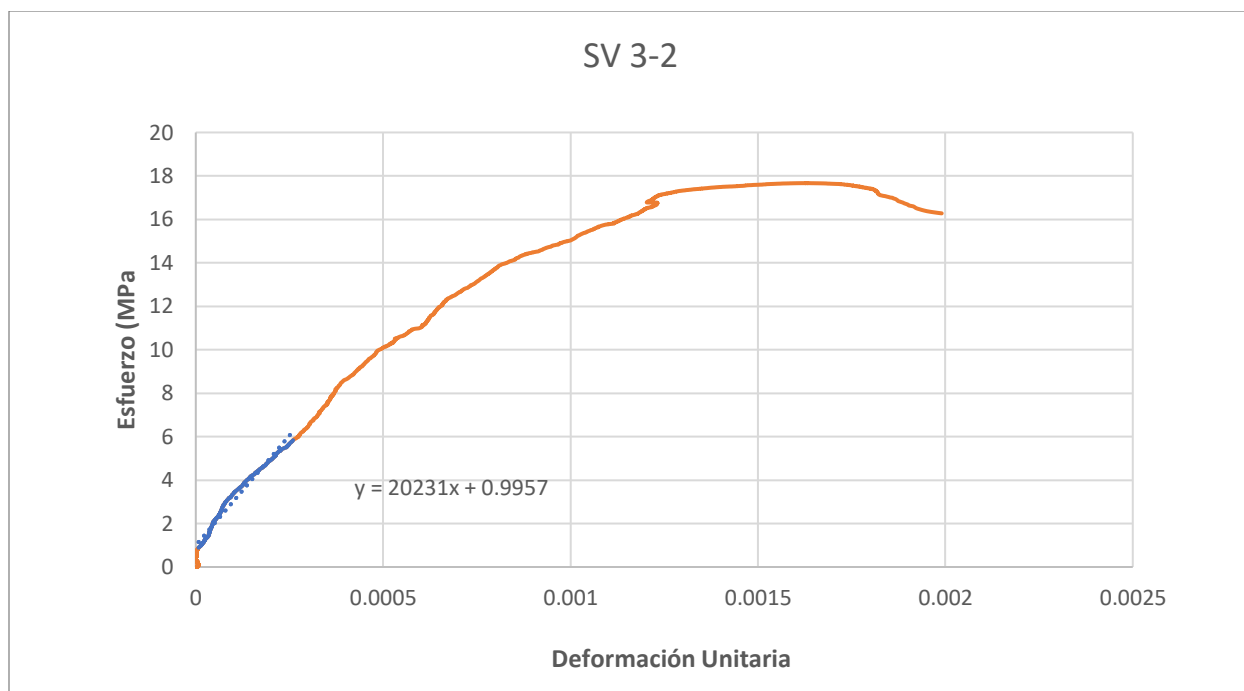


Figura A 79. Grafica esfuerzo-deformación prisma 3 mortero S vacío LVDT 2

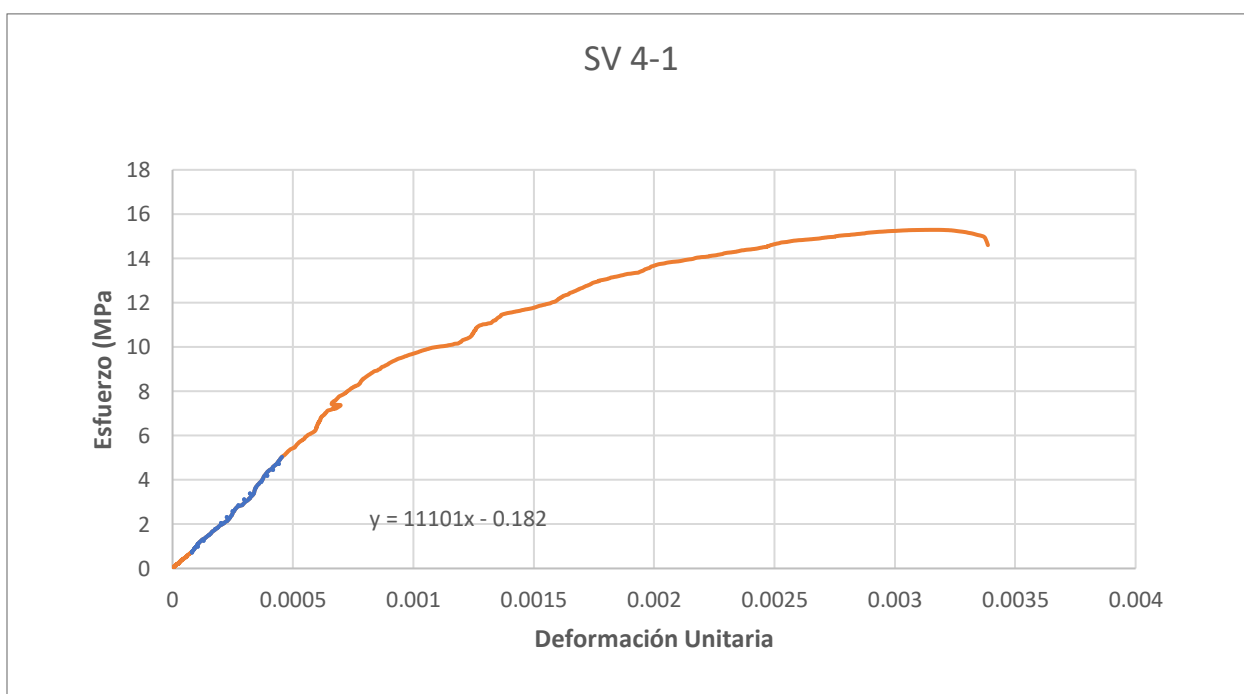


Figura A 80. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero S vacío LVDT 1

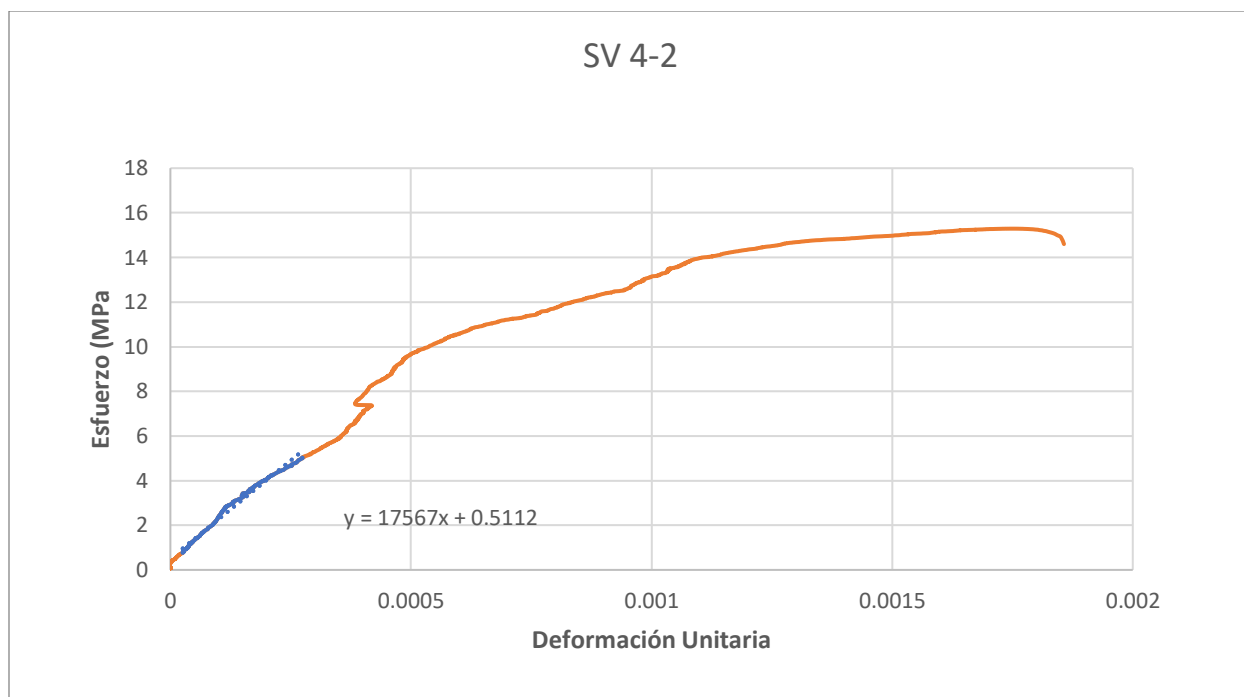


Figura A 81. Grafica esfuerzo-deformación prisma 4 mortero S vacío LVDT 2

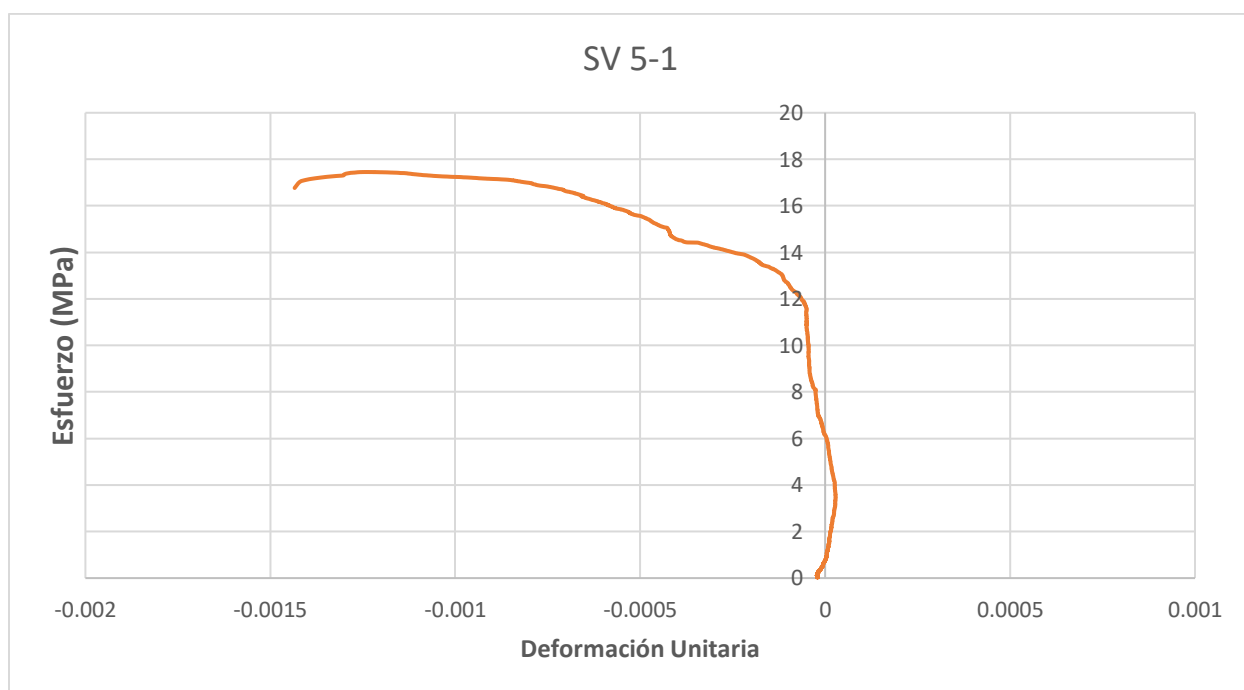


Figura A 82. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero S vacío LVDT 1

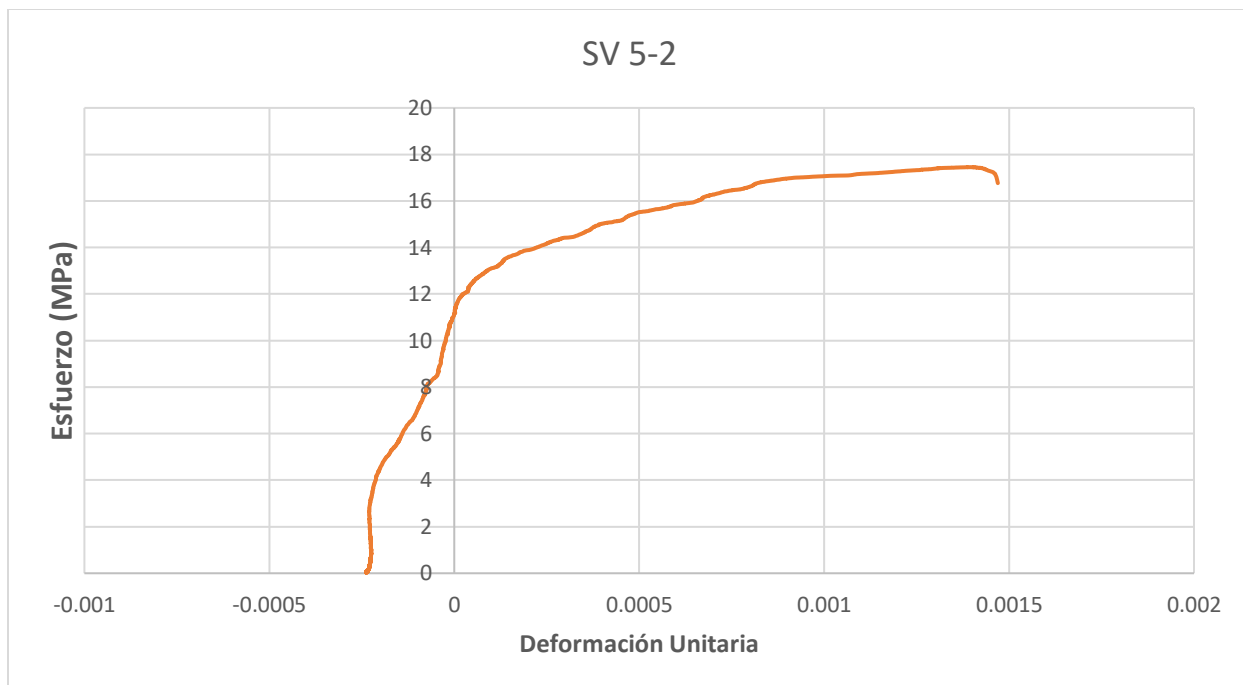


Figura A 83. Grafica esfuerzo-deformación prisma 5 mortero S vacío LVDT 2

A.5. Curvas módulo de elasticidad y esfuerzos en los distintos prismas

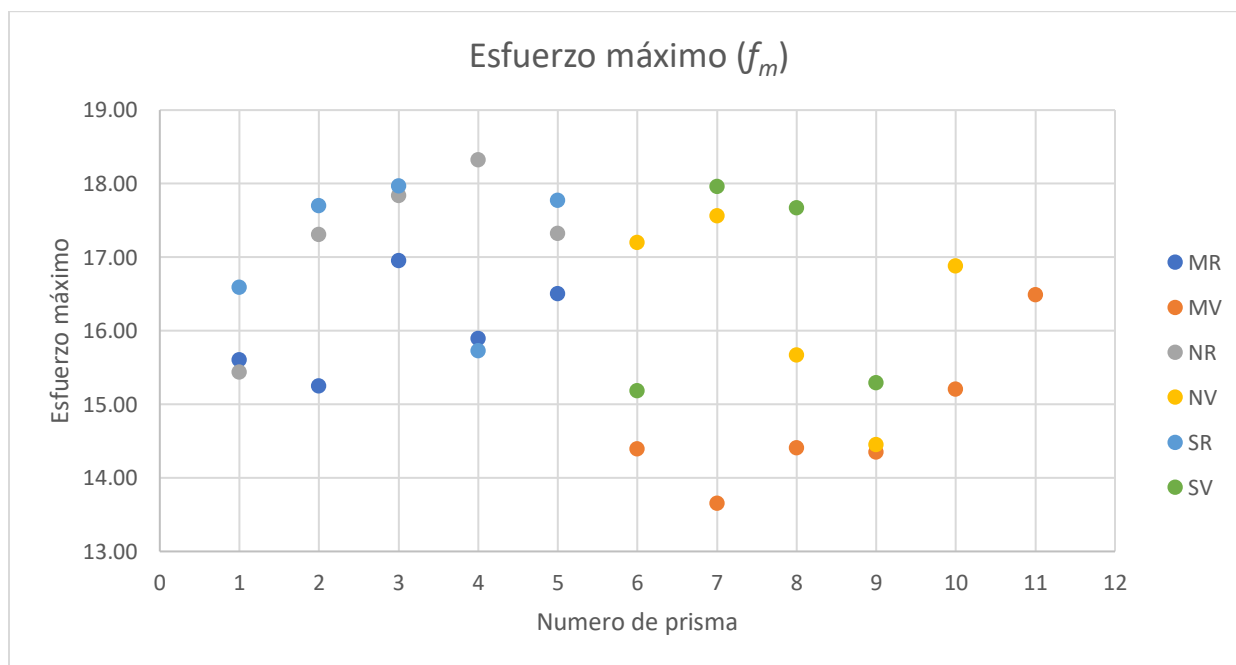


Figura A 84. Valores de esfuerzo máximo en los diferentes prismas

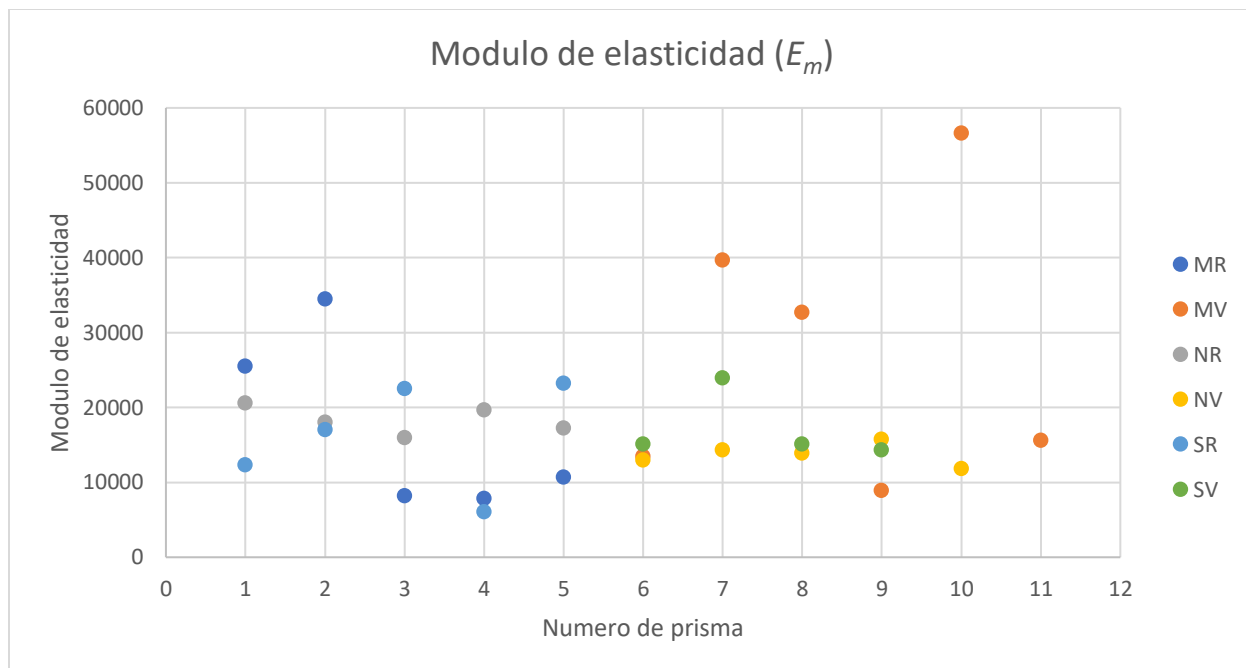


Figura A 85. Valores de módulo de elasticidad en los diferentes prismas

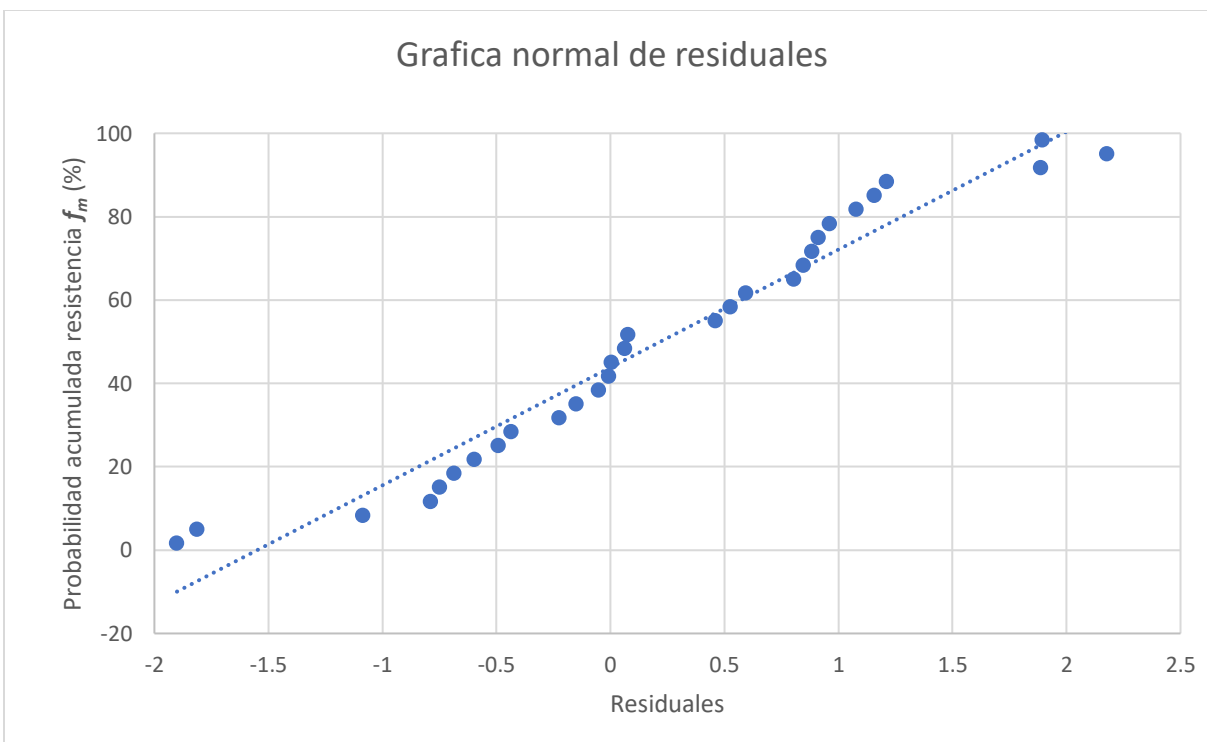


Figura A 86. Grafica para verificar una tendencia normal en los residuales de resistencia

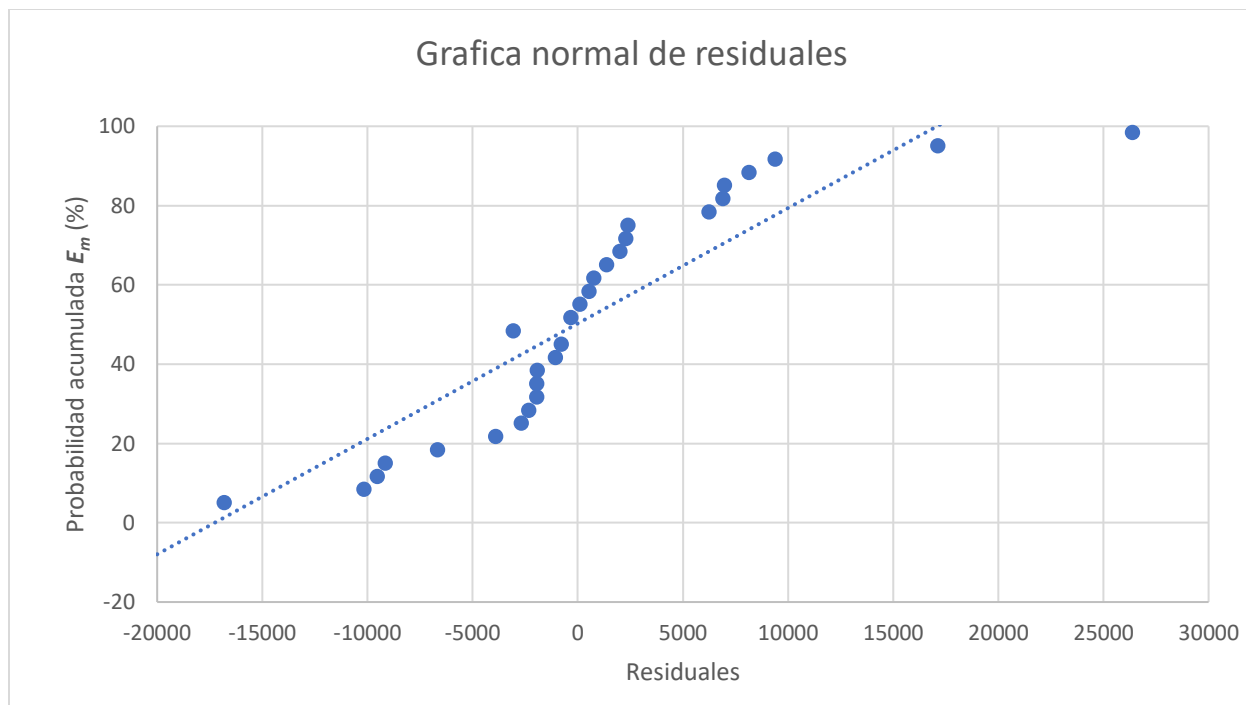


Figura A 87. Grafica para verificar una tendencia normal en los residuales de módulo de elasticidad