ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

PILLAJO YUGCHA WILSON STALIN
wilson.pillajo@epn.edu.ec
VALDIVIESO ARCOS WILMAN ALEXIS
wilman.valdivieso@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO M.Sc.
maria.corream@epn.edu.ec

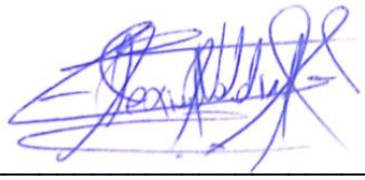
CODIRECTOR: ING. LUIS TINERFE HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ Ph.D.
luis.hernandezr@epn.edu.ec

Quito, octubre 2022

DECLARACIÓN

Nosotros, **Wilson Stalin Pillajo Yugcha** y **Wilman Alexis Valdivieso Arcos,** declaramos que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA **WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Wilson Stalin Pillajo Yugcha** y **Wilman Alexis Valdivieso Arcos**, bajo mi supervisión.

ING. MARÍA BELÉN CORREA M.Sc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mi madre Bachita, por ser el pilar fundamental en este logro que hoy finalizo, por su amor, dedicación, esfuerzo y su apoyo incondicional a sus cuatro hijos.

A mis hermanos Manuel, Juan'k y Angel por cuidarme y guiarme como un hijo, por apoyarme en todos los aspectos posibles en esta etapa de mi vida, por estar siempre pendiente de mí.

A mis amigos, Santiago, Edison, Darío, Paúl, Víctor y Andrés por su ayuda para que la universidad sea una etapa feliz de mi vida. Por las anécdotas y consejos que compartieron conmigo y que vivirán dentro de mi para siempre.

A mi compañero de tesis Alexis Valdivieso, por el esfuerzo y dedicación para realizar la tesis, por su amistad y ayuda para poder llegar al final de la época universitaria.

A mi directora de tesis, Ing. María Belén Correa, por ser partícipe en el trabajo realizado y por su orientación para que finalice de la mejor manera. Por los conocimientos transmitidos a lo largo de la carrera.

Quisiera también expresar mis más sinceros agradecimientos al Ing. Alfredo Brugués por su ayuda y colaboración.

Wilson Pillajo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre, ya que gracias a su esfuerzo y sacrificio sacó adelante a todos sus hijos nos dio una vida digna, nos formó y nos hizo profesionales.

Agradezco a mi hermana Gabriela por estar siempre apoyándome en todo este proceso.

Agradezco a mi amiga y compañera Laura Mejía por haber formado parte de ésta hermosa etapa y haber dado parte de su tiempo y dedicación en la búsqueda del objetivo.

Agradezco a todos mis amigos que conformamos un excelente equipo de trabajo, que siempre estuvimos juntos para ayudarnos y vivir nuestra hermosa época de universitarios desde que empezamos en este sueño, hasta hoy que es una realidad.

Darío Carabali,

Andrés Cabezas,

Santiago Manobanda,

Paul López,

Edison Punina,

Santiago Delgado,

Rubén Aranda.

A Wilson Pillajo. Gracias, mi amigo, compañero y hermano por tu dedicación para la elaboración de la tesis. Por tu amistad incondicional en todos estos años.

Los amo a todos bbs.

Las anécdotas, experiencias vividas y nuestro centro de estudios EL CASTILLO son recuerdos que los llevaremos hasta la eternidad

Gracias a la madre de Wilson, doña Bachita, por acogernos en su hogar y atendernos cuál madre atiende y se preocupa por sus hijos, pero sobre todo gracias por aguantar a la manada de borrachos.

¡¡Venceremos!!

Alexis Valdivieso

DEDICATORIA

A mi madre y mis hermanos, que han sabido formarme con buenos sentimientos y valores.

A mis tíos, Francisco Yugcha y María Yugcha que desde el cielo sé que siempre están pendientes de mí.

Wilson Pillajo

DEDICATORIA

Se lo dedicó a mi amada madre.

Alexis Valdivieso

ÍNDICE

DECLARACIÓN I

CERTIFICACIÓN II

AGRADECIMIENTO III

DEDICATORIA VI

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 ANTECEDENTES 1

1.2 OBJETIVOS 2

1.2.1 OBJETIVO GENERAL 2

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2

1.3 ALCANCE 2

1.4 JUSTIFICACIÓN 3

1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA 3

1.4.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA 3

1.4.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA 4

1.5 ESQUEMA METODOLOGÍA ESTUDIO 5

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO 6

2.1 ESTADO DEL ARTE 6

2.2 DEFINICIÓN MAMPOSTERÍA 10

2.3 MATERIALES Y EQUIPOS.....11

2.3.1 BLOQUE DE HORMIGÓN.....11

2.3.2 MORTERO DE PEGA 13

2.3.3 LVDT (TRANSFORMADOR DIFERENCIAL DE VARIACIÓN LINEAL) 15

2.3.4 MARCO DE CARGA.....18

2.4 PROPIEDADES DE LA MAMPOSTERÍA Y SUS COMPONENTES.....18

2.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE (f'b) 19

2.4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO (f'j) 19

2.4.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA (f'_m)...20

2.4.4 RESISTENCIA A CORTE DE LA MAMPOSTERÍA (τm).....21

2.4.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA (E_m).....22

2.4.6 MÓDULO DE CORTE DE LA MAMPOSTERÍA (G_m) 23

2.5 MODOS DE FALLA DE LA MAMPOSTERÍA 23

2.5.1 FALLA DE CORTE POR DESLIZAMIENTO 24

2.5.2 FALLA DE CORTE 24

2.5.3 FALLA DE FLEXIÓN 24

2.5.4 FALLA DE APLASTAMIENTO POR COMPRESIÓN DIAGONAL.....24

2.5.5 FALLA DE TENSIÓN DIAGONAL.....25

2.6 NORMATIVA.....25

2.6.1 NEC–SE–MP MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL.....25

2.6.2 NORMAS NTE.....26

2.6.3 ASTM 27

CAPÍTULO 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....28

3.1 MUESTREO Y MONTAJE 28

3.1.1 LOTES DE BLOQUES.....28

3.1.2 ARENA Y CEMENTO 31

3.1.3 ALMACENAMIENTO DE BLOQUES, ARENA, CEMENTO. 32

3.1.4 NÚMERO DE MUESTRAS A ENSAYARSE 33

3.2 ENSAYOS DE COMPONENTES 36

3.2.1 ENSAYO DE ABSORCIÓN, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD DEL BLOQUE.....36

3.2.2 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE UNIDADES DE BLOQUE (f'_b) .41

3.2.3 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE LA ARENA 43

3.2.4 DOSIFICACIÓN DE MORTERO DE PEGA 46

3.2.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTERO DE PEGA (f'_j) 47

3.3 ENSAYO DE ESPECÍMENES DE MAMPOSTERÍA.....50

3.3.1 FABRICACIÓN DE MURETES.....50

3.3.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MURETES (f'_m) 53

3.3.3 ENSAYO DE TENSIÓN DIAGONAL EN MURETES (τm) 55

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS Y RESULTADOS 57

4.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS.....57

4.1.1 TRATAMIENTO DE DATOS SEGÚN ASTM E178 – 16 57

4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES.....59

4.2.1 ENSAYO DE ABSORCIÓN, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD DEL BLOQUE.....59

4.2.2 ENSAYO COMPRESIÓN UNIDADES DE BLOQUE.....62

4.2.3 ENSAYO GRANULOMÉTRICO (ARENA) 64

4.2.4 ENSAYO RESISTENCIA CUBOS DE MORTERO 66

4.2.5 ENSAYO COMPRESIÓN EN MURETES DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE.....68

4.2.6 TENSIÓN DIAGONAL EN MAMPOSTERÍA DE BLOQUE.....82

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FASE EXPERIMENTAL 93

4.3.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL BLOQUE.....93

4.3.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA 94

4.3.3 RESISTENCIA A CORTE DE LA MAMPOSTERÍA VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA.....96

4.3.4 MÓDULO DE CORTE DE LA MAMPOSTERÍA VS MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA 97

4.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NEC-SE-MP 97

4.4.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD.....97

4.4.2 MÓDULO DE CORTE 98

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....99

5.1 CONCLUSIONES 99

5.2 RECOMENDACIONES 100

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101

ANEXOS 105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Investigaciones internacionales en orden cronológico 6

Tabla 2 Investigaciones en Ecuador en orden cronológico 9

Tabla 3 Clasificación del bloque según su uso 12

Tabla 4 Clasificación del bloque por su densidad 12

Tabla 5 Absorción máxima de agua en bloques Clase A 12

Tabla 6 Clasificación del bloque por su resistencia a la compresión simple.....13

Tabla 7 Tipos de materiales cementantes 14

Tabla 8 Dosificación para resistencia mínima a compresión en mortero.....19

Tabla 9 Unidades de bloques para ensayo de Absorción, Densidad y Contenido de Humedad 33

Tabla 10 Dimensiones promedio de las unidades de bloques por lote para ensayo compresión simple.....34

Tabla 11 Dimensiones promedio de los muretes por lote (Compresión).....36

Tabla 12 Dimensiones promedio de los muretes por lote (Tensión diagonal) ..36

Tabla 13 Límites de granulometría áridos finos 45

Tabla 14 Dosificación de morteros mediante ensayo de flujo 46

Tabla 15 Esfuerzo máximo a compresión para diferentes dosificaciones de mortero 46

Tabla 16 Dosificación para resistencia mínima a compresión en mortero 47

Tabla 17 Tolerancia admisible para la edad de ensayo de cubos de mortero..48

Tabla 18 Valores críticos para “T”. 58

Tabla 19 Datos obtenidos ensayo Absorción, Contenido de humedad y Densidad 59

Tabla 20 Resultados de los ensayos realizados.....61

Tabla 21 Clasificación según su densidad de los lotes de bloques.....62

Tabla 22 Resultados obtenidos en el ensayo a compresión de las unidades de bloque 62

Tabla 23 Análisis estadístico ASTM E178 – 16, unidades de bloque por lotes 63

Tabla 24 Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, unidades de bloque lote B 64

Tabla 25 Clasificación de bloques según su resistencia y su uso. 64

Tabla 26 Resultados obtenidos ensayo granulométrico 65

Tabla 27 Resultados ensayo cubos de mortero.....66

Tabla 28 Análisis estadístico ASTM E178 – 16, cubos de mortero.....67

Tabla 29 Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, cubos de mortero. .67

Tabla 30 Resultados obtenidos en el ensayo a compresión 68

Tabla 31 Análisis estadístico ASTM E178 – 16, muretes de mampostería por lotes del ensayo a compresión.....71

Tabla 32 Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, muretes de mampostería por lotes 72

Tabla 33 Resistencia a compresión promedio de los muretes de mampostería 72

Tabla 34 Módulos de elasticidad de mampostería de bloque 76

Tabla 35 Análisis estadístico ASTM E178 – 16, módulo de elasticidad 77

Tabla 36 Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, módulo de elasticidad 78

Tabla 37 Módulo de elasticidad promedio de cada lote de bloque.....79

Tabla 38 Módulo de Poisson de mampostería de bloque 79

Tabla 39 Análisis estadístico ASTM E178 – 16, módulo de Poisson 80

Tabla 40 Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, módulo de Poisson81

Tabla 41 Módulo de Poisson promedio de los lotes de bloques 82

Tabla 42 Resultados obtenidos en el ensayo a tensión diagonal.....83

Tabla 43 Análisis estadístico ASTM E178 – 16, muretes de mampostería por lotes del ensayo a tensión diagonal 84

Tabla 44 Resistencia a tensión diagonal promedio de los muretes de mampostería 85

Tabla 45 Módulos de corte de mampostería de bloque 90

Tabla 46 Análisis estadístico ASTM E178 – 16, módulo de corte 91

Tabla 47 Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, módulo de corte 92

Tabla 48 Módulo de corte promedio de cada lote de bloque 92

Tabla 49 Correlación resistencia a la compresión mampostería vs módulo de elasticidad Clase A y Clase B 94

Tabla 50 Relación G_m/E_m obtenida de los ensayos.....97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama esquema metodología estudio.....5

Figura 2. Esquema físico de un LVTD 16

Figura 3. Esquema electrónico de un LVTD 16

Figura 4. Marco de carga CIV – EPN.....18

Figura 5. Falla típica en los muros de mampostería 20

Figura 6. Relación entre esfuerzo – deformación del mortero, la unidad y mampostería.....21

Figura 7. Distribución de esfuerzos por cortante: a) Esfuerzos horizontales; b) Esfuerzos verticales.....22

Figura 8. Módulo de corte mediante la curva esfuerzo cortante – deformación unitaria 23

Figura 9. Posibles modos de falla en un muro de mampostería.....24

Figura 10. Tipos de fallas en muretes de mampostería sujetos a tensión diagonal 25

Figura 11. Ubicación de la fábrica Prefabricados & Equipos 28

Figura 12. Lote de bloques A, B y C.....29

Figura 13. Ubicación Edificio La Previsora 29

Figura 14. Lote de bloques D 30

Figura 15. Ubicación ferretería.....30

Figura 16. Lote de bloques E'.....31

Figura 17. Ubicación lotes de bloques y arena 32

Figura 18. Ubicación cemento Holcim Fuerte Tipo GU 32

Figura 19. Esquema de murete de mampostería de bloque 35

Figura 20. Masa de la unidad como se recibe 37

Figura 21. Tanque de inmersión para saturación del bloque 37

Figura 22. Masa de la unidad saturada 38

Figura 23. Masa de la unidad sumergida.....38

Figura 24. Horno de secado 39

Figura 25. Unidades de bloques en el laboratorio 42

Figura 26. Refrentado unidades de bloques 42

Figura 27. Ensayo a compresión simple de los bloques 43

Figura 28. Muestra de arena para ensayo granulometría 44

Figura 29. Ensayo de granulometría de la arena. 44

Figura 30. Moldes cúbicos de mortero.....48

Figura 31. Tanques de almacenamiento de la cámara de curado 48

Figura 32. Cubo de mortero 49

Figura 33. Máquina de ensayo a compresión 49

Figura 34. Muretes construidos en patios del CIV – EPN. 51

Figura 35. Curado de los muretes de bloque.....51

Figura 36. Curado de los muretes de bloque.....52

Figura 37. Refrentado ensayo compresión.....52

Figura 38. Esquema colocación LVDTs ensayo compresión.....53

Figura 39. Colocación murete de bloque (Ensayo compresión).....54

Figura 40. Esquema colocación LVDTs ensayo tensión diagonal.....55

Figura 41. Colocación murete de bloque (Ensayo Tensión Diagonal) 56

Figura 42. Curva Granulométrica de la arena.....65

Figura 43. Modo de falla a compresión muretes mampostería lotes A, B y D.69

Figura 44. Modo de falla a compresión muretes mampostería lote C 69

Figura 45. Modo de falla a compresión muretes mampostería lote E' 70

Figura 46. Curvas esfuerzo – deformación unitaria de los lotes de muretes ensayo a compresión.....74

Figura 47. Líneas de tendencia y ecuaciones para obtener módulo elasticidad 75

Figura 48. Modo de falla a tensión diagonal muretes mampostería lote A, B, C y D 85

Figura 49. Modo de falla a tensión diagonal muretes mampostería lote E' 86

Figura 50. Curvas esfuerzo – deformación unitaria de los lotes de mampostería ensayo a tensión diagonal.....88

Figura 51. Línea de tendencia y ecuación para obtener módulo de corte.....89

Figura 52. Resistencia del bloque vs Resistencia de la mampostería 93

Figura 53. Módulo de elasticidad de la mampostería vs resistencia a compresión de la mampostería 95

Figura 54. Resistencia a corte vs Resistencia a compresión (mampostería) ..96

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A INFORME DE LABORATORIO DE ABSORCIÓN, DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL BLOQUE 106

ANEXO B INFORME DE LABORATORIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 112

ANEXO C INFORME DE LABORATORIO DE COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO 114

ANEXO D INFORME DE LABORATORIO COMPRESIÓN DE BLOQUES.....116

ANEXO E GRÁFICOS Y CÁLCULO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN MURETES 121

ANEXO F GRÁFICOS Y CÁLCULO DE MÓDULO DE CORTE DE ENSAYO A TESIÓN DIAGONAL EN MURETES 147

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en determinar de forma experimental las propiedades físico – mecánicas de la mampostería con bloques de hormigón comercializados en la ciudad de Quito.

Previo a la fabricación de muretes de mampostería, se determinó las propiedades con relación a la norma de cada material: bloques bajo la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 3066, la arena según la NTE INEN 872 y el mortero siguiendo los lineamientos de la NTE INEN 2518. Los muretes se ensayaron con las especificaciones mencionadas en la ASTM E519/E519-21 y NEC-SE-MP, Mampostería Estructural.

Finalizado la construcción de los muretes, se realizó un análisis de los procesos de ensayo y tratamiento de datos para la obtención de curvas esfuerzo – deformación unitaria de los muretes ensayados, para la obtención de un valor experimental del módulo de elasticidad y módulo cortante de la mampostería de bloque.

Los valores obtenidos experimentalmente de la mampostería de bloque se compararon con los valores sugeridos en la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural.

Palabras claves: bloque, mortero, mampostería, compresión, tensión diagonal.

ABSTRACT

The present research work consists of the experimental determination of physical-mechanical properties of masonry with concrete blocks marketed in the city of Quito.

Prior to the manufacture of the walls, the properties were determined based on the standard of each material: blocks under the NTE INEN 3066, granulometry of the sand according to the NTE INEN 872 and mortar following the guidelines of the NTE INEN 2518. The walls were tested with the specifications mentioned in ASTM E519/E519-21 and NEC-SE-MP, Structural Masonry.

After the construction of the walls, an analysis of the testing processes and data processing was carried out to obtain stress-strain curves of the tested walls, to obtain an experimental value of the modulus of elasticity and shear modulus of the block masonry.

The values obtained experimentally from the block masonry were compared with the values suggested in the NEC-SE-MP, Structural Masonry.

Keywords: block, mortar, masonry, compression, tension.

PRESENTACIÓN

El trabajo de investigación “ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO” está estructurado por cinco capítulos:

Capítulo 1: Introducción. Se describe los antecedentes, objetivos, alcance, justificación y metodología de estudio.

Capítulo 2: Marco Teórico. Se realiza una caracterización y propiedades de los materiales constitutivos de la mampostería y de cada uno de sus elementos. Al igual se detallan los modos de falla de la mampostería y la norma que deben cumplir los ensayos a realizar.

Capítulo 3: Programa Experimental. Se describe un resumen de los procedimientos de los ensayos a seguir bajo los lineamientos de las normas establecidas en los muretes de mampostería de bloque y cada uno de sus elementos.

Capítulo 4: Análisis y Resultados. Se realiza el tratamiento de los datos obtenidos y se presenta los resultados de los diferentes ensayos realizados. Se analiza las curvas de la relación esfuerzo-deformación unitaria, y se compara los resultados obtenidos con la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones. Se establece las conclusiones con las respectivas recomendaciones de acuerdo con los resultados del proyecto de investigación.

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La Gran muralla China, Las Pirámides de Egipto, El Coliseo Romano, Santuario de Machu Pichu, son ejemplos arquitectónicos de grandes obras construidas con mampostería, las cuáles demuestran su belleza, versatilidad y durabilidad a través del tiempo, demostrando que la mampostería puede soportar terremotos, fuego, sonido y desgaste normal de los siglos (Gualacata & Ortega, 2017).

En el Ecuador se utiliza demasiado la combinación de hormigón, acero, madera y caña en el sector de la construcción, y la mampostería se lo realiza con bloque y ladrillo. En el año 2015 de acuerdo con la base de datos proporcionados por el instituto de Estadística y Censos (INEC) se determinó que el material más utilizado en el Ecuador actualmente en construcciones civiles son bloques huecos, teniendo alrededor del 53% de estructuras de hormigón armado y mampostería de bloque (López & Ushiña, 2017).

Los bloques huecos son las principales unidades utilizadas en la mampostería, variando sus propiedades físico – mecánicas del tipo de materiales pétreos disponibles alrededor de su localidad y de la variación escogida por el fabricante. Debido a esto existen distintos fabricantes de unidades de mampuesto y un catálogo extenso de sus productos. A esto, sumando características físico – mecánicas del mortero, al combinarlos tienen la posibilidad de un sinfín de combinaciones y cuyo comportamiento carece de una teoría definitiva (Pachano, 2018).

Como solución para llenar la incertidumbre de conocer los valores de las propiedades físico – mecánicas de la mampostería, y la actualización de fórmulas empíricas de la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su capítulo de Mampostería Estructural, se plantea la obtención de valores del módulo de elasticidad y módulo de corte de manera experimental con un procedimiento de

ensayo confiable y eficiente que contrasten con la realidad de la mampostería utilizada en la ciudad de Quito.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de la mampostería construida con bloque de hormigón comercializado en la ciudad de Quito mediante ensayos de laboratorio.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físico-mecánicas del bloque y mortero de pega, mediante ensayos de laboratorio para evaluar su calidad.
- Hallar de manera experimental el módulo de elasticidad (E_m), módulo de corte (G_m), resistencia a la compresión (f'_m) y resistencia a la tensión diagonal (τ_m) de la mampostería de bloque.
- Obtener una correlación entre la resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m) y su módulo de elasticidad (E_m).

1.3 ALCANCE

El presente proyecto de investigación consiste en la evaluación experimental de muretes de mampostería de bloques de hormigón y, así obtener el valor de la resistencia a compresión y resistencia a tensión diagonal, específicamente la obtención de la curva esfuerzo-deformación unitaria, para posteriormente determinar el módulo de elasticidad y módulo de corte de la mampostería, y compararlos con los valores descritos en la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015).

Para cumplir con la propuesta se utilizará cinco lotes de bloques distintos comercializados en la ciudad de Quito, con un número mínimo de 5 muretes por ensayo y de cada lote, considerando que el número mínimo es de 3 especímenes por ensayo según la ASTM E519/E519-21 utilizada en este proyecto de

investigación, para tener un total de 50 muretes a ensayar. Así mismo, se utilizará arena y cemento comercializado en la misma ciudad.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El presente proyecto de investigación en su componente teórico consiste en determinar una correlación entre la resistencia a la compresión de la mampostería de bloque (f'_m), su módulo de elasticidad (E_m) y su módulo de cortante (G_m) y compararla con las ecuaciones analíticas planteadas en la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015): $E_m = 900\ f'_m \leq 20000$ MPa y $G_m = 0{,}4E_m$.

El análisis de las propiedades físico – mecánicas de la mampostería se puede determinar de forma teórica, pero está sujeta a incertidumbres propias de la metodología. El módulo de elasticidad se establece mediante ensayos de laboratorio en muretes fabricados y ensayados, determinando en la gráfica de la curva esfuerzo-deformación unitaria obtenida en el ensayo, la pendiente de la secante desde 0,05 f'_m hasta 0,33 f'_m (López & Ushiña, 2017).

Es necesario realizar tal investigación ya que, por su propia naturaleza, las propiedades del mortero y bloque varían significativamente dependiendo del material que lo constituye y su proporción; esto repercute en las propiedades de la mampostería en general, por lo cual existen tantas mamposterías como fabricantes y catálogos disponibles, de aquí la importancia de obtener valores acordes a los materiales de la localidad (Pachano, 2018).

1.4.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Existen investigaciones que realizan el análisis de las propiedades físico – mecánicas de la mampostería de forma experimental en modelos de muros, paredes o pórticos de mampostería a escala real, no obstante, los requerimientos de tiempo, costo y ensayos lo hacen más complejo de analizar y limita mucho su réplica en la industria y academia (López & Ushiña, 2017).

De forma experimental se obtiene las propiedades físico-mecánicas de la mampostería: resistencia a la compresión (f'_m), módulo de elasticidad (E_m), resistencia a la tensión diagonal (τ_m) y módulo de corte (G_m), empleando bloque de la ciudad de Quito. En el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) se obtienen las propiedades antes mencionadas mediante ensayos de compresión y tensión diagonal en muretes sujetas a normas ASTM.

En el país la gran parte de construcciones se realiza mediante sistemas constructivos con pórticos de relleno con mampostería, es indispensable conocer las propiedades físico-mecánicas de los diferentes tipos de mampuestos (Narváez & Grijalva, 2018).

Por ello la investigación se justifica en la necesidad y accesibilidad de realizar ensayos de compresión y tensión diagonal en muretes para obtener las propiedades físico-mecánicas de la mampostería.

1.4.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Los avances o resultados finales obtenidos de la investigación brindan beneficios en el ámbito industrial y académico. Una empresa debe proporcionar las propiedades de los mampuestos que desea comercializar, garantizando que sean de buena calidad mediante ensayos sencillos que le aseguren bajos costos.

En el ámbito académico las correlaciones obtenidas sirven en futuras investigaciones en la implementación en modelos matemáticos del comportamiento de construcciones de mampostería, en análisis de estado de construcciones de mampostería existentes e incluso en estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico.

Además, la investigación puede ser recogida o formar parte en anexos o actualizaciones de futuros códigos de construcción o normas técnicas del país sobre las propiedades físico – mecánicas de la mampostería del bloque.

1.5 ESQUEMA METODOLOGÍA ESTUDIO

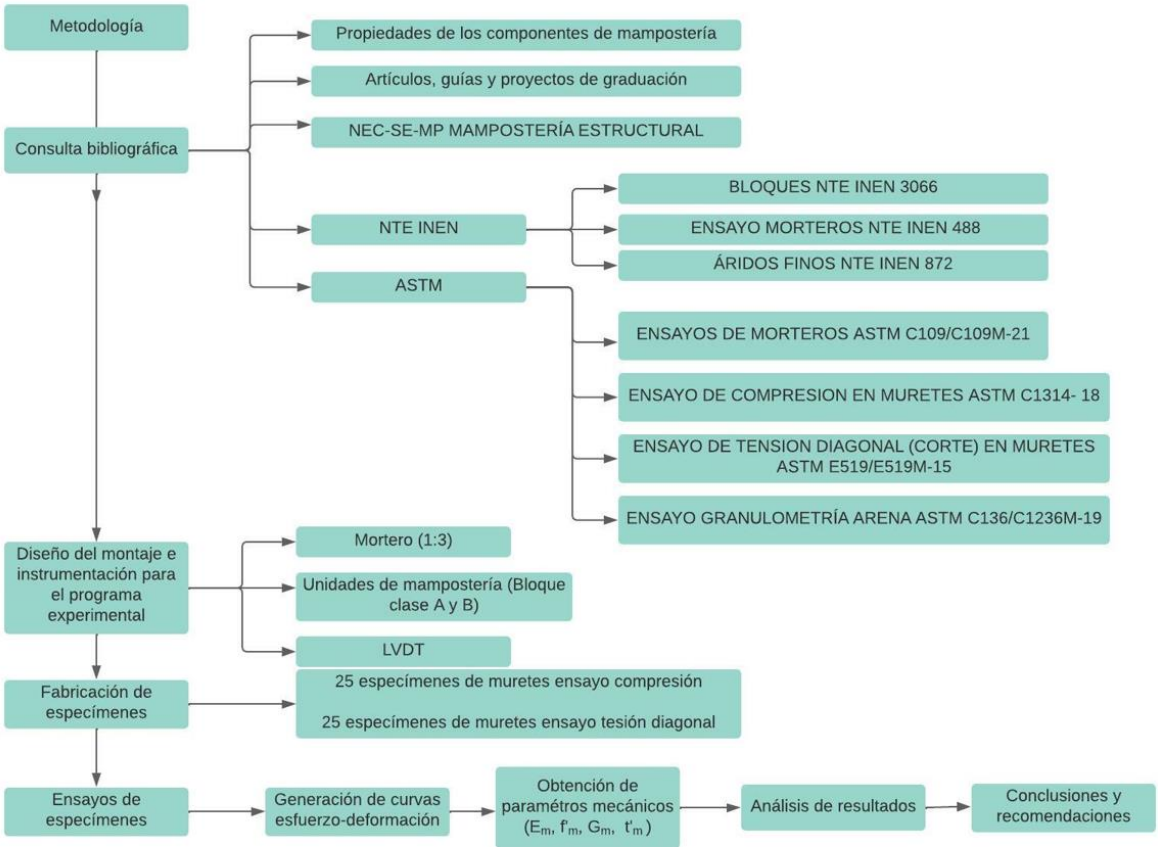


Figura 1. Diagrama esquema metodología estudio

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

El estudio se desarrolló en cinco etapas: consulta bibliográfica, diseño montaje e instrumentación, fabricación y ensayos de especímenes, análisis de resultados y conclusiones con sus debidas recomendaciones.

CAPÍTULO 2
MARCO TEÓRICO

2.1 ESTADO DEL ARTE

El estudio de las propiedades físico – mecánicas de la mampostería ha dado lugar a diversas investigaciones alrededor del mundo. La Tabla 1 y Tabla 2 presentan las investigaciones internacionales y en el Ecuador, respectivamente, más relevantes para el desarrollo de este proyecto de investigación.

Tabla 1

Investigaciones internacionales en orden cronológico

DESCRIPCIÓN DOCUMENTO	OBJETIVO	CONCLUSIÓN	RESULTADOS
"Mecánica de los prismas de mampostería de bloques huecos de hormigón bajo compresión: Revisión y perspectivas" Mohamed & otros, 2007. Utiliza LVDT	Evaluar las propiedades mecánicas de la mampostería de hormigón hueco utilizando resultados experimentales de prismas construidos con bloques de dos resistencias diferentes y cuatro tipos de mortero	Al aumentar la resistencia del mortero aumenta la resistencia de la mampostería. El mortero rige el comportamiento no lineal de la mampostería.	Se observó una gran influencia del tipo de mortero en la deformación axial de los prismas de mampostería. Mortero fuerte, la principal causa de falla es la rotura. Mortero débil, la falla comienza con el aplastamiento del mortero.

DESCRIPCIÓN DOCUMENTO	OBJETIVO	CONCLUSIÓN	RESULTADOS
"Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto" Fernández & otros, 2009. Utiliza LVDT	Proponer un valor de diseño para la resistencia a compresión diagonal de 1.8 kg/cm^2 y se determina que la relación promedio entre los módulos de cortante y de elasticidad de la mampostería es igual a 0.42.	La resistencia a compresión diagonal de la mampostería es función de la adherencia bloque-mortero	Usar un valor de diseño de 1.8 kg/cm^2 para la resistencia a compresión diagonal de la mampostería. El módulo de cortante promedio de la mampostería fue de 16713 kg/cm^2 y corresponde a un 42% del módulo de elasticidad promedio de la mampostería de la región.
"Estudio experimental comparativo del módulo de elasticidad de los ladrillos y la mampostería" Totoev & otros, 2015. Utiliza Ultrasonido	Realizar un estudio comparativo del módulo de elasticidad de los ladrillos y la mampostería	Los dos métodos dinámicos, la vibración longitudinal y el método de pulso ultrasónico, proporcionan estimaciones razonables del módulo de elasticidad.	El Módulo de Elasticidad de los Prismas de Mampostería se degradaron en comparación con el Módulo de Elasticidad de todas las unidades de mampostería.

DESCRIPCIÓN DOCUMENTO	OBJETIVO	CONCLUSIÓN	RESULTADOS
"Comportamiento a compresión axial de la mampostería de bloques de hormigón con revestimiento" Sager & otros, 2017. Utiliza strain gauges	Identificar el Comportamiento a compresión axial de la mampostería de bloques de hormigón con revestimiento	Los resultados indican que el CFRP (Polímeros reforzados con fibra de carbono) mejora la deformación axial máxima y la capacidad de carga	Las deformaciones por tracción medidas en las chaquetas de CFRP son más bajas que la deformación por tracción máxima promedio obtenido. La deformación por tracción en la chaqueta de CFRP aumenta cuando aumenta el radio de la esquina.
"Caracterización de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 120 mm y 50 mm de espesor bajo carga axial concéntrica" Núñez, 2019. Utiliza LVDT	Analizar el comportamiento de la curva esfuerzo-deformación ensayados bajo compresión axial. Con estas y extraer información importante como el módulo de elasticidad y deformaciones unitarias pico.	El promedio de la resistencia en compresión alcanzada es de 15.0 MPa (153 kg/cm^2) lo cual es un 53% mayor que el valor de f'_m recomendado por el CSCR-10 cuando no se realizan ensayos. La relación f'_m/f'_b promedio es de 0.96 para las distintas configuraciones.	Los prismas rellenos tuvieron un promedio de 16.4 MPa (167 kg/cm^2) y los huecos un promedio de 13.6 MPa (138 kg/cm^2) En la resistencia a la compresión El módulo de elasticidad para los prismas huecos fue de 10410 MPa (106154 kg/cm^2) y para los rellenos de 12898 MPa (13523 kg/cm^2).

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Tabla 2

Investigaciones en Ecuador en orden cronológico

DESCRIPCIÓN DOCUMENTO	OBJETIVO	CONCLUSIÓN	RESULTADOS
"Determinación del módulo de elasticidad de mampostería de bloque no estructural utilizada en la vivienda ecuatoriana" López & Ushiña, 2017. Utiliza LVDT	Determinar el módulo de elasticidad de mampostería de bloque no estructural y mortero utilizado para la construcción de viviendas ecuatorianas, en función de las propiedades de las unidades de mampostería y mortero.	No es posible calcular el módulo de elasticidad de la mampostería en función de los módulos de elasticidad de las unidades de mampostería y mortero, debido a que el error es de alrededor del 63 %. Por cuanto es conveniente realizar los ensayos experimentales en muretes.	Los módulos de elasticidad para el mortero, bloque y mampostería analizados son: 4736 kg/cm^2, 1389.8 kg/cm^2 y 3959 kg/cm^2 respectivamente, siendo esta un tipo de mampostería representativa en los sistemas constructivos ecuatorianos. Para la mampostería estudiada el módulo de elasticidad está de acuerdo la siguiente relación: $E_m = 237\ f'_m$
"Determinación de parámetros mecánicos para modelos no lineales de mampostería de relleno en pórticos de hormigón armado obtenidos de manera experimental" Pachano, 2018. Utiliza LVDT	El objetivo principal del presente trabajo de investigación es la determinación de parámetros mecánicos y las metodologías para su evaluación para ser empleados en modelos no-lineales de puntal equivalente de mamposterías usadas como rellenos en pórticos de hormigón armado.	El módulo de elasticidad varía de forma inversa a la resistencia a la compresión a medida que se cambia el ángulo de inclinación de la hilada. El módulo de elasticidad comienza con un valor intermedio para 0°, sube gradualmente hasta los 67.5° y finalmente cae en los 90° de inclinación.	La resistencia obtenida en la mampostería es la siguiente: 0° 1.0766 MPa, 22.5° 1.0769 MPa, 45° 0.8302 MPa, 67.5° 0.8107 MPa, 90° 0.8454 MPa

DESCRIPCIÓN DOCUMENTO	OBJETIVO	CONCLUSIÓN	RESULTADOS
"Estudio experimental y analítico de las propiedades mecánicas de la mampostería estructural utilizando el bloque de hormigón propuesto por la empresa INOVA TK" López & Manobanda, 2019. Utiliza LVDT	Determinar las propiedades intrínsecas de la mampostería, constituida con el bloque propuesto por la empresa INOVA TK, mediante ensayos experimentales y modelos analíticos propuesto por Hubert K. Hilsdorf, M.J.N Priestley y D.M. Elder, propiedades necesarias para el desarrollo del proyecto VIVIENDA INOVA TK".	El bloque Innova Tk al ser realizado por un proceso artesanal y no existir un control de calidad adecuado, reflejó resultados dispersos en las dimensiones y en la resistencia a compresión, desencadenando que el bloque sea vulnerable al daño en el proceso de transporte al lugar de la obra, por la carga y descarga del bloque, ocasionando un porcentaje de desperdicio considerable o el uso de estos bloques dañados en la mampostería.	La resistencia a compresión de la mampostería queda definida por el rango $1.62 < f'_m < 2.12$ MPa se recomienda utilizar un valor promedio de 1.92 MPa para mampostería con similares características. Con respecto al módulo de elasticidad, este puede variar entre el rango $354.3 < E_m < 873.52$ MPa, recomendando un valor promedio de 613.9 MPa para mampostería con similares características. $E_m = 320\ f'_m$

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

2.2 DEFINICIÓN MAMPOSTERÍA

La mampostería pertenece al material estructural a compresión más utilizado desde la antigüedad hasta el día de hoy. Se define como un sistema de construcción tradicional, constituido por partes naturales o moldeadas artificialmente, encajadas entre sí por un mortero adherente. Sus componentes en los últimos años han ido modificándose, así se tienen rocas, unidades industrializadas de arcilla y hormigón, etc. (Tena, A., Juárez, A. & Salinas, V., 2007).

Según López & Ushiña (2017) "la mampostería puede proporcionar una estructura y servir además como material para subdivisión del espacio, protección contra incendios, aislamiento térmico, acústico, y como atractivo estético debido al color, la forma y la textura" (pág. 8). Al mismo tiempo, es relativamente económico y

duradero, motivo que ha permitido que se lo considere nuevamente en el sector de la construcción.

2.3 MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1 BLOQUE DE HORMIGÓN

La NTE INEN 3066 (2016) define a la unidad de bloque como una “pieza prefabricada de hormigón simple, elaborada con cemento hidráulico, agua, áridos finos y gruesos, con o sin aditivos, en forma de paralelepípedo, con o sin huecos en su interior” (pág. 5). El bloque de hormigón para que se clasifique como:

- Hueco, indica que la superficie de carga debe ser menor del 75% del área neta o,
- Sólido, indica que la superficie de carga debe ser mayor al 75% del área neta.

Ecuador en el diseño y la construcción de estructuras de mampostería utiliza generalmente los bloques huecos de hormigón, conocidos también como unidades de mampostería de hormigón.

De acuerdo con la NTE INEN 3066 (2016), los bloques huecos de hormigón se clasifican de acuerdo con:

- Uso
- Densidad
- Absorción
- Resistencia a la compresión

2.3.1.1 Clasificación de acuerdo con su uso

De acuerdo con su uso, ver Tabla 3:

Tabla 3

Clasificación del bloque según su uso

CLASE	USO
A	Mampostería estructural
B	Mampostería no estructural
C	Alivianamientos en losas

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

2.3.1.2 Clasificación de acuerdo con su densidad

De acuerdo con la densidad, ver Tabla 4:

Tabla 4

Clasificación del bloque por su densidad

TIPO	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m^3)
Liviano	<1680
Mediano	1680 a 2000
Normal	>2000

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

2.3.1.3 Clasificación de acuerdo con la absorción

De acuerdo con la absorción, los bloques Clase A deben cumplir con la Tabla 5:

Tabla 5

Absorción máxima de agua en bloques Clase A

TIPO	DENSIDAD DEL HORMIGÓN (kg/m^3)	ABSORCIÓN DE AGUA MÁXIMA PROMEDIO (kg/m^3)	ABSORCIÓN DE AGUA MÁXIMA POR UNIDAD (kg/m^3)
Liviano	<1680	288	320
Mediano	1680 a 2000	240	272
Normal	>2000	208	240

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

2.3.1.4 Clasificación en función a la resistencia a compresión

En función a la resistencia a compresión máxima, ver Tabla 6:

Tabla 6

Clasificación del bloque por su resistencia a la compresión simple

DESCRIPCIÓN	**RESISTENCIA NETA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN SIMPLE** (MPa)*		
	Clase A	**Clase B**	**Clase C**
Promedio de 3 bloques	13,8	4	1,7
Por bloque	12,4	3,5	1,4
*1MPa=10,2 kg/cm^2			

Fuente: (NTE INEN 3066, 2016)

2.3.2 MORTERO DE PEGA

El mortero de pega es una mezcla de cemento, arena y agua. Núñez (2019) señala que su principal función es adherir las unidades de mampostería de forma que actúen como un elemento integral que tenga las propiedades de funcionalidad y funcionamiento deseadas, es por ello por lo que influye en las características estructurales de la mampostería.

Las características principales de este elemento, según Núñez (2019) son:

Trabajabilidad: es dependiente de la consistencia, retención de agua, tiempo de fragua, adhesión y cohesión, entre otros. Un mortero con trabajabilidad adecuada se esparce de forma sencilla y posibilita la idónea colocación del bloque sin derramarse.

Retención de agua: resistencia a la pérdida de agua de la mezcla gracias a la absorción de los bloques y a la evaporación. Una correcta retención de agua posibilita que el mortero se mantenga en estado plástico por un período prolongado perfeccionando de esta forma la trabajabilidad y adherencia.

Adherencia: es la propiedad más relevante una vez endurecido el mortero, debido a que perjudica la permeabilidad de la mampostería e influye en su resistencia. Para poder hacer una buena adherencia es fundamental conseguir buena plasticidad y para eso la cal hidratada o cemento de mampostería es imprescindible.

Los materiales que constituyen el mortero (cemento, arena y agua) según la NTE INEN 2518 (2010) establecidos en el numeral 6.1 deben cumplir con los siguientes requisitos:

2.3.2.1 Cemento

El cemento es uno de los materiales que otorga durabilidad, resistencia y trabajabilidad dependiendo de la proporción que se utilice en la mezcla del mortero. Los tipos de materiales cementantes varían y deben cumplir con ciertas normas para ser utilizados en la conformación del mortero de pega (NTE INEN 2518, 2010).

Tabla 7

Tipos de materiales cementantes

CEMENTO	TIPOS	NORMAS POR CUMPLIR
Portland	I, IA, II, IIA, III, IIIA o V	NTE INEN 152
Hidráulicos Compuestos	IS (<70), IS (<70)-A, IP, IP-A	NTE INEN 490
Hidráulicos	GU, HE, MS, HS, MH y LH	NTE INEN 2380
Portland de escoria de altos hornos	Para uso en especificaciones por propiedades únicamente	NTE INEN 490
Mampostería	-	NTE INEN 1806
Mortero	-	ASTM C 1329

Fuente: (NTE INEN 2518, 2010)

2.3.2.2 Arena

La arena es otro material que influye en la resistencia, trabajabilidad y reducción de la retracción del mortero, al formar un soporte que evita variabilidad de volumen y agrietamiento, siendo el mayor componente en volumen y masa en el mortero (Gualacata & Ortega, 2017).

2.3.2.3 Agua

Para la construcción de morteros y para el curado se debe utilizar agua potable y estar libre de materia orgánica, aceites, ácidos, sales o cualquier sustancia que perjudique al mortero (NTE INEN 2518, 2010).

Gualacata & Ortega (2017) indican que el agua potable aporta a la trabajabilidad del mortero e hidrata el cemento. La cantidad de agua utilizada en el mortero debe encajar con la manejabilidad de la pasta, así mismo se debe considerar que la unidad de mampuesto absorbe el líquido apenas entran en contacto y del mismo modo recordar que la resistencia a compresión del mortero depende de la relación agua – cemento.

2.3.3 LVDT (TRANSFORMADOR DIFERENCIAL DE VARIACIÓN LINEAL)

Un TRANSFORMADOR DIFERENCIAL DE VARIACIÓN LINEAL (LVDT, LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMER) es un dispositivo electromecánico que consiste en dos componentes: un cuerpo hueco cilíndrico que contiene dos bobinados secundarios idénticos los cuales están posicionados en ambos lados del bobinado central primario y un núcleo de ferrita cilíndrico se mueve libre longitudinalmente dentro de la bobina, ver Figura 2. Los secundarios típicamente están conectados en serie en oposición uno de otro, ver Figura 3 (Mayné, 2003).

De acuerdo con Mayné (2003) un LVDT está compuesto por transformadores con núcleo movible. Al ejercer una señal alterna de excitación al bobinado del primario, produce un campo magnético que se acopla a dos bobinados del secundario a través del núcleo de ferrita móvil, por ello se inducen voltajes en los secundarios y va variando de acuerdo con el desplazamiento del núcleo.

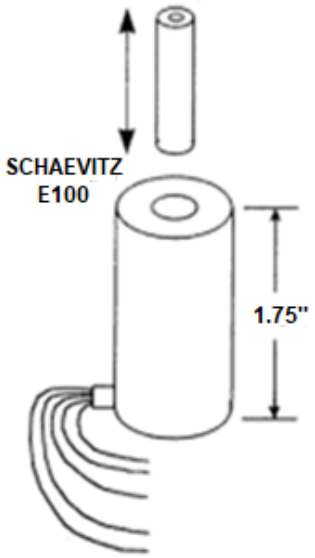


Figura 2. Esquema físico de un LVTD

Fuente: (Mayné, 2003).

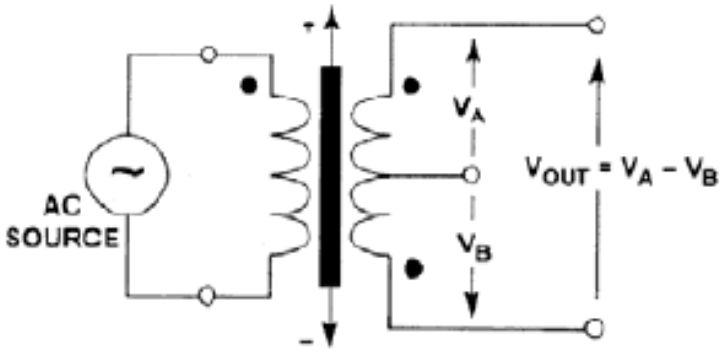


Figura 3. Esquema electrónico de un LVTD

Fuente: (Mayné, 2003).

La linealidad de un LVDT en un dispositivo diseñado hasta 5mm tiene una tolerancia en la medida del 0,1%, en cambio un dispositivo diseñado hasta 300 mm o más tiene una tolerancia en la medida hasta el 1 al 2%, siendo la principal característica (Navani & Sapra, 2015).

Navani y Sapra (2015) en su libro Electrical Instrumentation and Process Control enumeran las siguientes ventajas y desventajas sobre los LVDT:

VENTAJAS:

- Linealidad: Para desplazamientos de hasta 5mm el voltaje de salida es casi lineal teniendo una tolerancia razonable en las medidas bastantes bajas.
- Rendimiento: necesita un circuito de amplificación de escasa ganancia o de ser viable si el dispositivo utilizado para la lectura tiene una alta resolución la señal de salida no debe ser amplificada, proporcionando un rendimiento alto.
- Sensibilidad (300 mV/mm): debido a la alta sensibilidad un desplazamiento de 1 mm produce un voltaje de salida de 300 mV.
- Robustez: Las mediciones no se alteran debido a que soportan fuertes vibraciones mecánicas y golpes.
- Fricción: es casi nula cuando se produce el deslizamiento del núcleo por lo que es más exacta.
- Baja histéresis: su repetitividad es considerablemente buena en cualquier circunstancia de trabajo.
- Energía: En general los LVDTs tienen un bajo consumo de energía debido a que las fuentes de alimentación se encuentran entre los 12 y 24 voltios, es decir, consumen escasos vatios de potencia.
- Además, los LVDTs son dispositivos de fácil mantenimiento, livianos, pequeños, estables y simples de utilizar.

DESVENTAJAS:

- Para generar una salida diferencial considerable es necesario un desplazamiento subjetivamente amplio.
- El LVDT es sensible a los campos magnéticos por lo cual requiere de un blindaje para reducir esta interferencia.
- El rendimiento de los LVDTs es afectado por la temperatura, las mediciones cambiarán de acuerdo con las condiciones que se encuentre expuesto.
- El rango de medida es limitado debido a que la respuesta de este dispositivo no es dinámica.

2.3.4 MARCO DE CARGA

Gualacata & Ortega (2017) mencionan que el marco de carga es un pórtico robusto de acero apoyada en una losa de reacción en el que se realiza la evaluación experimental de características mecánicas de componentes y elementos estructurales, el cuál sostiene un cilindro hidráulico de doble acción capacidad de 100 toneladas, con una celda de carga cuya capacidad es de 20 toneladas, dirigida por una bomba hidráulica capacidad 10000 Psi.

Figura 4. Marco de carga CIV – EPN

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

2.4 PROPIEDADES DE LA MAMPOSTERÍA Y SUS COMPONENTES

Gualacata & Ortega (2017) establecen que la “resistencia a la compresión de cualquier material es la resistencia al fallo o esfuerzo de compresión máximo bajo la acción de una fuerza de compresión sobre un área que se aplica de forma gradual” (pág. 15). Ciertos materiales obtienen sus primeras grietas cerca del límite de la resistencia a compresión. Esta propiedad es el cociente entre la carga máxima y el área transversal del material ensayado a compresión.

2.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL BLOQUE (f'b)

Gallegos & Casabonne (2005) manifiestan que la resistencia a la compresión es la principal propiedad del bloque. La calidad de los bloques se ve reflejado en los valores altos de la resistencia a la compresión mientras que bloques poco resistentes y durables tienen valores bajos de la resistencia a la compresión. Debido a los diversos valores, esta propiedad es complicada de medir correctamente.

2.4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO (f'j)

Hendry (2003) señala que "la resistencia a compresión del mortero dentro de la mampostería es superior a la obtenida mediante ensayos de compresión directa dado que las piezas de mampuesto ejercen un efecto de confinamiento sobre las hiladas de mortero". (pág.54)

Según Pachano (2018): "La resistencia que se desee obtener está dada por la proporción de los materiales, la calidad de estos y el tipo de cemento empleado", (pág. 27). La NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015) señala las dosificaciones para diferentes tipos de morteros que se indican en la Tabla 8.

Tabla 8

Dosificación para resistencia mínima a compresión en mortero

TIPO DE MORTERO	RESISTENCIA MÍNIMA A COMPRESIÓN 28 DÍAS (MPa)	COMPOSICIÓN EN PARTES POR VOLUMEN		
		CEMENTO	CAL	ARENA
M20	20	1	-	2,5
M15	15	1	-	3
		1	0,5	4
M10	10	1	-	4
		1	0,5	5
M5	5	1	-	6
		1	1	7
M2.5	2,5	1	-	7
		1	2	9

Fuente: (NEC-SE-MP, Mampostería Estructural, 2015)

2.4.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA (f'_m)

Este parámetro es un indicador de la capacidad máxima que tiene el conjunto para soportar cargas de compresión, y está gobernado principalmente por la resistencia del bloque o mampuesto, puesto que el primer elemento en fallar es el bloque debido a los agrietamientos producidos por el estado de tensión triaxial y la expansión diferencial lateral del bloque-mortero (López J., Oller, S. & Oñate E.).

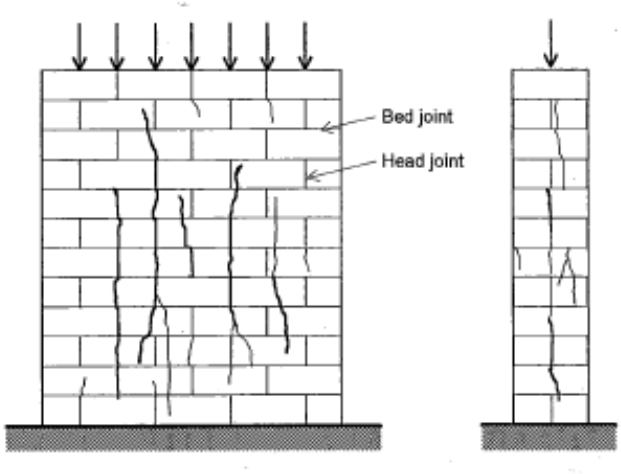


Figura 5. Falla típica en los muros de mampostería

Fuente: (Crisafulli, 1997).

La mampostería trabaja de manera eficaz frente a esfuerzos a compresión, al ser expuesta a cargas de compresión perpendicular a las juntas se genera una interacción entre el bloque y el mortero, limitando la deformación axial y transversal del mortero, ocasionando que se produzcan esfuerzos de compresión en dirección transversal del mortero y esfuerzos de tracción transversales en los bloques. Entonces, la resistencia a la compresión de la mampostería generalmente se encuentra por debajo de la resistencia de sus unidades como se observa en la Figura 6 (Carrillo, 2008).

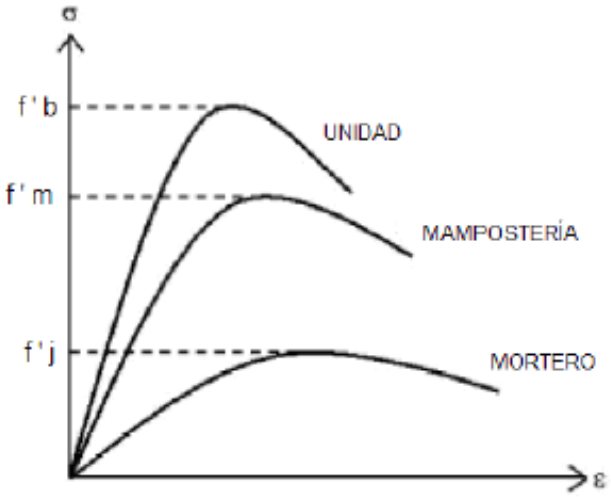


Figura 6. Relación entre esfuerzo – deformación del mortero, la unidad y mampostería

Fuente: (Paulay, T. & Priestley, N., 1992)

La resistencia a la compresión de la mampostería es un parámetro primordial para cuantificar las propiedades de la mampostería, debido a que ayuda en el diseño a flexión permisible y tensión de corte (Gualacata & Ortega, 2017).

2.4.4 RESISTENCIA A CORTE DE LA MAMPOSTERÍA (τ_m)

Pachano (2018) establece en su invesitgación que “la resistencia a corte de la mampostería (τ_m) es sin lugar a duda el parámetro más importante de estudio en el análisis de mamposterías sujetos a cargas laterales de sismo” (pág. 36)

Pachano (2018) señala que la resistencia a corte estará regida especialmente por:

- La formación de grietas diagonales a través de las juntas de mortero y bloque debido a la baja tensión de la unidad de mampuesto, y
- Un despegue del bloque que sigue las juntas de mortero en forma escalonada debido a la adhesión y/o fricción entre las superficies de ambos materiales.

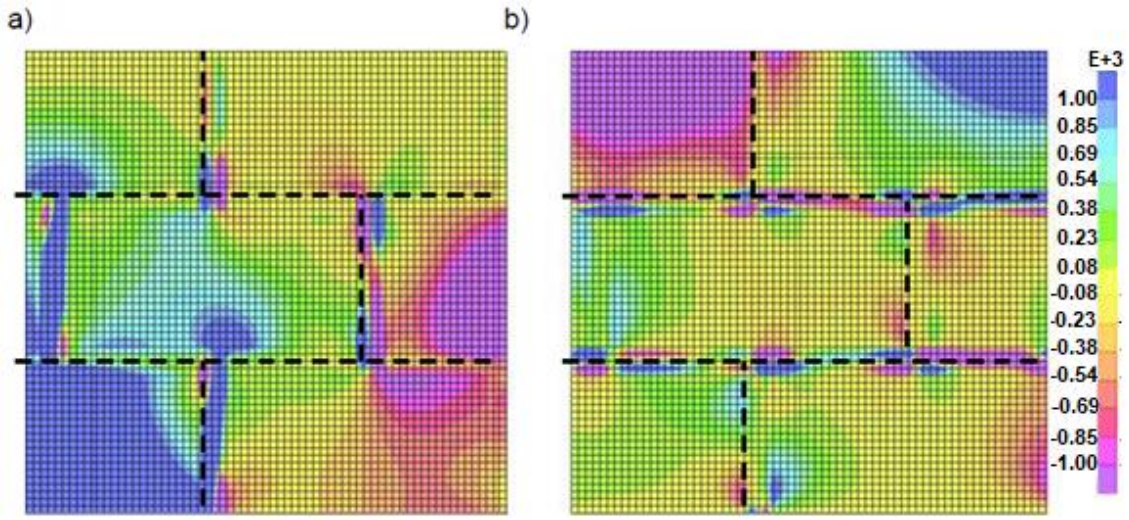


Figura 7. Distribución de esfuerzos por cortante: a) Esfuerzos horizontales; b) Esfuerzos verticales

Fuente: (Pachano, 2018)

Como se puede observar en las Figuras 7 a y b, los esfuerzos verticales y horizontales respectivamente, el esfuerzo a corte produce concentraciones en la conexión de la unidad de mampuesto con la junta de mortero y en el centro de la unidad provoca considerables tensiones (Pachano, 2018).

2.4.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA (E_m)

Según con Pachano (2018), “el módulo de elasticidad de la mampostería (E_m) se lo obtiene calculando valores de módulo secante a la curva de esfuerzo-deformación unitaria al 30% o hasta el 60% de la resistencia máxima a compresión” (pág. 29), debido a que la evaluación de esta propiedad no tiene definida una metodología.

López & Ushiña (2017) definen “el módulo de elasticidad como el módulo secante a un nivel de esfuerzo de 30% al 75% de la resistencia máxima a la compresión” (pág. 26).

De acuerdo con la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015), “el módulo de elasticidad se establece mediante ensayos realizados en muretes fabricados, calculando en la curva esfuerzo-deformación unitaria obtenida en el ensayo, la pendiente de la secante desde 0,05 f'_m hasta 0,33 f'_m” (pág. 48).

2.4.6 MÓDULO DE CORTE DE LA MAMPOSTERÍA (G_m)

El módulo de corte de la mampostería es la relación de la tensión tangencial o esfuerzo de corte (τ) y su deformación angular (γ).

$$G_m = \frac{\tau}{\gamma}$$

La resistencia a corte es un parámetro fundamental requerido para diseñar paneles de mampostería que estarán sujetos a cargas laterales provocadas por viento o terremotos generando esfuerzos de corte y también estarán sometidas a cargas por gravedad generando esfuerzos de compresión (López & Manobanda, 2019).

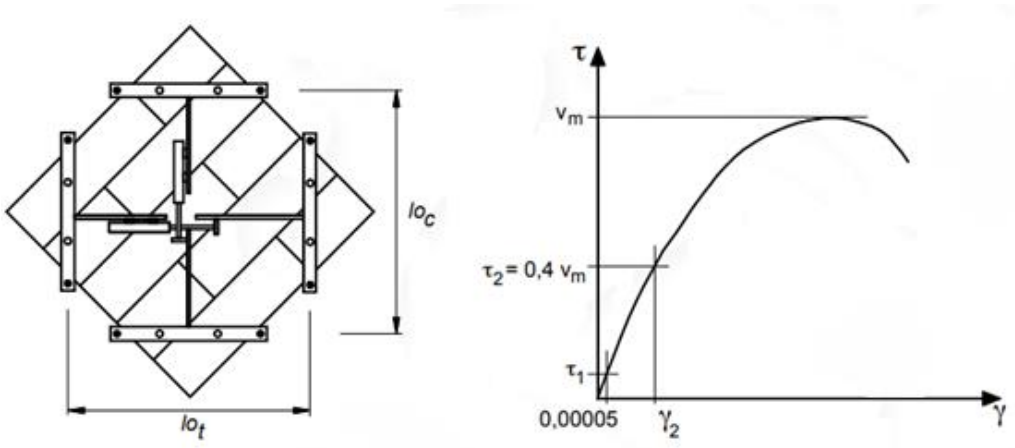


Figura 8. Módulo de corte mediante la curva esfuerzo cortante – deformación unitaria

Fuente: (NMX-C-464-ONNCCE, 2010)

2.5 MODOS DE FALLA DE LA MAMPOSTERÍA

Páez, Parra y Montaña (2009) señalan que se pueden evidenciar los siguientes tipos de falla:

2.5.1 FALLA DE CORTE POR DESLIZAMIENTO

La poca adhesión entre las unidades y el mortero origina el agrietamiento por deslizamiento, se presenta una falla de adherencia por corte a lo largo de la junta horizontal de mortero.

2.5.2 FALLA DE CORTE

Los esfuerzos de corte originados en el muro dan como resultado el agrietamiento por corte, identificada por su forma escalona siguiendo la junta de mortero y diagonal a lo largo del muro.

2.5.3 FALLA DE FLEXIÓN

Una falla de compresión por flexión en la parte comprimida del muro presenta agrietamientos en forma vertical en las esquinas y el centro.

2.5.4 FALLA DE APLASTAMIENTO POR COMPRESIÓN DIAGONAL

La falla por aplastamiento sucede en la mampostería es de baja calidad, se separa la unidad de mampostería de las hileras de mortero debido a las altas tensiones de compresión en las esquinas del muro.

La Figura 9 muestra los posibles modos de falla de la mampostería.

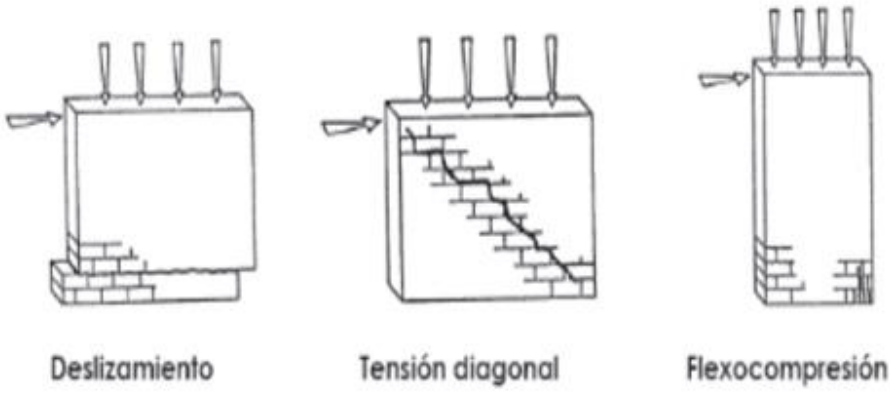


Figura 9. Posibles modos de falla en un muro de mampostería.

Fuente: Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería**.**

2.5.5 FALLA DE TENSIÓN DIAGONAL

Fernández, Marín, Varela y Vargas (2009) en su estudio de los muretes de mampostería clasifican las fallas a tensión diagonal en:

1. Falla por tensión diagonal en bloques, se origina una fisura diagonal que describe una trayectoria aproximadamente recta a lo largo de las juntas de mortero y las unidades.
2. Falla por tensión diagonal en juntas, debido a la baja adherencia entre el bloque y el mortero, describe una trayectoria escalonada que se dirige generalmente al centro del murete.
3. Falla por deslizamiento, se produce el desprendimiento de una hilera horizontal debido a la a la falla originada entre el mortero y los bloques.

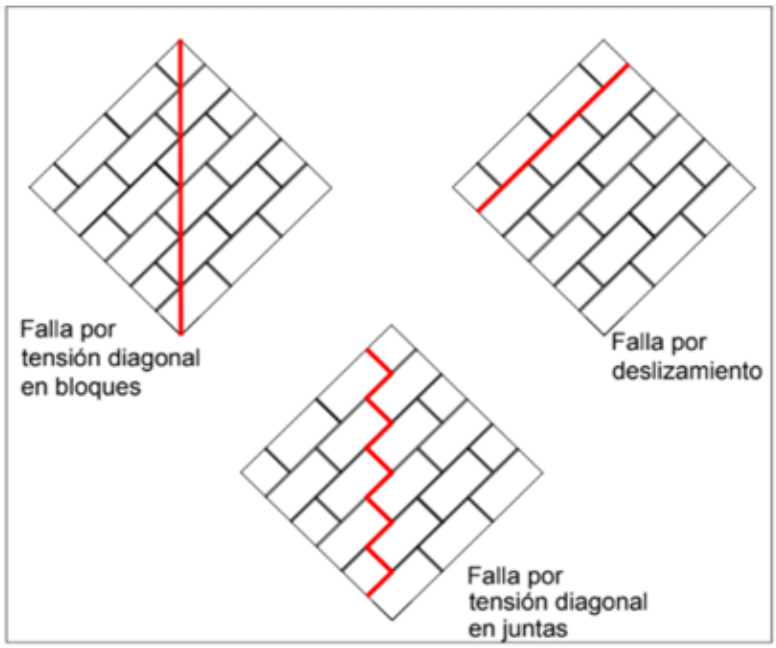


Figura 10. Tipos de fallas en muretes de mampostería sujetos a tensión diagonal

Fuente: (Fernández & Otros, 2009)

2.6 NORMATIVA

2.6.1 NEC–SE–MP MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

Esta normativa establece criterios y requisitos mínimos para un correcto diseño y construcción de mampostería estructural, con el fin de mejorar la calidad y

seguridad de las edificaciones de nuestro país. En esta norma se presentan generalidades y normativas que deben cumplir los diferentes materiales que constituyen la mampostería estructural (piezas de arcilla, piezas de hormigón, mortero) para lograr un comportamiento apropiado ante cargas verticales y fuerzas laterales (NEC-SE-MP, Mampostería Estructural, 2015).

En el capítulo 5.3, la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015) nos provee de ecuaciones de módulos de elasticidad (E_m) y módulo de cortante (τ_m), en ausencia de ensayos experimentales con las cuales se puede determinar lo anteriormente expuesto, proponiendo para:

Módulo de elasticidad: $E_m = 900\ f'_m \leq 2000MPa$.

Módulo de cortante: $G_m = 0{,}4\ E_m$

En el capítulo 10. Anexos establece el método y dimensiones mínimas que deben tener los prismas y muretes de mampostería estructural tanto en obra como en laboratorio al inicio de su construcción, también nos da una guía sobre el procedimiento de los ensayos de laboratorio a efectuar para conseguir datos experimentales de resistencia a la compresión y de tensión diagonal (NEC-SE-MP, Mampostería Estructural, 2015)

2.6.2 NORMAS NTE

Las NTE INEN son normas que establecen los requisitos a cumplir de los diferentes elementos a utilizar para la fabricación de los muretes, a la vez que describe los métodos de ensayos por los cuáles deben pasar cada uno de los elementos antes de su utilización. A continuación, se describirá las normas utilizadas en el proyecto de investigación:

2.6.2.1 NTE INEN 3066 Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo

La NTE INEN 3066 (2016) presenta generalidades, clasificación, dimensiones del bloque. Así como la descripción que se deben realizar en sus ensayos más representativos (aspectos visuales, densidad, absorción, contenido de humedad, resistencia a la compresión simple) y el número de unidades mínimas a utilizar en

los ensayos antes mencionados. En sus anexos provee ecuaciones para el cálculo de los ensayos más representativos realizados, a excepción de aspectos visuales.

2.6.2.2 NTE INEN 2518 Morteros para unidades de mampostería

La NTE INEN 2518 (2010) establece las especificaciones para elaborar morteros para el uso en la construcción (agua, cemento y arena), y cubre cuatro tipos de morteros según especificaciones por dosificación y especificaciones por propiedades.

2.6.2.3 NTE INEN 872 Áridos para uso de hormigón

La NTE INEN 872 (2011) establece los límites que deben cumplir los áridos finos, valores normales del módulo de finura y enumera los tamices utilizados para el ensayo de granulometría.

2.6.3 ASTM

La ASTM (American Society for testing an Materials) es una organización internacional que desarrolla normas técnicas utilizadas y aceptadas mundialmente en investigaciones y proyectos que garantiza las propiedades mínimas de diferentes materiales y sus respectivos métodos de prueba. A continuación, se describirá las normas utilizadas en el proyecto de investigación:

2.6.3.1 ASTM C109/C109M-21

La ASTM C109/C109M-21 (2020) establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros cumpliendo las especificaciones establecidas en ella. Describe con precisión el procedimiento para la preparación de las muestras de cubos de mortero de 50mm y su ensayo a compresión.

2.6.3.2 ASTM E519/E519-21

La ASTM E519/E519-10 (2021) establece el método de prueba mediante un ensayo de tensión diagonal en muretes de 1,2 m por 1,2 m, con un mínimo de 3 especímenes elaboradas con el mismo material y mano de obra.

CAPÍTULO 3
PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 MUESTREO Y MONTAJE

Las propiedades físico – mecánicas de la mampostería dependen de los materiales que la constituyen. La investigación se centra en los bloques de hormigón comercializados en la ciudad de Quito que son empleados en estructuras. Por ello se tomó en cuenta lugares de venta a la ciudadanía en tres sectores de la ciudad y se los clasifica por lote.

3.1.1 LOTES DE BLOQUES

3.1.1.1 Lote A, B y C

Los lotes A, B y C fueron adquiridos en la fábrica Prefabricados & Equipos localizada en la vía Interoceánica km 24-lote 26.

Figura 11. Ubicación de la fábrica Prefabricados & Equipos

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Cada una de las unidades con la misma forma y apariencia, ver Figura 12, tenían las siguientes dimensiones en cuanto a largo, ancho y altura:

Lote A: (490 x 140 x 200) [mm].

Lote B: (490 x 125 x 190) [mm].

Lote C: (490 x 90 x 200) [mm].

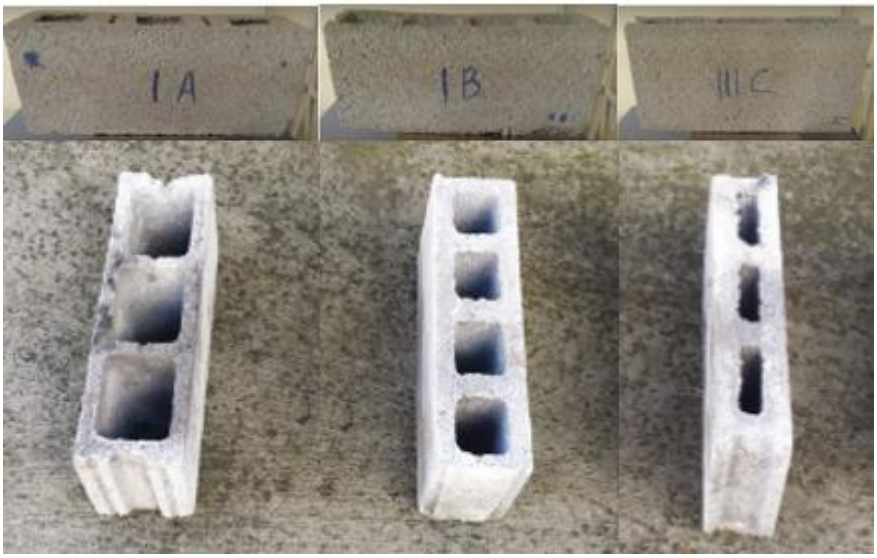


Figura 12. Lote de bloques A, B y C

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.1.1.2 Lote D

En lo que respecta a este lote, fue adquirido en una empresa localizada en el Edificio La Previsora, N37 Naciones Unidas E3-93 y Av. Amazonas S2 212, sin embargo, cada uno de los bloques fueron elaborados en el sector de Calacalí.

Figura 13. Ubicación Edificio La Previsora

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Cada una de las unidades de este lote, con la misma forma y apariencia, tenían (390 x 140 x 190) [mm] en cuánto a largo, ancho y altura, respectivamente. Ver Figura 14.

Figura 14. Lote de bloques D

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.1.1.3 Lote E’

El lote E’ se adquirió en una ferretería ubicada en las calles Av. Mariscal Sucre y Huaynapalcon, sector La Magdalena. Cada uno de estos bloques fueron elaborados en el mismo sector y son unos de los bloques más utilizados al Sur de Quito en el campo de la construcción.

Figura 15. Ubicación ferretería

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Cada una de las unidades de este lote, con la misma forma y apariencia, tenían (380 x 135 x 190) [mm] en cuánto a largo, ancho y altura, respectivamente. Ver Figura 16.

Figura 16. Lote de bloques E'

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.1.2 ARENA Y CEMENTO

La arena se adquirió en la misma ferretería que se compró el lote de bloques E', misma que para su comercialización fue extraída de una mina ubicada al sur – occidente de Quito en la parroquia de Lloa, en las faldas del volcán Guagua Pichincha. Esta fue evaluada en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR) de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental (FICA) mediante el ensayo de granulometría que se describe más adelante.

El cemento que se utilizó en el presente proyecto fue Holcim Fuerte Tipo GU (50Kg). Se acordó utilizar este cemento debido a que es de uso general para cualquier tipo de obra de construcción. Entre sus características resaltan la alta resistencia mecánica, mejora en la trabajabilidad de las mezclas, reducción en la segregación y exudación.

3.1.3 ALMACENAMIENTO DE BLOQUES, ARENA, CEMENTO.

Las unidades de mampostería de hormigón (bloques) y arena se almacenaron en un espacio del patio del CIV – EPN. Para preservarlos de los efectos causados por la lluvia y el sol se cubrieron con plástico de polietileno.

Figura 17. Ubicación lotes de bloques y arena

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

El cemento se almacenó en un espacio dentro de las instalaciones del CIV – EPN, debido a que este material debía almacenarse bajo techo, alejado de las paredes y sobre teleras o estibas.

Figura 18. Ubicación cemento Holcim Fuerte Tipo GU

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.1.4 NÚMERO DE MUESTRAS A ENSAYARSE

La cantidad de muestras que se ensayaron debían cumplir los requerimientos de la norma establecida para los diferentes ensayos realizados durante el transcurso del proyecto de investigación. A continuación, se detalla el número mínimo de muestras y la norma a la cual está referenciada el ensayo.

3.1.4.1 Ensayo de Absorción, Densidad y Contenido de Humedad del Bloque

La NTE INEN 3066 (2016) en el anexo D apartado D.3 establece un mínimo de tres unidades enteras de bloques sin defectos, por lote, para poder realizar los ensayos correspondientes.

Para llevar a cabo este proceso, se seleccionaron 3 unidades de bloques de cada lote, de forma aleatoria, siendo un total de 15 unidades para los tres ensayos antes mencionados. La Tabla 9 muestra las dimensiones de las unidades seleccionadas.

Tabla 9

Unidades de bloques para ensayo de Absorción, Densidad y Contenido de Humedad

N°	DESCRIPCIÓN	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ALTO (cm)
1	I A	14,00	49,25	20,25
2	II A	14,00	49,25	20,00
3	III A	14,25	49,25	20,00
4	I B	12,40	49,00	18,75
5	II B	12,30	49,00	18,75
6	III B	12,50	49,00	19,00
7	I C	9,25	49,25	20,25
8	II C	9,25	49,25	20,00
9	III C	9,00	49,25	20,00
10	I D	14,00	39,00	19,00
11	II D	14,00	39,00	19,00
12	III D	14,25	39,00	19,00
13	I E'	13,50	37,75	18,75
14	II E'	13,50	37,75	18,50
15	III E'	13,50	37,50	18,50

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.1.4.2 Ensayo a compresión del bloque

La NTE INEN 3066 (2016) en el Anexo E apartado E.3 establece un mínimo de tres unidades enteras de bloques sin defectos por lote.

Se seleccionaron 6 unidades de bloques de cada lote, de forma aleatoria, siendo un total de 30 unidades para el ensayo antes mencionado. Cabe recalcar que el ensayo se realizó con unidades enteras. La Tabla 10 muestra las dimensiones promedio de las unidades seleccionadas.

Tabla 10

Dimensiones promedio de las unidades de bloques por lote para ensayo compresión simple

N°	DESCRIPCIÓN	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ALTO (cm)
1	A	14,2	49,2	20,0
2	B	12,5	49,0	19,0
3	C	9,0	49,2	19,9
4	D	14,1	39,1	19,1
5	E'	13,6	37,6	18,6

Elaborado por: Wilson Pillajo – Alexis Valdivieso

3.1.4.3 Ensayo de compresión y tensión diagonal de muretes

El esquema utilizado en la fabricación de muretes para el ensayo de compresión y tensión diagonal es el siguiente: 4 hileras de bloques, trabadas con hileras verticales y horizontales de mortero de pega de un espesor de 10 mm, donde se obtuvo muretes que se encontraban en una relación altura – longitud alrededor de 1:1.

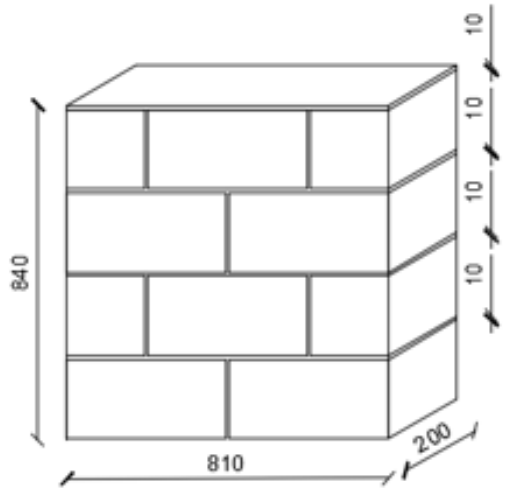


Figura 19. Esquema de murete de mampostería de bloque

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

El ensayo del módulo de elasticidad de muretes se realiza con base a la ASTM C1314 – 18 (2018), norma que establece un mínimo de 3 especímenes de prismas de mampostería con el que se efectúa el ensayo a compresión.

La ASTM E519/E519M – 21 (2020) establece que el ensayo de tensión diagonal requiere un mínimo de 3 especímenes construidos con la misma mano de obra, mismas unidades de mampostería e igual dosificación de mortero de pega, además ambas normas mencionan que los especímenes deben ensayarse a la misma edad.

Con las normas antes mencionadas para la presente investigación, se estableció construir 10 especímenes de cada lote de bloque, teniendo un total de 25 muestras para el ensayo compresión con sus respectivas dimensiones promedio por lote, ver Tabla 11, y 25 muestras para el ensayo a tensión diagonal con sus respectivas dimensiones promedio por lote, ver Tabla 12.

Tabla 11

Dimensiones promedio de los muretes por lote (Compresión)

N°	DESCRIPCIÓN	ESPESOR MEDIO (cm)	LONGITUD MEDIA (cm)	ALTURA MEDIA (cm)
1	A	14,0	82,5	83,5
2	B	12,4	75,3	80,5
3	C	9,3	82,0	83,4
4	D	14,1	79,3	81,2
5	E’	13,6	76,2	79,4

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Tabla 12

Dimensiones promedio de los muretes por lote (Tensión diagonal)

N°	DESCRIPCIÓN	ESPESOR MEDIO (cm)	LONGITUD MEDIA (cm)
1	A	14,0	84,0
2	B	12,3	75,4
3	C	8,9	83,8
4	D	14,2	79,2
5	E'	13,5	76,3

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.2 ENSAYOS DE COMPONENTES

Los respectivos ensayos de: unidades de bloques, arena y mortero se realizaron en el LEMSUR – FICA.

3.2.1 ENSAYO DE ABSORCIÓN, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD DEL BLOQUE

Para determinar cada parámetro se requiere obtener la masa de la unidad:

- Tal como se recibe,
- Saturada,
- Sumergida,
- Seca al horno.

3.2.1.1 Procedimiento

El procedimiento bajo los lineamientos de la NTE INEN 3066 (2016) se realizó de la siguiente manera:

- Se determinó la masa de cada espécimen de los diferentes lotes de bloques el momento que llegaron a las instalaciones del CIV – EPN.

Figura 20. Masa de la unidad como se recibe

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

- Se sumergió las unidades de bloque en agua durante un período de 24 a 28 horas.

Figura 21. Tanque de inmersión para saturación del bloque

Elaborado por: Wilson Pillajo – Alexis Valdivieso

- Transcurrido ese tiempo se retiró del tanque de inmersión y se dejó escurrir por unos 60 segundos. Al observar exceso de agua se utilizó un paño húmedo para retirarla, luego cada unidad de bloque se colocó en la balanza y se registró su respectiva masa.

Figura 22. Masa de la unidad saturada

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

- Inmediatamente con ayuda de alambre galvanizado para obtener la masa de la unidad sumergida se registró cada valor obtenido mientras estuvo suspendido en una tina de agua.

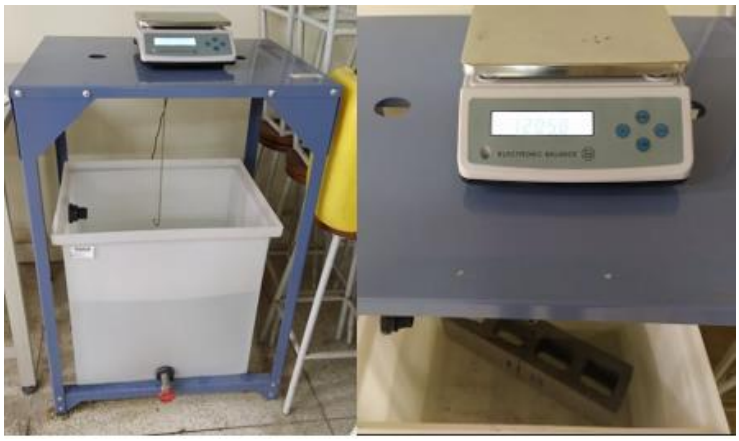


Figura 23. Masa de la unidad sumergida

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

- Posteriormente obtenidos los datos anteriores, en un horno a una temperatura entre 110 °C y 115 °C se secaron los bloques durante un período de 24 horas.

Figura 24. Horno de secado

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.2.1.2 Expresión de resultados

3.2.1.2.1 Absorción

El cálculo de la absorción se realizó con la siguiente ecuación:

$$Absorción, (\%) = \frac{M_s - M_d}{M_d} * 100 \quad (1)$$

Donde

M_s es la masa de la unidad saturada (kg),

M_d es la masa de la unidad seca al horno(kg),

3.2.1.2.2 Contenido de Humedad

El cálculo del contenido de humedad de la unidad entera se realizó con la siguiente ecuación:

$$Contenido\ de\ humedad, (\%) = \frac{M_r - M_d}{M_d} * 100 \quad (2)$$

Donde

M_r es la masa de la unidad tal como se recibe (kg),

M_d es la masa de la unidad seca al horno(kg),

M_s es la masa de la unidad saturada (kg).

3.2.1.2.3 Densidad

El cálculo de la densidad de la unidad entera se realizó con la siguiente ecuación:

$$Densidad\ (D), \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{M_d}{M_s - M_i} * 1000 \qquad (3)$$

Donde

M_d es la masa de la unidad seca al horno(kg),

M_s es la masa de la unidad saturada (kg),

M_i es la masa de la unidad sumergida (kg).

3.2.1.2.4 Área neta promedio

También se calculó el área neta de la unidad debido a que este valor se utiliza más adelante en el cálculo del ensayo de compresión. El cálculo se realizó con la siguiente ecuación:

$$Volumen\ neto\ (V_n), (mm^3) = \frac{M_d}{D} = (M_s - M_i) * 10^6 \qquad (4)$$

$$Área\ neta\ (A_n), (mm^2) = \frac{V_n}{h}$$

Donde

V_n es el volumen neto de la unidad (mm^3),

M_d es la masa de la unidad seca al horno(kg),

D es la densidad de la unidad seca (kg/m^3),

M_s es la masa de la unidad saturada (kg),

M_i es la masa de la unidad sumergida (kg),

A_n es el área neta de la unidad (mm^2), y

h es la altura promedio de la unidad (mm).

3.2.2 ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE UNIDADES DE BLOQUE (f'_b)

Las unidades manipuladas en el ensayo de densidad, absorción y contenido de humedad no se utilizan, pero el área neta, determinada en los ensayos ya mencionados es representativa para el ensayo a compresión simple.

3.2.2.1 Procedimiento

El procedimiento bajo los lineamientos de la NTE INEN 3066 (2016) se realizó de la siguiente manera:

- Para el ensayo se seleccionó 6 unidades de bloques de cada lote y se almacenaron en el LEMSUR – FICA hasta realizar el ensayo a compresión, esto debido a que las unidades no se pueden secar en el horno.

Figura 25. Unidades de bloques en el laboratorio

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

- Se procedió a realizar el refrentado de cada unidad que consiste en el recubrimiento de una capa de mortero (espesor máximo de 3mm) con dosificación arena fina - cemento 1:1, en ambas caras de la unidad de bloque con el fin de conseguir caras sin irregularidades y paralelas, de manera que la carga aplicada en el ensayo tenga una distribución correcta.

Figura 26. Refrentado unidades de bloques

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

- Durante el ensayo de la unidad de mampuesto se utilizó una placa de acero de 10 mm para uniformizar la distribución de la carga en la parte inferior y superior, respectivamente. La carga aplicada debe tener una velocidad adecuada hasta la mitad de la resistencia deseada y la carga restante se debe aplicar a una velocidad para que el ensayo finalice entre uno y dos minutos.

Figura 27. Ensayo a compresión simple de los bloques

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.2.2.2 Expresión de resultados

La resistencia a compresión se calculó con la siguiente ecuación:

$$f'_b = \frac{P_{máx}}{A_n} \quad (5)$$

Donde

f'_b es la resistencia a compresión del área neta (MPa),

$P_{máx}$ es la carga máxima de compresión, (N), y

A_n es el área neta de la unidad (mm^2).

3.2.3 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE LA ARENA

3.2.3.1 Procedimiento

El procedimiento según la ASTM C136/C136M-19 (2019) se realizó de la siguiente manera:

- Se tomó una muestra representativa y se colocó por 24 horas en un horno a una temperatura entre 110 °C y 115 °C, transcurrido ese tiempo se retiró y durante 1 hora se enfrió.
- Transcurrido ese tiempo se seleccionó 300 gr. de agregado fino (arena).

Figura 28. Muestra de arena para ensayo granulometría

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

- Se seleccionó los tamices (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200) y una bandeja recolectora, se ordenó en forma decreciente según el tamaño de abertura del tamiz, ver Figura 29. Una vez colocada los 300 gr. de arena se puso en la parte superior una tapa para agitarlos manualmente los tamices entre 3 y 5 minutos.

Figura 29. Ensayo de granulometría de la arena.

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

- Por último, de cada tamiz y bandeja recolectora se determinó la masa de arena retenida.

3.2.3.2 Expresión de resultados

Los resultados obtenidos se presentan más adelante en una tabla con los siguientes datos:

- Tamiz N°,
- Peso retenido,
- Porcentaje retenido,
- Porcentaje acumulado y
- Porcentaje que pasa de material por cada tamiz.

De acuerdo con la NTE INEN 872 (2011), el árido fino debe estar graduado dentro de los límites que se encuentran en la Tabla 13, así como también no debe tener más del 45 % pasante en cualquier tamiz y retenido en el siguiente consecutivo.

Tabla 13

Límites de granulometría áridos finos

TAMIZ N°	TAMAÑO ABERTURA	PORCENTAJE PASANTE	
	(mm)	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
No. 4	4,750	100,0	95,0
No. 8	2,360	100,0	80,0
No. 16	1,180	85,0	50,0
No. 30	0,600	60,0	25,0
No. 50	0,300	30,0	10,0
No. 100	0,150	10,0	2,0
No. 200	0,075	5,0	0,0

Fuente: (NTE INEN 872, 2011)

El módulo de finura según la NTE INEN 872 (2011), indica que debe estar entre los 2,3 – 3,1 para ser considerado como un valor normal en agregados finos y el cálculo se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$M.F = \frac{\sum \%\, Retenido\ Acumulado\ (Tamiz\ N°\ 4\ al\ N°100)}{100} \qquad (6)$$

3.2.4 DOSIFICACIÓN DE MORTERO DE PEGA

La dosificación de mortero se basa en la dosificación establecida en la Tabla 8, no obstante, esta tabla carece de la relación agua – cemento que se utilizó en la dosificación para esperar una resistencia adecuada para la presente investigación. Para ello se complementó con los valores obtenidos de la dosificación en volumen de los componentes del mortero (agua : cemento : arena) de acuerdo a la investigación elaborada por (López & Ushiña, 2017). Ver Tabla 14.

Tabla 14

Dosificación de morteros mediante ensayo de flujo

% Humedad de arena: 2,34%											
Relación Cemento arena	Cemento [cm^3]	Arena [cm^3]	Cantidad de agua agregada [cm^3]	Diámetro en mesa de flujo [cm]					% de flujo	Cantidad de agua agregada para un flujo de entre 110% ± 5% [cm^3]	Dosificación agua : cemento : arena [Volumen]
				D1	D2	D3	D4	Promedio			
1:3	100	300	110	25,5	25,6	25,5	25,4	25,5	155%	100	1.00 : 3 : 1
			100	21,0	21,5	20,8	21,0	21,1	111%		
1:4	100	400	120	15,0	15,0	14,0	14,5	14,6	46%	130	1.30 : 1: 4
			130	20,5	20,0	20,7	21,0	20,6	106%		
1:5	100	500	155	17,0	18,0	18,0	17,0	17,5	75%	160	1.60 : 1 : 5
			160	20,5	21,0	22,0	21,0	21,1	111%		
1:6	100	600	180	18,5	17,0	17,5	18,0	17,8	78%	185	1.85 : 1 : 6
			185	21,0	21,0	21,1	20,7	21,0	110%		
1:7	100	700	200	18,0	18,0	17,9	18,0	18,0	80%	210	2.10 : 1 : 7
			210	21,7	21,0	21,4	21,2	21,3	113%		
FECHA DE ENSAYO 28/OCT/2016											

Fuente: (López & Ushiña, 2017)

La Tabla 15 presenta los datos obtenidos en el ensayo a compresión de la investigación elaborada por (López & Ushiña, 2017).

Tabla 15

Esfuerzo máximo a compresión para diferentes dosificaciones de mortero

Dosificación [cemento-arena]	Esfuerzo máximo a compresión [kg/cm^2]
1 - 3	134,35
1 - 4	72,72
1 - 5	60,43
1 - 6	40,58
1 - 7	30,21

Fuente: (López & Ushiña, 2017)

3.2.4.1 Selección dosificación

La determinación de la dosificación de mortero de pega es esencial en la presente investigación, por lo tanto, se decidió utilizar una dosificación similar o cercana al valor de resistencia a compresión obtenido en las unidades de bloque tipo A y tipo B, por lo que se realizó mediante la siguiente dosificación indicada en la Tabla 16:

Tabla 16

Dosificación para resistencia mínima a compresión en mortero

TIPO DE MORTERO	RESISTENCIA MÍNIMA A COMPRESIÓN 28 DÍAS (MPa)	COMPOSICIÓN EN PARTES POR VOLUMEN		
		CEMENTO	AGUA	ARENA
M15	15	1	1	3

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.2.5 ENSAYO DE COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTERO DE PEGA (f'_j)

3.2.5.1 Fabricación.

Se procedió a realizar 9 cubos de mortero de 50mm x 50 mm x 50m, con una dosificación de 1:3. El procedimiento bajo los lineamientos de la ASTM C109/C109M – 21 (2020) se lo hizo de la siguiente manera:

- Definida la dosificación se mezcló mecánicamente la cantidad en volumen correcta de arena, agua y cemento
- Se colocó hasta la mitad del molde la dosificación de mortero indicada y mediante apisonado manual se compactó cada compartimiento cúbico 32 veces, 4 rondas de 8 golpes cada una en dirección perpendicular a la anterior. Se efectuó el mismo procedimiento para llenar cada compartimiento del molde para cubos de mortero, al final con ayuda de una espátula se retiró el exceso de mortero y se los colocó en la cámara de curado. Los mismos pasos se repitieron en los tres moldes triples para cubos de mortero.

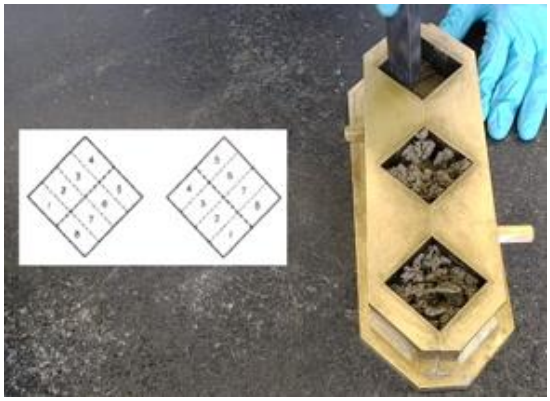


Figura 30. Moldes cúbicos de mortero

Elaborado por: Pillajo - Valdivieso

- Transcurridas 24 horas, los especímenes se retiraron de los moldes y se sumergieron en agua saturada con cal en tanques de almacenamiento hasta el día de su ensayo.

Figura 31. Tanques de almacenamiento de la cámara de curado

Elaborado por: Pillajo - Valdivieso

3.2.5.2 Ensayo

- El ensayo se realizó a la edad de 28 días, debido a que en ese período la muestra de cubo obtiene su mayor resistencia a la compresión.
- La Tabla 17 presenta la edad de ensayo y la tolerancia admisible.

Tabla 17

Tolerancia admisible para la edad de ensayo de cubos de mortero

EDAD DE ENSAYO	TOLERANCIA ADMISIBLE
24 horas	± 1⁄2 hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

Fuente: NTE INEN 488

- Se retiró las muestras de mortero de los tanques de almacenamiento de la cámara de curado, se secaron y se registró el valor de cada arista y su masa.

Figura 32. Cubo de mortero

Elaborado por: Pillajo - Valdivieso

- La muestra a ensayar se colocó con mucho cuidado en el centro de la máquina de ensayo, bajo el centro del cabezal del apoyo superior. Se procedió a ensayar con una de las caras del cubo a excepción de aquella expuesta en el llenado del molde.

Figura 33. Máquina de ensayo a compresión

Elaborado por: Pillajo - Valdivieso

- Se aplicó una velocidad de carga uniforme hasta el momento de rotura de cada espécimen de mortero. Se registró el valor de la carga máxima indicada en la máquina de ensayo.

3.2.5.3 Expresión de resultados

La resistencia a compresión de cada cubo de mortero se calculó de la siguiente manera:

$$f'_j = \frac{P_{máx}}{A} \quad (7)$$

Donde

f'_j es la resistencia a compresión del mortero (MPa),

$P_{máx}$ es la carga máxima de compresión, (N), y

A_n es el área del cubo de mortero (mm^2).

3.3 ENSAYO DE ESPECÍMENES DE MAMPOSTERÍA

3.3.1 FABRICACIÓN DE MURETES

Se construyó 50 muretes (10 por lote) para determinar la resistencia a compresión y tensión diagonal, 25 especímenes de mampostería respectivamente. De acuerdo con la ASTM C1314 – 18 (2018) y la ASTM E519/E519M − 21 (2021), el procedimiento para la construcción de los especímenes para los ensayos mencionados se realizó de la siguiente manera:

3.3.1.1 Fabricación

- Se limitó un espacio limpio y en su mayor parte nivelado del patio del CIV – EPN. Fue indispensable utilizar mano de obra local y herramientas propias de la construcción que garantizó que el murete este completamente aplomado y nivelado. En la base se utilizó madera tipo pallet para obtener una superficie mejor nivelada, una fácil manipulación durante su traslado y evitar golpes o caídas.

Figura 34. Muretes construidos en patios del CIV – EPN.

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

- Para adherir las unidades de mampuestos se utilizó un mortero cuya dosificación tiene la relación cemento – arena 1:3.

3.3.1.2 Curado

- Finalizada la construcción, los muretes se curaron durante los primeros 7 días para que el mortero no sufra cambios de temperatura bruscos.

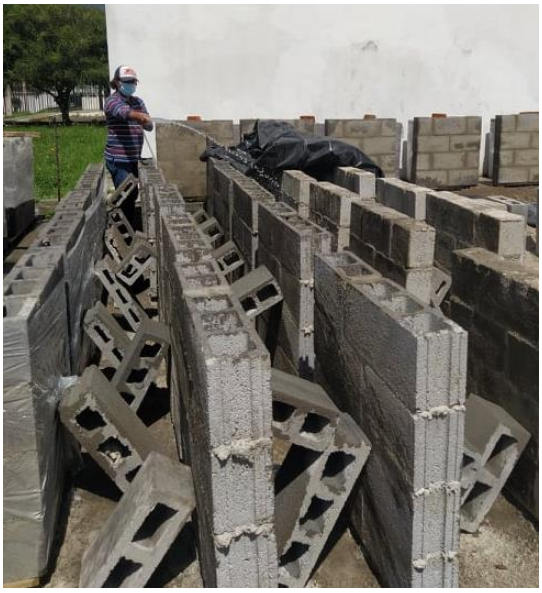


Figura 35. Curado de los muretes de bloque

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

- También, los muretes se cubrieron con plásticos de polietileno durante 14 días con la finalidad de protegerlos de la lluvia y el sol.

Figura 36. Curado de los muretes de bloque

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.3.1.3 Refrentado

Al igual que al refrentado en las unidades de bloques, se realizó el refrentado de las superficies de los muretes donde fue aplicada la carga en su respectivo ensayo, con el objetivo de corregir irregularidades para la distribución correcta de la fuerza en el espécimen antes de ser ensayado, para lo cual se utilizó una dosificación cemento – arena 1:1 para la mezcla. Para el ensayo a compresión se refrentó la cara superior e inferior, mientras que para el ensayo de tensión diagonal solo se refrentó en diagonal, desde la esquina superior e inferior hacia el centro a una distancia de 20 cm.

Figura 37. Refrentado ensayo compresión

Elaborado por: Pillajo –Valdivieso

3.3.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MURETES (f'_m)

3.3.2.1 Esquema LVDTs

El esquema de la colocación de los LVDTs en cada espécimen de murete que se utilizó en el ensayo a compresión es el siguiente: dos LVTDs verticales para controlar que la viga de soporte baje paralelamente durante la aplicación de carga, dos LVDTs verticales separados 150 mm del extremo del murete, con una distancia de medición de 45mm en la cara frontal y finalmente un LVDT horizontal con la misma medición ubicada en la cara posterior a la distancia media desde su base.

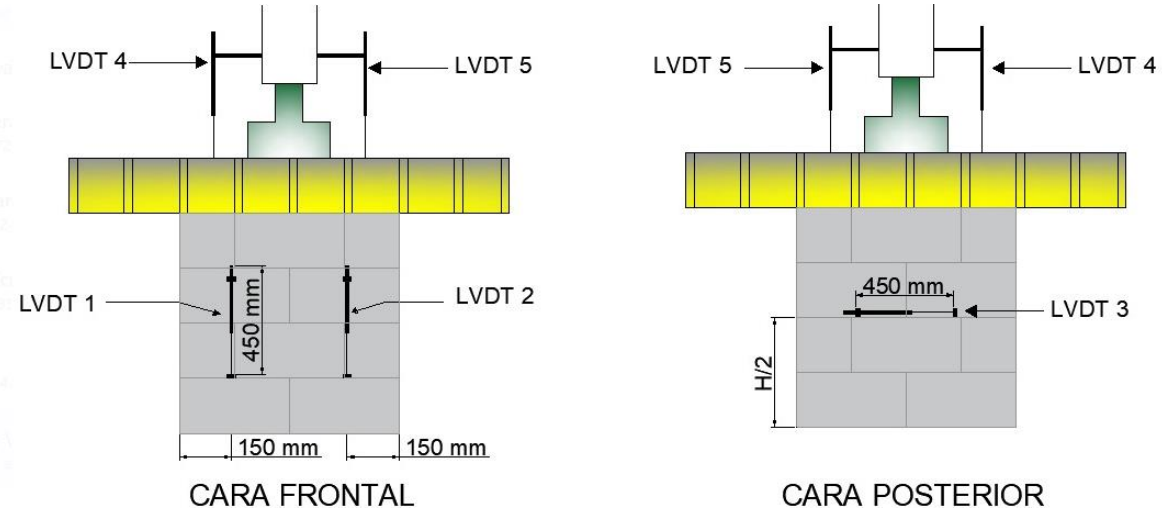


Figura 38. Esquema colocación LVDTs ensayo compresión

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.3.2.2 Colocación del murete

La colocación bajo el marco de carga se realizó mecánicamente con ayuda de un puente – grúa hasta su base y manualmente con personal apropiado hasta debajo de la viga. El espécimen a ensayarse debió estar centrado respecto a la celda de carga, completamente aplomado con la losa de reacción y la parte superior nivelada con la viga de acero.

3.3.2.3 Soportes ensayo a compresión

El ensayo a compresión utilizó al igual que en el ensayo de unidades de bloque una placa de acero de peralte considerable para uniformizar la distribución de la carga tanto en la parte superior e inferior. No obstante, al tener una losa de reacción no

necesitó una placa en la parte inferior, mientras tanto, para la parte superior se utilizó una viga de acero capaz de evitar deformaciones, ver Figura 39.

Figura 39. Colocación murete de bloque (Ensayo compresión)

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.3.2.4 Aplicación de carga

Según la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015), “la carga aplicada es con una velocidad constante hasta llegar al colapso del espécimen ensayado, la sensibilidad del equipo debe ser tal que la menor división de la escala de lectura sea menor o igual al 1% de la carga máxima” (pág. 56).

3.3.2.5 Expresión de Resultados

Antes de ser colocado el murete para su ensayo se tomó una medida de su espesor medio, longitud y altura medias. Al final del ensayo, se registró el valor máximo de carga.

3.3.3 ENSAYO DE TENSIÓN DIAGONAL EN MURETES (τ_m)

3.3.3.1 Esquema LVDTs

El esquema de la colocación de los LVDTs en cada espécimen de murete que se utilizó en el ensayo a tensión diagonal es el siguiente: dos LVTDs verticales para controlar que la viga de soporte baje nivelada durante la aplicación de carga, dos LVDTs verticales con una distancia de medición de 45mm en ambas caras.

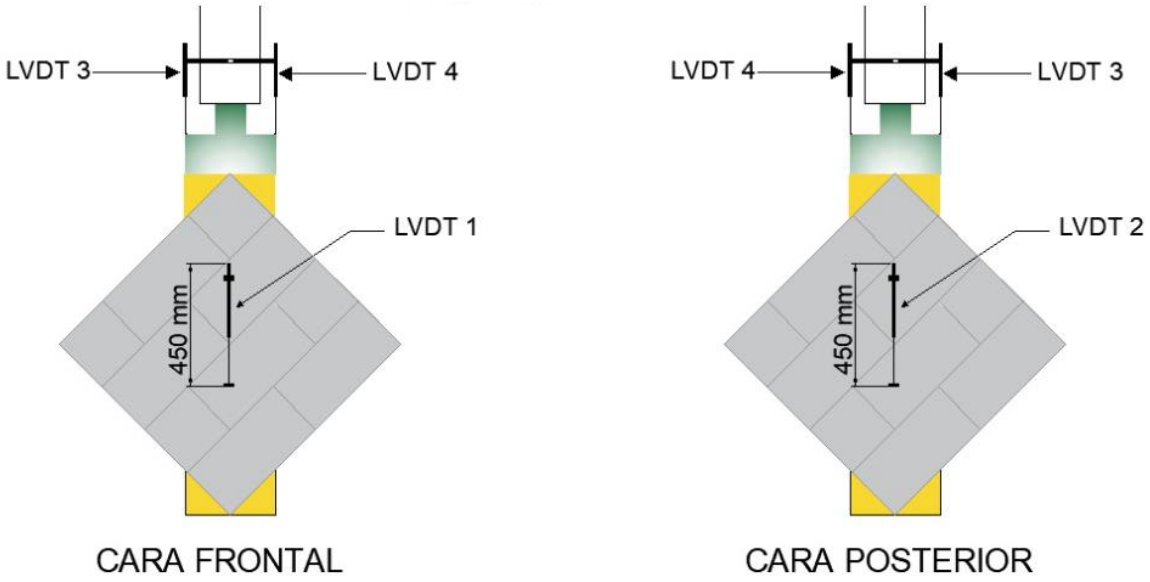


Figura 40. Esquema colocación LVDTs ensayo tensión diagonal

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.3.3.2 Soportes ensayo a tensión diagonal

El ensayo a tensión diagonal utilizó dos cabezales de carga de acero a 45° de longitud 150 mm para aplicar la carga en las superficies en contacto, sin embargo, si dicha longitud no es la requerida para el ensayo se puede añadir placas de acero de 10 mm de espesor, ver Figura 41.

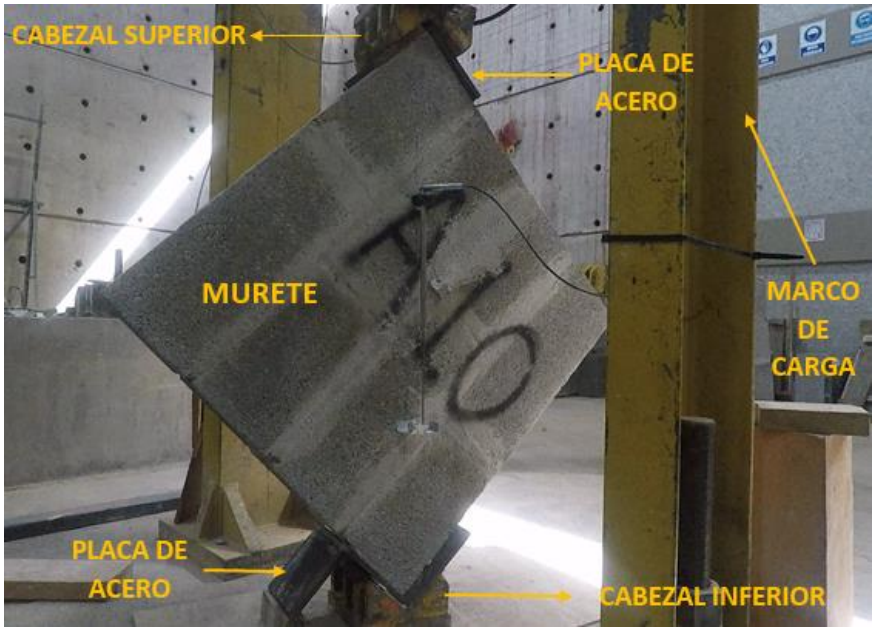


Figura 41. Colocación murete de bloque (Ensayo Tensión Diagonal)

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

3.3.3.3 Aplicación de carga

Según la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015), “la carga aplicada es con una velocidad constante hasta llegar al colapso del espécimen ensayado, la sensibilidad del equipo debe ser tal que la menor división de la escala de lectura sea menor o igual al 1% de la carga máxima” (pág. 56).

3.3.3.4 Expresión de Resultados

Antes de ser colocado el murete para su ensayo se tomó una medida de su espesor medio, longitud y altura medias. Al final del ensayo, se registró el valor máximo de carga.

CAPÍTULO 4
ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

4.1.1 TRATAMIENTO DE DATOS SEGÚN ASTM E178 – 16

Los datos obtenidos experimentalmente pueden arrojar datos atípicos por diferentes factores, es importante determinarlos debido a que estos valores son muy dispersos y conllevan a resultados finales no tan reales del ensayo realizado. Según la norma ASTM E178-16 (2016) el procedimiento para la eliminación de datos atípicos es el siguiente:

- Calcular la desviación estándar de todos los datos incluyendo los datos atípicos.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

Donde

$\bar{x}$: Media aritmética de la población

s: desviación estándar de la población

- Calcular el criterio de prueba denominado "T_n" para los valores obtenidos en el ensayo.

$$T_n = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} \quad (9)$$

- Determinar el valor crítico "T" que se encuentra en función del número de observaciones "n" y el nivel de significancia, este valor se encuentra detallado para cada uno de los ensayos realizado. El valor crítico se debe tomar de la Tabla 18.

Tabla 18

Valores críticos para "T".

Number of Observations, *n*	Upper 10% Significance Level	Upper 5% Significance Level	Upper 1% Significance Level
3	1.1484	1.1531	1.1546
4	1.4250	1.4625	1.4925
5	1.602	1.672	1.749
6	1.729	1.822	1.944
7	1.828	1.938	2.097
8	1.909	2.032	2.221
9	1.977	2.110	2.323
10	2.036	2.176	2.410
11	2.088	2.234	2.485
12	2.134	2.285	2.550
13	2.175	2.331	2.607
14	2.213	2.371	2.659
15	2.247	2.409	2.705
16	2.279	2.443	2.747
17	2.309	2.475	2.785
18	2.335	2.504	2.821
19	2.361	2.532	2.854
20	2.385	2.557	2.884
21	2.408	2.580	2.912
22	2.429	2.603	2.939
23	2.448	2.624	2.963
24	2.467	2.644	2.987
25	2.486	2.663	3.009
26	2.502	2.681	3.029
27	2.519	2.698	3.049
28	2.534	2.714	3.068
29	2.549	2.730	3.085
30	2.563	2.745	3.103
35	2.628	2.811	3.178
40	2.682	2.866	3.240
45	2.727	2.914	3.292
50	2.768	2.956	3.336

Fuente: (ASTM E178-16, 2016)

- Si $Tn \geq T$ es un valor atípico y se lo rechaza, omitiendo este valor en todos los cálculos futuros, caso contrario el dato se lo acepta.

4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES

Los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados en el LEMSUR - FICA y en el CIV – EPN se presentan a continuación:

4.2.1 ENSAYO DE ABSORCIÓN, CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD DEL BLOQUE

La Tabla 19 muestra los datos obtenidos en el ensayo de absorción, contenido de humedad y densidad según la NTE INEN 3066 (2016).

Tabla 19

Datos obtenidos ensayo Absorción, Contenido de humedad y Densidad

DESCRIPCIÓN	ANCHO (cm)	LARGO (cm	ALTO (cm)	MASA INICIAL (kg)	MASA SATURADA (kg)	MASA SUMERGIDA (kg)	MASA SECA (kg)
I A	14,00	49,25	20,25	15,35	16,18	8,85	14,85
II A	14,00	49,25	20,00	15,19	15,95	8,75	14,62
III A	14,25	49,25	20,00	15,23	16,05	8,75	14,68
I B	12,40	49,00	18,75	12,77	13,25	7,35	12,35
II B	12,30	49,00	18,75	12,69	13,10	7,20	12,15
III B	12,50	49,00	19,00	13,36	13,75	7,60	12,85
I C	9,25	49,25	20,25	10,87	11,40	6,30	10,45
II C	9,25	49,25	20,00	10,90	11,35	6,30	10,50
III C	9,00	49,25	20,00	10,50	11,10	6,20	10,30
I D	14,00	39,00	19,00	12,57	13,65	7,30	12,35
II D	14,00	39,00	19,00	12,41	13,50	7,25	12,26
III D	14,25	39,00	19,00	12,69	13,85	7,40	12,52
I E’	13,50	37,75	18,75	7,62	8,05	3,10	6,33
II E’	13,50	37,75	18,50	8,05	8,50	3,25	6,79
III E’	13,50	37,50	18,50	7,48	7,95	3,00	6,45

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo de los ensayos antes mencionados de la unidad I D.

- **Absorción**

$$Absorción, (\%) = \frac{M_s - M_d}{M_d} * 100$$

$$Absorción, (\%) = \frac{13{,}65 - 12{,}35}{12{,}35} * 100$$

$$Absorción, (\%) = 10{,}52$$

- **Contenido de humedad**

$$Contenido\ de\ humedad, (\%) = \frac{M_r - M_d}{M_d} * 100$$

$$Contenido\ de\ humedad, (\%) = \frac{12{,}57 - 12{,}35}{12{,}35} * 100$$

$$Contenido\ de\ humedad, (\%) = 1{,}79$$

- **Densidad**

$$Densidad\ (D), \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{M_d}{M_s - M_i} * 1000$$

$$Densidad\ (D), \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{12.35}{13{,}65 - 7{,}30} * 1000$$

$$Densidad\ (D), \left(\frac{kg}{m^3}\right) = 1945{,}36$$

- **Área neta**

$$Área\ neta\ (A_n), (cm^2) = \frac{(M_s - M_i) * 10^4}{h}$$

$$Área\ neta\ (A_n), (cm^2) = \frac{(13{,}65 - 7{,}30) * 10^4}{190}$$

$$Área\ neta\ (A_n), (cm^2) = 334{,}21$$

La Tabla 20 muestra los resultados obtenidos para los diferentes lotes.

Tabla 20

Resultados de los ensayos realizados

N°	DESCRIPCIÓN	ABSORCIÓN (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (kg/m3)	ÁREA NETA PROMEDIO (cm2)
LOTE A	I A	8,98	3,38	2026,40	361,82
	II A	9,12	3,92	2028,98	360,23
	III A	9,32	3,79	2012,63	364,65
PROMEDIO		**9,14**	**3,69**	**2022,67**	**362,23**
DESVIACIÓN		0,17	0,28	8,79	2,24
COEF. VARIACIÓN		1,87%	7,69%	0,43%	0,62%
LOTE B	I B	7,33	3,38	2090,10	315,09
	II B	7,75	4,41	2062,39	314,33
	III B	6,96	3,92	2088,92	323,84
PROMEDIO		**7,35**	**3,90**	**2080,47**	**317,75**
DESVIACIÓN		0,39	0,51	15,67	5,29
COEF. VARIACIÓN		5,33%	13,15%	0,75%	1,66%
LOTE C	I C	9,09	4,08	2048,62	251,78
	II C	8,13	3,86	2080,31	252,27
	III C	7,77	1,99	2102,39	244,95
PROMEDIO		**8,33**	**3,31**	**2077,11**	**249,67**
DESVIACIÓN		0,68	1,15	27,03	4,09
COEF. VARIACIÓN		8,19%	34,71%	1,30%	1,64%
LOTE D	I D	10,52	1,79	1945,36	334,16
	II D	10,16	1,21	1959,88	329,18
	III D	10,65	1,37	1940,84	339,48
PROMEDIO		**10,44**	**1,46**	**1948,70**	**334,28**
DESVIACIÓN		0,21	0,25	8,12	4,21
COEF. VARIACIÓN		1,99%	16,94%	0,42%	1,26%
LOTE E'	I E'	27,22	20,45	1279,50	263,73
	II E'	25,04	18,53	1295,17	283,56
	III E'	23,42	16,12	1300,18	267,95
PROMEDIO		**25,23**	**18,37**	**1291,62**	**271,75**
DESVIACIÓN		1,91	2,17	10,79	10,44
COEF. VARIACIÓN		7,57%	11,81%	0,84%	3,84%

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Al comparar los valores de la Tabla 4 y Tabla 20 se puede clasificar los bloques de hormigón de los diferentes lotes según su densidad, ver Tabla 21:

Tabla 21

Clasificación según la densidad de los lotes de bloques

N°	CLASIFICACIÓN SEGÚN SU DENSIDAD
LOTE A	NORMAL
LOTE B	NORMAL
LOTE C	NORMAL
LOTE D	MEDIANO
LOTE E'	LIVIANO

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

4.2.2 ENSAYO COMPRESIÓN UNIDADES DE BLOQUE

Los resultados obtenidos en el ensayo a compresión de las 6 unidades por cada lote según la NTE INEN 3066 (2016) se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22

Resultados obtenidos en el ensayo a compresión de las unidades de bloque

DESCRIP-CIÓN	CARGA ROTURA (KN)	ÁREA NETA (cm^2)	ESFUERZO NETO (MPa)	DESCRIP-CIÓN	CARGA ROTURA (KN)	ÁREA NETA (cm^2)	ESFUERZO NETO (MPa)
A1	301,80	362,10	8,33	C4	199,50	250,70	7,96
A2	210,10	362,70	5,79	C5	296,20	251,10	11,80
A3	344,70	363,90	9,47	C6	218,20	251,90	8,66
A4	287,20	371,40	7,73	D1	553,40	335,10	16,51
A5	175,30	363,30	4,83	D2	442,90	329,40	13,45
A6	323,50	362,10	8,93	D3	529,30	334,00	15,85
B1	598,00	303,00	19,74	D4	329,50	335,10	9,83
B2	599,00	302,50	19,80	D5	554,40	334,00	16,60
B3	945,90	305,60	30,95	D6	259,50	334,00	7,77
B4	605,90	319,20	18,98	E'1	138,80	273,00	5,08
B5	657,40	300,00	21,91	E'2	125,00	271,00	4,61
B6	676,90	308,20	21,96	E'3	91,80	265,80	3,45
C1	243,70	250,20	9,74	E'4	98,20	274,50	3,58
C2	251,20	249,80	10,06	E'5	127,10	273,50	4,65
C3	227,80	255,30	8,92	E'6	85,60	275,50	3,11

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Con los datos obtenidos de la resistencia a la compresión de las unidades de bloques, mediante el análisis estadístico según la ASTM E178 – 16 (2016) se determina los valores atípicos detallados en la sección 4.1.1 y se presenta en la Tabla 23.

Tabla 23

Análisis estadístico ASTM E178 – 16, unidades de bloque por lotes

N°	DESCRIPCIÓN	ESFUERZO NETO (MPa)	PROME-DIO	DESVIA-CIÓN	T_n	T	CONCLUSIÓN
1	A1	8,33	7,52	1,83	0,447	1,729	V. ACEPTADO
2	A2	5,79			0,941		V. ACEPTADO
3	A3	9,47			1,069		V. ACEPTADO
4	A4	7,73			0,119		V. ACEPTADO
5	A5	4,83			1,469		V. ACEPTADO
6	A6	8,93			0,775		V. ACEPTADO
7	B1	19,74	22,22	4,45	0,560		V. ACEPTADO
8	B2	19,80			0,545		V. ACEPTADO
9	B3	30,95			1,962		V. ATÍPICO
10	B4	18,98			0,729		V. ACEPTADO
11	B5	21,91			0,070		V. ACEPTADO
12	B6	21,96			0,059		V. ACEPTADO
13	C1	9,74	9,52	1,35	0,162		V. ACEPTADO
14	C2	10,06			0,397		V. ACEPTADO
15	C3	8,92			0,446		V. ACEPTADO
16	C4	7,96			1,163		V. ACEPTADO
17	C5	11,80			1,690		V. ACEPTADO
18	C6	8,66			0,640		V. ACEPTADO
19	D1	16,51	13,33	3,75	0,848		V. ACEPTADO
20	D2	13,45			0,030		V. ACEPTADO
21	D3	15,85			0,670		V. ACEPTADO
22	D4	9,83			0,934		V. ACEPTADO
23	D5	16,60			0,870		V. ACEPTADO
24	D6	7,77			1,484		V. ACEPTADO
25	E’1	5,08	4,08	0,80	1,254		V. ACEPTADO
26	E’2	4,61			0,665		V. ACEPTADO
27	E’3	3,45			0,783		V. ACEPTADO
28	E’4	3,58			0,628		V. ACEPTADO
29	E’5	4,65			0,708		V. ACEPTADO
30	E’6	3,11			1,216		V. ACEPTADO

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

El único valor atípico encontrado en los lotes que se observa en la Tabla 23 es el valor de la unidad de bloque B3, por lo tanto, ese valor es descartado y se realiza de nuevo el análisis estadístico. La Tabla 24 muestra el análisis estadístico corregido del lote B.

Tabla 24

Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, unidades de bloque lote B

DESCRIPCIÓN	ESFUERZO NETO (MPa)	T_n	T 10% Nivel de significancia	CONCLUSIÓN
B1	19,74	0,54	1,729	V. ACEPTADO
B2	19,80	0,49		V. ACEPTADO
B4	18,98	1,09		V. ACEPTADO
B5	21,91	1,05		V. ACEPTADO
B6	21,96	1,08		V. ACEPTADO
Promedio	20,48			
Desviación estándar	1,37			

Elaborado por: Wilson Pillajo – Alexis Valdivieso

Una vez finalizado el análisis estadístico los bloques de hormigón según su resistencia y su uso se clasifican en:

Tabla 25

Clasificación de bloques según su resistencia y su uso.

LOTE	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	CLASIFICACIÓN SEGÚN SU RESISTENCIA	CLASIFICACIÓN SEGÚN SU USO
A	7,52	B	MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL
B	20,48	A	MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL
C	9,52	B	MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL
D	13,33	A	MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL
E	4,08	B	MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

4.2.3 ENSAYO GRANULOMÉTRICO (ARENA)

Los resultados obtenidos en el LEMSUR - FICA del ensayo granulométrico de la arena según la ASTM C136/C136M-19 (2019) se presentan a continuación:

Tabla 26

Resultados obtenidos ensayo granulométrico

TAMIZ N°	TAMAÑO ABERTURA	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
	(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)
	10				
No. 4	4,750	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 8	2,360	8,7	2,9	2,9	97,1
No. 16	1,180	62,1	20,7	23,6	76,4
No. 30	0,600	85,1	28,4	51,9	48,1
No. 50	0,300	82,8	27,6	79,5	20,5
No. 100	0,150	46,0	15,3	94,9	5,1
No. 200	0,075	14,2	4,7	99,6	0,4
BANDEJA	-	1,2	0,4	100,0	0,0
	TOTAL	300,1			

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

De los resultados presentados en la Tabla 26 y tomando en cuenta la Tabla 13, dónde se determina el límite superior y límite inferior de una arena fina, se procede a graficarla. Como resultado se muestra una arena fina dentro de los límites, ver Figura 42.

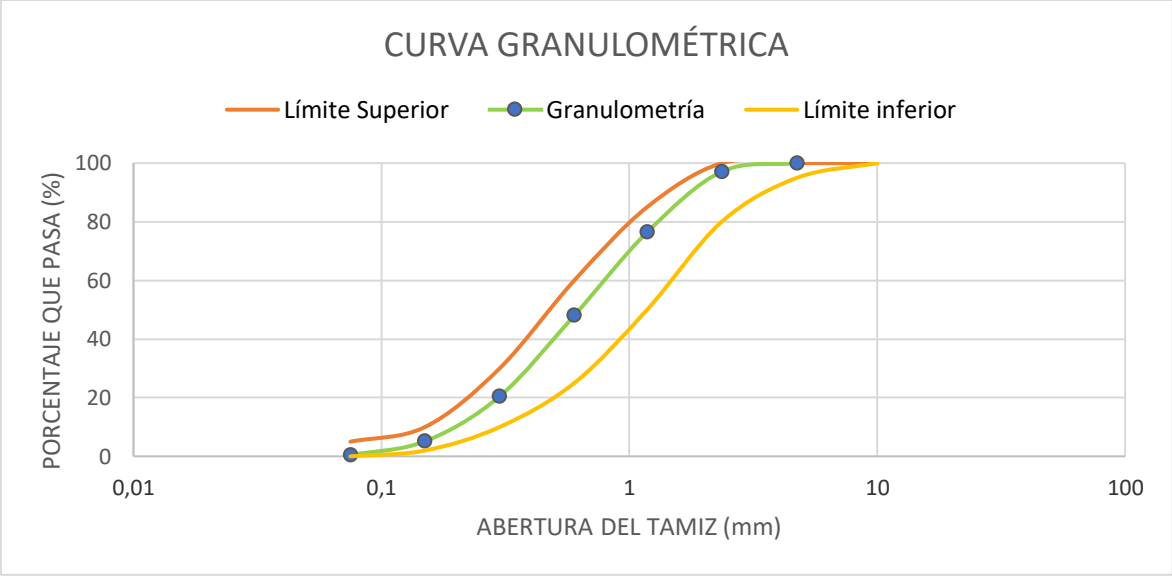


Figura 42. Curva Granulométrica de la arena

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

El módulo de finura, según la ASTM C136/C136M-19 (2019) se considera como agregado fino los valores comprendidos entre 2,50 y 3,00.

El módulo de finura se calcula introduciendo en (6) los resultados de porcentaje acumulado que se observan en la Tabla 26.

$$M.F = \frac{\sum \%\ Retenido\ Acumulado\ (Tamiz\ N°\ 4\ al\ N°100)}{100}$$

$$M.F = \frac{0 + 2{,}9 + 23{,}6 + 51{,}9 + 79{,}5 + 94{,}9 + 99{,}6 + 100}{100}$$

$$M.F = \frac{252{,}8}{100} = 2{,}53$$

El valor obtenido garantiza que la arena se puede utilizar como mortero ya que posee un M.F dentro del límite.

4.2.4 ENSAYO RESISTENCIA CUBOS DE MORTERO

Los datos obtenidos en el LEMSUR – FICA según la ASTM C109/C109M − 21 (2020), se muestran a continuación:

Tabla 27

Resultados ensayo cubos de mortero

N°	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	PESO (g)	CARGA (kN)	ESFUERZO (MPa)
1	7/2/2022	3/3/2022	24	266,3	21,88	8,75
2	7/2/2022	3/3/2022	24	268,6	26,23	10,49
3	7/2/2022	3/3/2022	24	262,1	24,44	9,78
4	7/2/2022	3/3/2022	24	286,9	23,09	9,24
5	7/2/2022	3/3/2022	24	267,6	23,2	9,28
6	7/2/2022	3/3/2022	24	269,6	26,91	10,76
7	7/2/2022	3/3/2022	24	275,6	17,75	7,10
8	7/2/2022	3/3/2022	24	277,8	22,06	8,82
9	7/2/2022	3/3/2022	24	272,1	26,51	10,60

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Con los datos obtenidos de la resistencia a la compresión de los cubos de mortero mediante el análisis estadístico según la ASTM E178 – 16 (2016) se determina los valores atípicos detallados en la sección 4.1.1 y se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28

Análisis estadístico ASTM E178 – 16, cubos de mortero

N°	ESFUERZO (MPa)	T_n	T	CONCLUSIÓN
1	8,75	0,582	1,977	V. ACEPTADO
2	10,49	0,921		V. ACEPTADO
3	9,78	0,303		V. ACEPTADO
4	9,24	0,164		V. ACEPTADO
5	9,28	0,126		V. ACEPTADO
6	10,76	1,156		V. ACEPTADO
7	7,10	2,009		V. ATÍPICO
8	8,82	0,519		V. ACEPTADO
9	10,60	1,018		V. ACEPTADO
PROMEDIO	9,43			
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,16			

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

El valor del cubo de mortero 7 se elimina por ser un valor atípico y se realiza de nuevo el análisis estadístico, ver Tabla 29.

Tabla 29

Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, cubos de mortero.

N°	ESFUERZO (MPa)	T_n	T	CONCLUSIÓN
1	8,75	1,184	1,977	V. ACEPTADO
2	10,49	0,953		V. ACEPTADO
3	9,78	0,074		V. ACEPTADO
4	9,24	0,590		V. ACEPTADO
5	9,28	0,536		V. ACEPTADO
6	10,76	1,287		V. ACEPTADO
8	8,82	1,096		V. ACEPTADO
9	10,60	1,091		V. ACEPTADO
PROMEDIO	9,72			
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,81			

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Una vez finalizado el análisis estadístico se obtiene una resistencia a compresión promedio del mortero de 9,72 MPa.

4.2.5 ENSAYO COMPRESIÓN EN MURETES DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE

El ensayo a compresión de los muretes de bloque se realizó con ayuda técnica del CIV – EPN tomando como referencias: la ASTM C1314 − 18 y la investigación de posgrado de Pachano.

4.2.5.1 Esfuerzo de compresión de la mampostería (f'_m)

Los resultados obtenidos en el CIV – EPN de los lotes A, B, C, D y E' de los muretes de mampostería de bloques se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30

Resultados obtenidos en el ensayo a compresión

DESCRIP-CIÓN	CARGA MÁXIMA REGISTRADA (T)	ESFUERZO A COMPRESIÓN (MPa)
A1	52,061	8,31
A2	52,468	8,37
A3	44,800	7,15
A4	52,257	8,34
A5	66,822	10,66
B1	79,510	15,92
B2	77,160	15,45
B3	72,300	14,48
B4	75,300	15,08
B5	77,054	15,43
C1	45,219	10,37
C2	38,208	8,76
C3	56,277	12,90
C4	45,804	10,50
C5	42,971	9,85

DESCRIP-CIÓN	CARGA MÁXIMA REGISTRADA (T)	ESFUERZO A COMPRESIÓN (MPa)
D1	52,284	7,53
D2	64,261	9,25
D3	89,900	12,95
D4	93,300	13,44
D5	82,571	11,89
E'1	31,905	6,69
E'2	35,616	7,47
E'3	30,192	6,33
E'4	31,402	6,59
E'5	32,256	6,76

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

La Figura 43 indica el modo de falla que se pudo observar en los lotes A, B y D, se caracterizan por la aparición de fisuras verticales en las caras laterales desde el apoyo superior y se extiende al apoyo inferior, terminando en una falla explosiva. El Anexo E presenta más a detalle la falla a compresión de cada murete.

Figura 43. Modo de falla a compresión muretes mampostería lotes A, B y D

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

La Figura 44 muestra el modo de falla que se pudo observar en el lote C, presenta una falla de flexo – compresión, aparición de fisuras verticales en esquinas o centro de la parte comprimida del murete. El Anexo E presenta más a detalle el modo de falla a compresión de cada murete.

Figura 44. Modo de falla a compresión muretes mampostería lote C

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

La Figura 45 muestra el modo de falla que se pudo observar en el lote E', la mayoría de los muretes de este lote empiezan con la aparición de fisuras verticales y continúan con una falla de tensión diagonal ya que tienden a tener forma escalonada siguiendo la junta de mortero. El Anexo E presenta más a detalle el modo de falla a compresión de cada murete.

Figura 45. Modo de falla a compresión muretes mampostería lote E'

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Con los datos obtenidos de la resistencia a la compresión de los muretes de mampostería de bloque, ver Tabla 30, se realiza el análisis estadístico según la ASTM E178 – 16 (2016) para determinar los valores atípicos detallados en la sección 4.1.1 detallados en la Tabla 31:

Tabla 31

Análisis estadístico ASTM E178 – 16, muretes de mampostería por lotes del ensayo a compresión

DESCRIPCIÓN	PROMEDIO f'_m (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	T_n	T	CONCLUSIÓN
A1	8,57	1,28	0,202	1,602	V. ACEPTADO
A2			0,151		V. ACEPTADO
A3			1,107		V. ACEPTADO
A4			0,177		V. ACEPTADO
A5			1,637		V. ATÍPICO
B1	15,27	0,54	1,214		V. ACEPTADO
B2			0,335		V. ACEPTADO
B3			1,483		V. ACEPTADO
B4			0,361		V. ACEPTADO
B5			0,295		V. ACEPTADO
C1	10,47	1,52	0,072		V. ACEPTADO
C2			1,130		V. ACEPTADO
C3			1,597		V. ACEPTADO
C4			0,016		V. ACEPTADO
C5			0,411		V. ACEPTADO
D1	11,01	2,53	1,376		V. ACEPTADO
D2			0,694		V. ACEPTADO
D3			0,765		V. ACEPTADO
D4			0,958		V. ACEPTADO
D5			0,348		V. ACEPTADO
E'1	6,77	0,42	0,182		V. ACEPTADO
E'2			1,650		V. ATÍPICO
E'3			1,028		V. ACEPTADO
E'4			0,431		V. ACEPTADO
E'5			0,009		V. ACEPTADO

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Cómo se observa en la Tabla 31, el valor del murete A5 y E'2 son valores atípicos encontrados en todos los muretes, por lo tanto, se procede a descartarlos y se realiza de nuevo el análisis estadístico de los valores descritos en la Tabla 32 de los lotes A y E'.

Tabla 32

Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, muretes de mampostería por lotes

DESCRIPCIÓN	PROMEDIO f'_m (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	T_n	T	CONCLUSIÓN
A1	8,04	0,60	0,202	1,602	V. ACEPTADO
A2			0,151		V. ACEPTADO
A3			1,107		V. ACEPTADO
A4			0,177		V. ACEPTADO
E'1	6,59	0,19	0,182		V. ACEPTADO
E'3			1,028		V. ACEPTADO
E'4			0,431		V. ACEPTADO
E'5			0,009		V. ACEPTADO

Elaborado por: Wilson Pillajo – Alexis Valdivieso

Finalizado el análisis estadístico se obtiene un promedio de la resistencia máxima a compresión de cada lote detallada en la Tabla 33:

Tabla 33

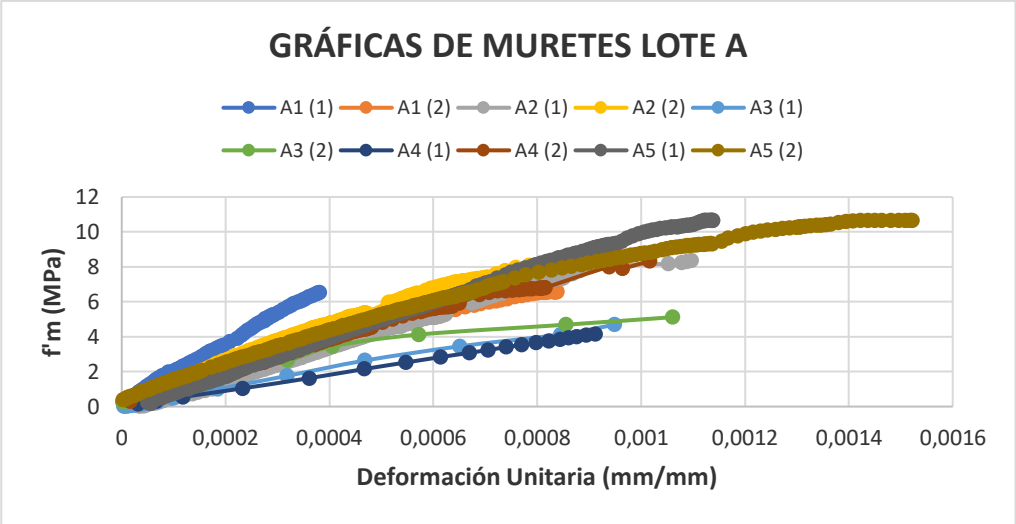
Resistencia a compresión promedio de los muretes de mampostería

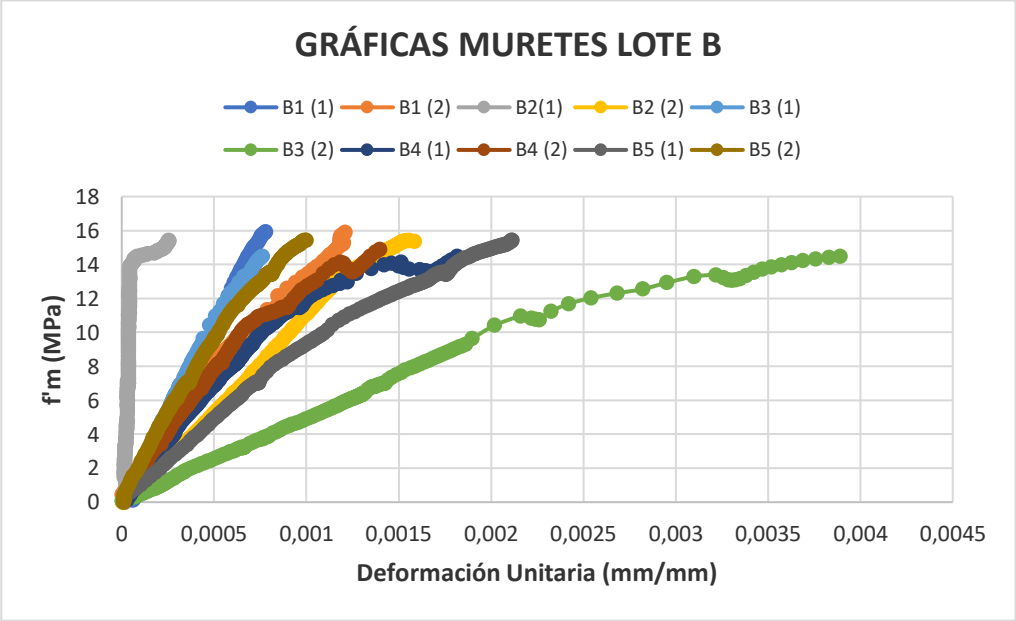
CLASE	LOTE	PROMEDIO f'_m (MPa)	PROMEDIO f'_m SEGÚN SU CLASE (MPa)
CLASE A MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	B	15,27	13,14
	D	11,01	
CLASE B MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL	A	8,04	8,37
	C	10,47	
	E'	6,59	

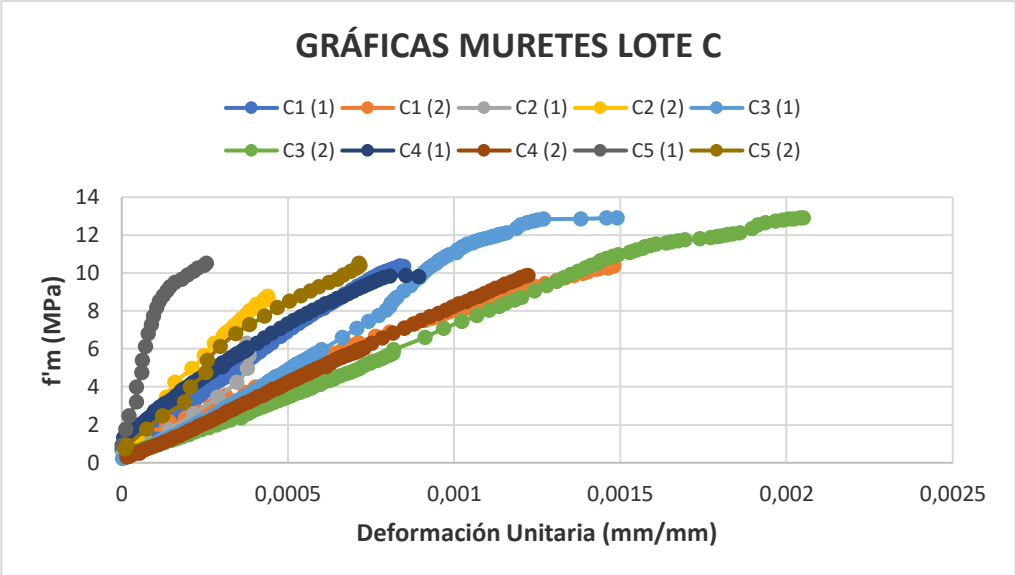
Elaborado por: Wilson Pillajo – Alexis Valdivieso

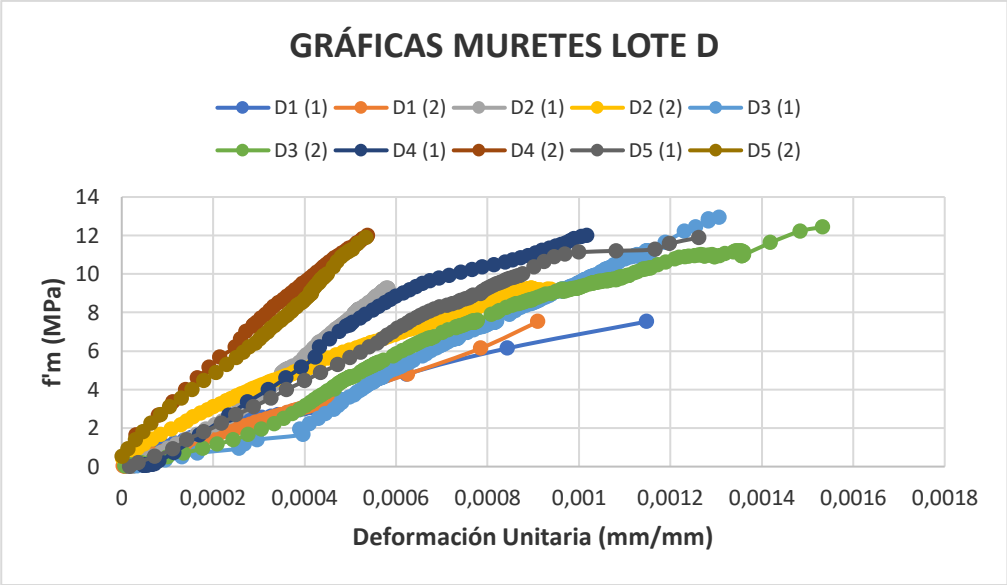
4.2.5.2 Módulo de elasticidad de la mampostería (E_m)

La Figura 46 muestra las gráficas de las curvas de esfuerzo – deformación unitaria de los lotes A, B, C, D y E' respectivamente, del ensayo a compresión. La curva se encuentra identificada por lote y número de espécimen ensayado de la siguiente manera: B1 (1) corresponde a la curva generada por el LVDT vertical 1 y B1 (2) corresponde a la curva generada por el LVDT vertical 2. El Anexo E detalla las curvas obtenidas de cada murete.


GRÁFICAS DE MURETES LOTE A
A1 (1)
A1 (2)
A2 (1)
A2 (2)
A3 (1)
A3 (2)
A4 (1)
A4 (2)
A5 (1)
A5 (2)
f'm (MPa)
0
2
4
6
8
10
12
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
0,0014
0,0016
Deformación Unitaria (mm/mm)


GRÁFICAS MURETES LOTE B
B1 (1)
B1 (2)
B2(1)
B2 (2)
B3 (1)
B3 (2)
B4 (1)
B4 (2)
B5 (1)
B5 (2)
f'm (MPa)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
0,0025
0,003
0,0035
0,004
0,0045
Deformación Unitaria (mm/mm)


GRÁFICAS MURETES LOTE C
C1 (1)
C1 (2)
C2 (1)
C2 (2)
C3 (1)
C3 (2)
C4 (1)
C4 (2)
C5 (1)
C5 (2)
f'm (MPa)
0
2
4
6
8
10
12
14
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
0,0025
Deformación Unitaria (mm/mm)



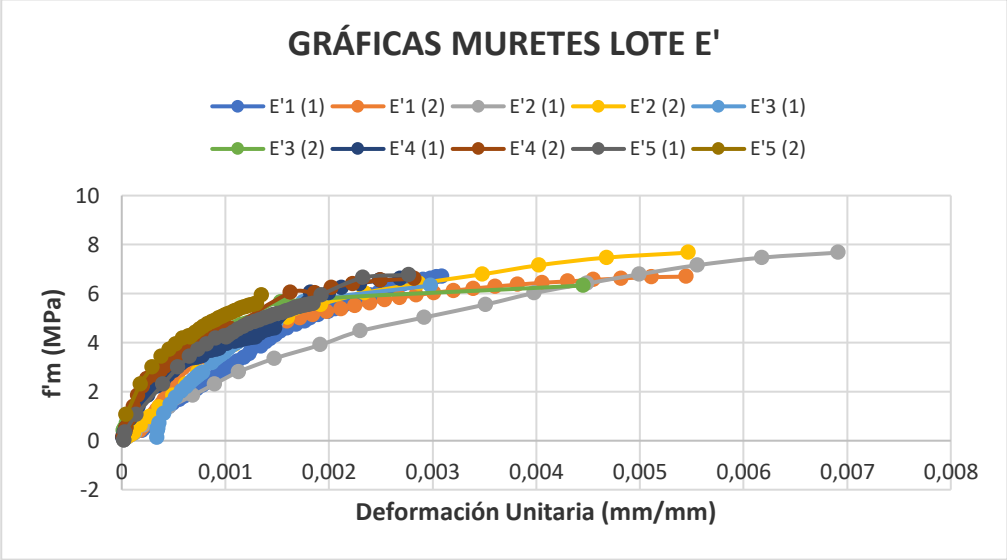
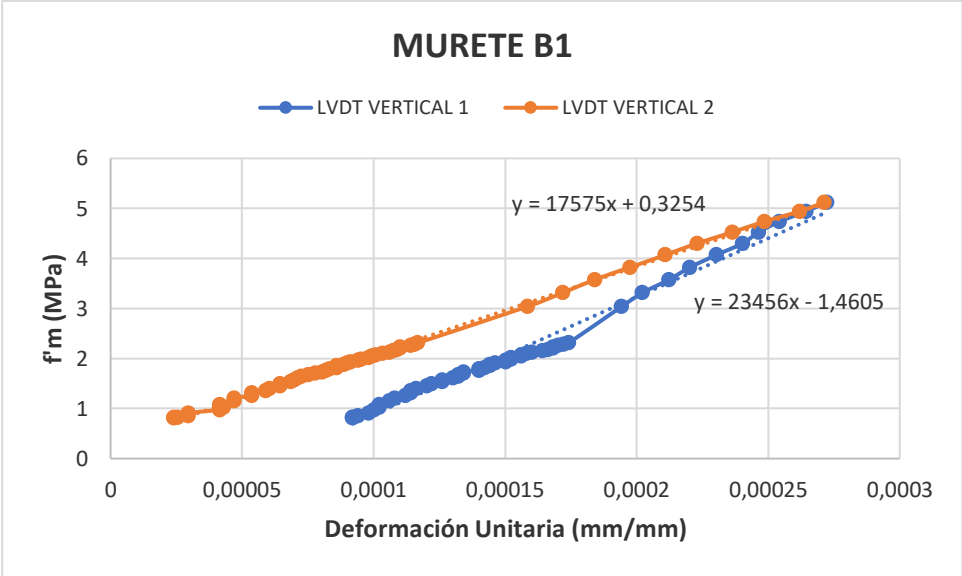


Figura 46. Curvas esfuerzo – deformación unitaria de los lotes de muretes ensayo a compresión

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

El módulo de elasticidad secante de la mampostería se calcula dentro del rango del 5% y 33 % de la gráfica esfuerzo – deformación unitaria de cada curva obtenida anteriormente. La Figura 47 muestra un ejemplo de la gráfica del rango mencionado de cada LVDT vertical en los muretes B1 y D4, y sus respectivas líneas de tendencia y ecuación de donde se obtiene el módulo de elasticidad. El Anexo E detalla las curvas obtenidas de cada murete con sus respectivas líneas de tendencia y ecuaciones.



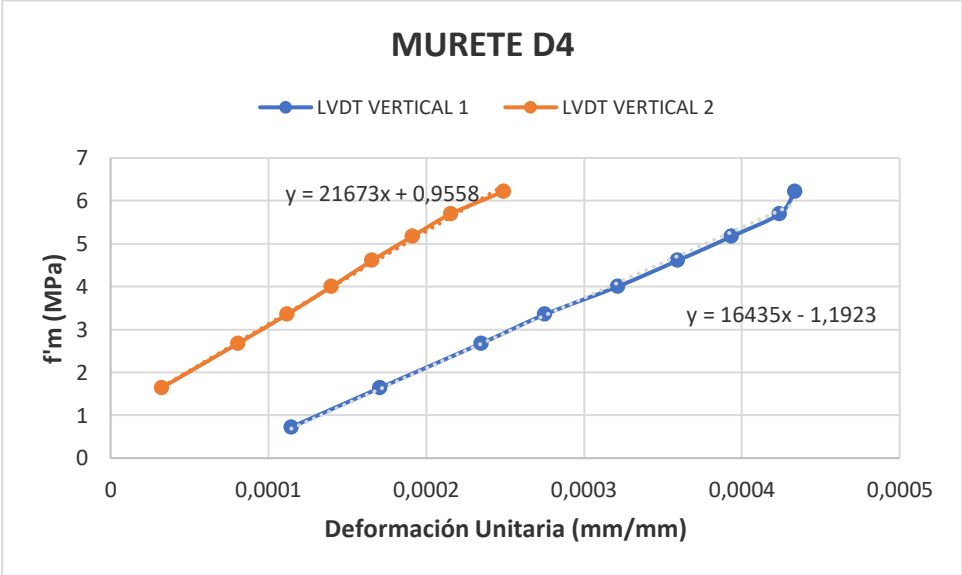


Figura 47. Líneas de tendencia y ecuaciones para obtener módulo elasticidad

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

La Tabla 34 muestra un resumen de los módulos de elasticidad obtenidos de la lectura de cada LVDT vertical correspondiente a cada murete.

Tabla 34

Módulos de elasticidad de mampostería de bloque

DESCRIPCIÓN	LVDT VERTICAL 1	LVDT VERTICAL 2	DESCRIPCIÓN	LVDT VERTICAL 1	LVDT VERTICAL 2
A1	17515,0	9114,6	D1	7475,9	7605,7
A2	9755,1	12804,0	D2	12498,0	13407,0
A3	5050,9	4800,0	D3	15790,0	14710,0
A4	4620,3	8660,5	D4	16435,0	21673,0
A5	10445,0	10132,0	D5	12072,0	19536,0
B1	23456,0	17575,0	E'1	3529,4	5439,7
B2	178708,0	10334,0	E'2	2792,8	3913,4
B3	22324,0	4942,4	E'3	6400,3	6822,2
B4	14865,0	15702,0	E'4	6450,7	11941,0
B5	9736,6	20823,0	E'5	4928,1	7795,9
C1	12795,0	7191,7			
C2	12319,0	19795,0			
C3	9380,7	6481,0			
C4	14674,0	8117,3			
C5	51777,0	13829,0			

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Con los datos obtenidos se realiza el análisis estadístico según la ASTM E178 – 16 (2016) para determinar los valores atípicos detallados en la sección 4.1.1, ver Tabla 35:

Tabla 35

Análisis estadístico ASTM E178 – 16, módulo de elasticidad

DESCRIPCIÓN	PROMEDIO E_m (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	T_{n1}	T_{n2}	T	CONCLUSIÓN LVTD 1	CONCLUSIÓN LVTD 2
A1	9289,74	3980,81	2,066	0,044	2,036	V. ATÍPICO	V. ACEPTADO
A2			0,117	0,883		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A3			1,065	1,128		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A4			1,173	0,158		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A5			0,290	0,212		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B1	31846,60	51939,12	0,162	0,275		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B2			2,828	0,414		V. ATÍPICO	V. ACEPTADO
B3			0,183	0,518		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B4			0,327	0,311		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B5			0,426	0,212		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C1	15635,97	13322,97	0,213	0,634		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C2			0,249	0,312		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C3			0,470	0,687		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C4			0,072	0,564		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C5			2,713	0,136		V. ATÍPICO	V. ACEPTADO
D1	14120,26	4580,04	1,451	1,422		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D2			0,354	0,156		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D3			0,365	0,129		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D4			0,505	1,649		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D5			0,447	1,182		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'1	6001,35	2619,73	0,944	0,214		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'2			1,225	0,797		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'3			0,152	0,313		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'4			0,172	2,267		V. ACEPTADO	V. ATÍPICO
E'5			0,410	0,685		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Los valores atípicos de la Tabla 35 se descartan y se realiza de nuevo el análisis estadístico y se presentan en la Tabla 36:

Tabla 36

Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, módulo de elasticidad

DESCRIPCIÓN	PROMEDIO E_m (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	T_{n1}	T_{n2}	T	CONCLUSIÓN LVTD 1	CONCLUSIÓN LVTD 2
A1	8375,82	2903,64		0,254	2,036		V. ACEPTADO
A2			0,475	1,525		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A3			1,145	1,231		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A4			1,293	0,098		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A5			0,713	0,605		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B1	15528,67	6268,06	1,265	0,326		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B2			---	0,829		---	V. ACEPTADO
B3			1,084	1,689		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B4			0,106	0,028		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B5			0,924	0,845		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C1	11620,30	4275,06	0,275	1,036		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C2			0,163	1,912		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C3			0,524	1,202		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C4			0,714	0,819		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C5			---	0,517		---	V. ACEPTADO
D1	14120,26	4580,04	1,451	1,422		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D2			0,354	0,156		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D3			0,365	0,129		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D4			0,505	1,649		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D5			0,447	1,182		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'1	5341,39	1679,57	0,944	0,214		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'2			1,225	0,797		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'3			0,152	0,313		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'4			0,172	---		V. ACEPTADO	---
E'5			0,410	0,685		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Finalizado el análisis estadístico se obtiene un promedio del módulo de elasticidad de cada lote detallados en la Tabla 37:

Tabla 37

Módulo de elasticidad promedio de cada lote de bloque

CLASE	LOTE	PROMEDIO E_m (MPa)	PROMEDIO E_m SEGÚN SU CLASE (MPa)
CLASE A MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	B	15528,67	14824,96
	D	14120,26	
CLASE B MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL	A	8375,82	8445,84
	C	11620,30	
	E'	5341,39	

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

4.2.5.3 Módulo de Poisson de la mampostería (ν)

El módulo de Poisson para la mampostería se encuentra en el rango de esfuerzo 0,05 f'm y 0,33 f'm; se obtiene mediante el cociente entre las deformaciones horizontales y las deformaciones verticales. La Tabla 38 muestra el resumen de los módulos obtenidos para cada murete, siendo ν_1 la relación del LVDT vertical 1 con el LVDT 3 horizontal y ν_2 la relación del LVDT vertical 2 con el LVDT 3 horizontal.

Tabla 38

Módulo de Poisson de mampostería de bloque

DESCRIPCIÓN	ν_1	ν_2	DESCRIPCIÓN	ν_1	ν_2
A1	0,163	0,086	D1	0,086	0,083
A2	0,380	0,535	D2	0,007	0,008
A3	0,340	0,470	D3	0,155	0,176
A4	0,005	0,011	D4	0,214	0,275
A5	0,029	0,028	D5	0,057	0,104
B1	0,097	0,071	E'1	0,041	0,072
B2	---	0,066	E'2	0,006	0,010
B3	0,038	0,008	E'3	0,033	0,043
B4	0,253	0,264	E'4	0,035	0,065
B5	0,025	0,053	E'5	0,002	0,003
C1	0,186	2,982			
C2	1,389	1,941			
C3	0,062	0,040			
C4	0,179	0,115			
C5	0,596	0,207			

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Con los valores del módulo de Poisson, se realiza el análisis estadístico según la norma ASTM E178 – 16 (2016) para determinar los valores atípicos detallados en la sección 4.1.1, y se presenta en la Tabla 39:

Tabla 39

Análisis estadístico ASTM E178 – 16, módulo de Poisson

DESCRIP-CIÓN	PROME-DIO ν (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	T_{n1}	T_{n2}	T	CONCLUSIÓN ν_1	CONCLUSIÓN ν_2
A1	0,20	0,21	0,204	0,573	2,036	V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A2			0,851	1,597		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A3			0,654	1,286		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A4			0,965	0,940		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A5			0,851	0,855		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B1	0,51	1,32	0,316	0,336		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B2			2,839	0,340		V. ATÍPICO	V. ACEPTADO
B3			0,361	0,383		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B4			0,197	0,189		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B5			0,370	0,349		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C1	0,77	1,01	0,579	2,194		V. ACEPTADO	V. ATÍPICO
C2			0,614	1,162		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C3			0,702	0,724		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C4			0,586	0,650		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C5			0,172	0,558		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D1	0,12	0,09	0,350	0,384		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D2			1,244	1,238		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D3			0,434	0,677		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D4			1,114	1,811		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D5			0,680	0,140		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'1	0,03	0,03	0,418	0,285		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'2			0,575	0,557		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'3			0,080	0,477		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'4			0,445	0,316		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'5			0,591	0,585		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

El análisis estadístico se realiza nuevamente una vez determinados los valores atípicos, ver Tabla 40:

Tabla 40

Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, módulo de Poisson

DESCRIP-CIÓN	PROME-DIO ν (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	T_{n1}	T_{n2}	T	CONCLUSIÓN ν_1	CONCLUSIÓN ν_2
A1	0,20	0,21	0,204	0,573	2,036	V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A2			0,851	1,597		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A3			0,654	1,286		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A4			0,965	0,940		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A5			0,851	0,855		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B1	0,10	0,10	0,003	0,278		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B2			---	0,332		---	V. ACEPTADO
B3			0,624	0,932		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B4			1,640	1,753		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B5			0,759	0,464		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C1	0,13	0,07	0,783	---		V. ACEPTADO	--
C2			---	---		---	---
C3			0,994	1,307		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C4			0,676	0,242		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C5			---	1,084		---	V. ACEPTADO
D1	0,12	0,09	0,350	0,384		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D2			1,244	1,238		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D3			0,434	0,677		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D4			1,114	1,811		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D5			0,680	0,140		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'1	0,03	0,03	0,418	0,285		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'2			0,575	0,557		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'3			0,080	0,477		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'4			0,445	0,316		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'5			0,591	0,585		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO

Elaborado por: Wilson Pillajo – Alexis Valdivieso

Finalizado el análisis estadístico del Módulo de Poisson se detalla el promedio de cada lote, ver Tabla 41:

Tabla 41

Módulo de Poisson promedio de los lotes de bloques

CLASE	LOTE	PROMEDIO ν	PROMEDIO ν SEGÚN SU CLASE	PROMEDIO ν VALORES CERCANOS
CLASE A MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	B	0,10	0,11	0,14
	D	0,12		
CLASE B MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL	A	0,20	0,17	
	C	0,13		
	E’	0,03	0,03	0,03

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

4.2.6 TENSIÓN DIAGONAL EN MAMPOSTERÍA DE BLOQUE

El ensayo de tensión diagonal de muretes se realizó con ayuda técnica del personal del CIV – EPN con base en la ASTM E519/E519M-21.

4.2.6.1 Esfuerzo de corte de la mampostería (τ_m)

La Tabla 42 muestra los resultados obtenidos en el CIV – EPN de los lotes A, B, C, D y E’ de los muretes de mampostería de bloques. Los muretes A8 y C10 no se pudieron ensayar debido a que durante su traslado las juntas se despegaron.

Tabla 42

Resultados obtenidos en el ensayo a tensión diagonal

DESCRIPCIÓN	CARGA MAXIMA REGISTRADA (T)	ESFUERZO A CORTE (MPa)
A6	12,102	1,37
A7	8,968	1,01
A9	8,994	1,01
A10	12,435	1,40
B6	13,506	1,91
B7	16,663	2,36
B8	8,747	1,24
B9	10,027	1,42
B10	4,860	0,69
C6	15,197	2,46
C7	12,796	2,07
C8	9,383	1,52
C9	10,875	1,76
D6	8,074	0,82
D7	6,353	0,65
D8	7,927	0,81
D9	8,531	0,87
D10	6,593	0,67
E'6	4,806	0,71
E'7	4,322	0,64
E'8	4,733	0,70
E'9	4,806	0,71
E'10	4,299	0,64

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Con los datos obtenidos de tensión diagonal de los muretes de mampostería de bloque se realiza el análisis estadístico según la norma ASTM E178 – 16 (2016) para determinar los valores atípicos detallados en la sección 4.1.1 detallados en la Tabla 43:

Tabla 43

Análisis estadístico ASTM E178 – 16, muretes de mampostería por lotes del ensayo a tensión diagonal

DESCRIPCIÓN	PROMEDIO τ_m (Mpa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Tn	T	CONCLUSIÓN
A6	1,20	0,21	0,776	1,602	V. ACEPTADO
A7			0,871		V. ACEPTADO
A9			0,857		V. ACEPTADO
A10			0,951		V. ACEPTADO
B6	1,52	0,64	0,607		V. ACEPTADO
B7			1,305		V. ACEPTADO
B8			0,445		V. ACEPTADO
B9			0,162		V. ACEPTADO
B10			1,305		V. ACEPTADO
C6	1,95	0,41	1,247		V. ACEPTADO
C7			0,292		V. ACEPTADO
C8			1,066		V. ACEPTADO
C9			0,473		V. ACEPTADO
D6	0,76	0,10	0,600		V. ACEPTADO
D7			1,186		V. ACEPTADO
D8			0,448		V. ACEPTADO
D9			1,075		V. ACEPTADO
D10			0,937		V. ACEPTADO
E’6	0,68	0,04	0,819		V. ACEPTADO
E’7			1,043		V. ACEPTADO
E’8			0,538		V. ACEPTADO
E’9			0,819		V. ACEPTADO
E’10			1,132		V. ACEPTADO

Elaborado por: Wilson Pillajo – Alexis Valdivieso

La Tabla 43 muestra que todos los valores obtenidos en el ensayo de tensión diagonal son aceptados, por lo tanto, finalizado el análisis estadístico se obtiene un promedio de los esfuerzos a tensión diagonal de cada lote detallados en la Tabla 44:

Tabla 44

Resistencia a tensión diagonal promedio de los muretes de mampostería

CLASE	LOTE	PROMEDIO τ_m (MPa)	PROMEDIO τ_m SEGÚN SU CLASE (Mpa)
CLASE A MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	B	0,88	0,71
	D	0,54	
CLASE B MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL	A	0,74	0,79
	C	1,27	
	E’	0,35	

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

La Figura 48 muestra el modo de falla que se observó en los lotes A, B, C y D, y se caracterizan por presentar una falla por deslizamiento, originada entre los bloques y el mortero, lo que produjo el desprendimiento de una junta horizontal. El Anexo F presenta más a detalle el modo de falla a tensión diagonal de cada murete.

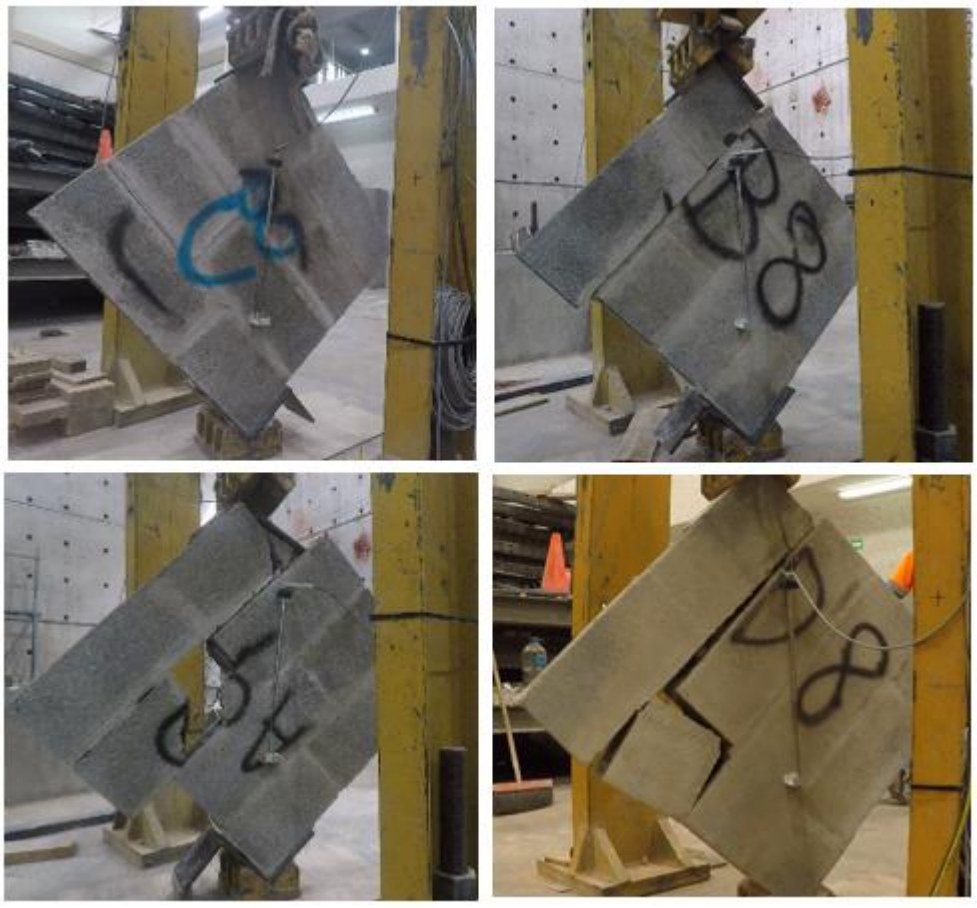


Figura 48. Modo de falla a tensión diagonal muretes mampostería lote A, B, C y D

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

La Figura 49 muestra el modo de falla que se observó en el lote E'. Este lote presentó la falla por tensión diagonal en bloques por medio de una grieta diagonal aproximadamente recta de extremo a extremo. El Anexo F presenta más a detalle el modo de falla a tensión diagonal de cada murete.

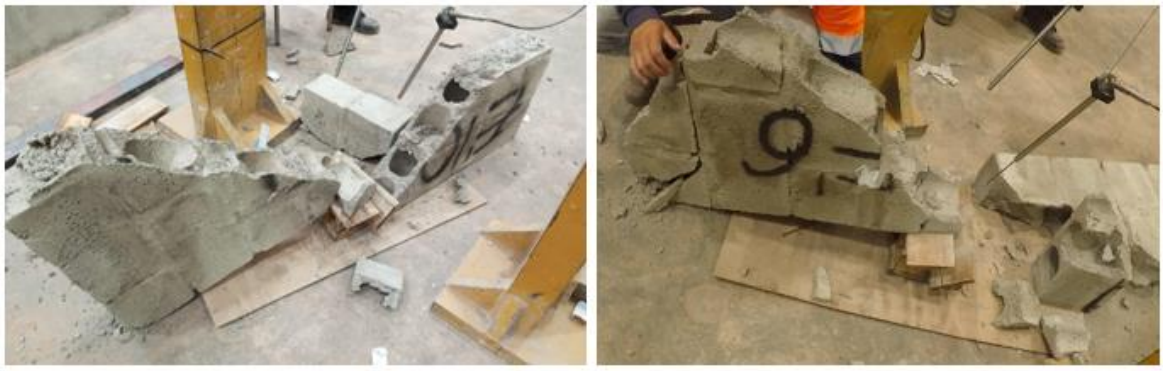


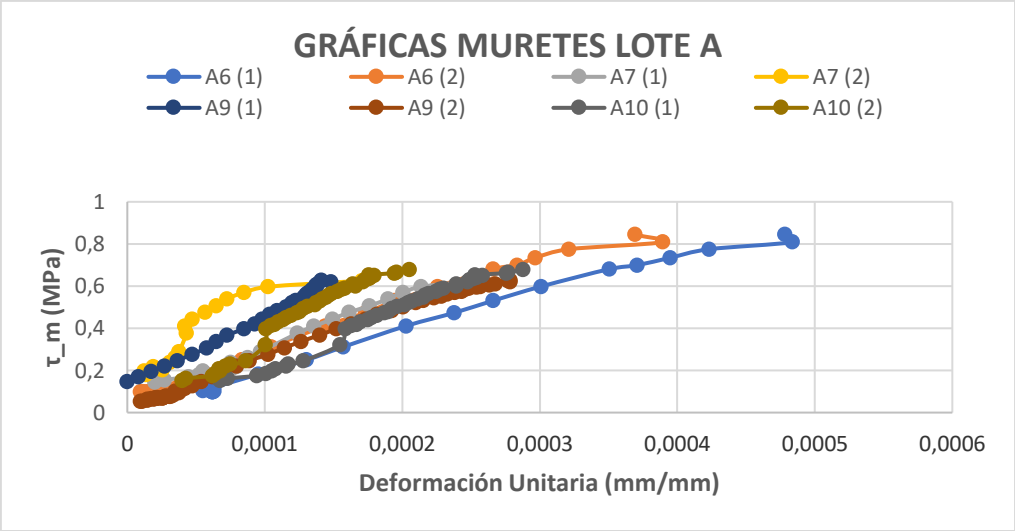
Figura 49. Modo de falla a tensión diagonal muretes mampostería lote E'

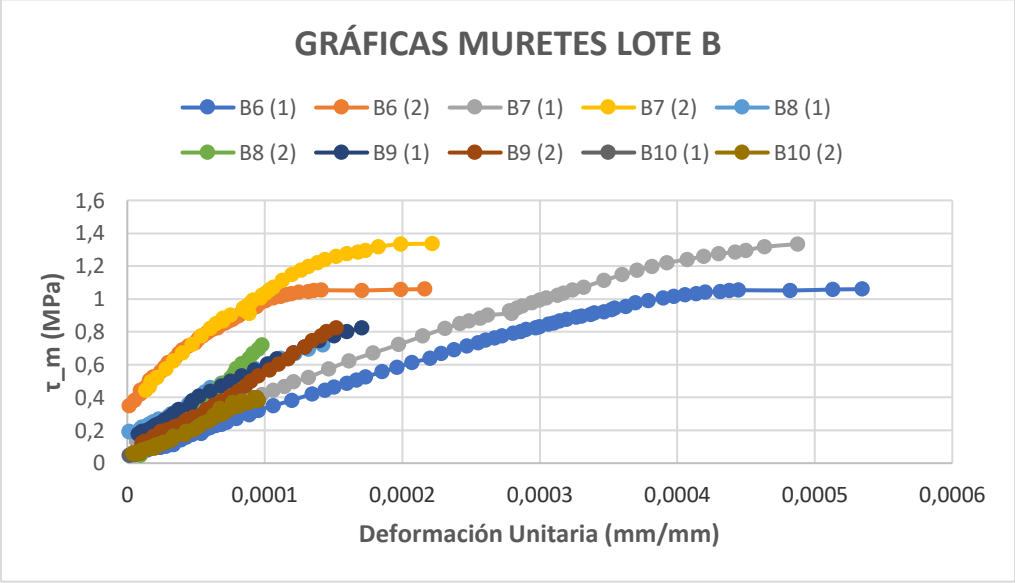
Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

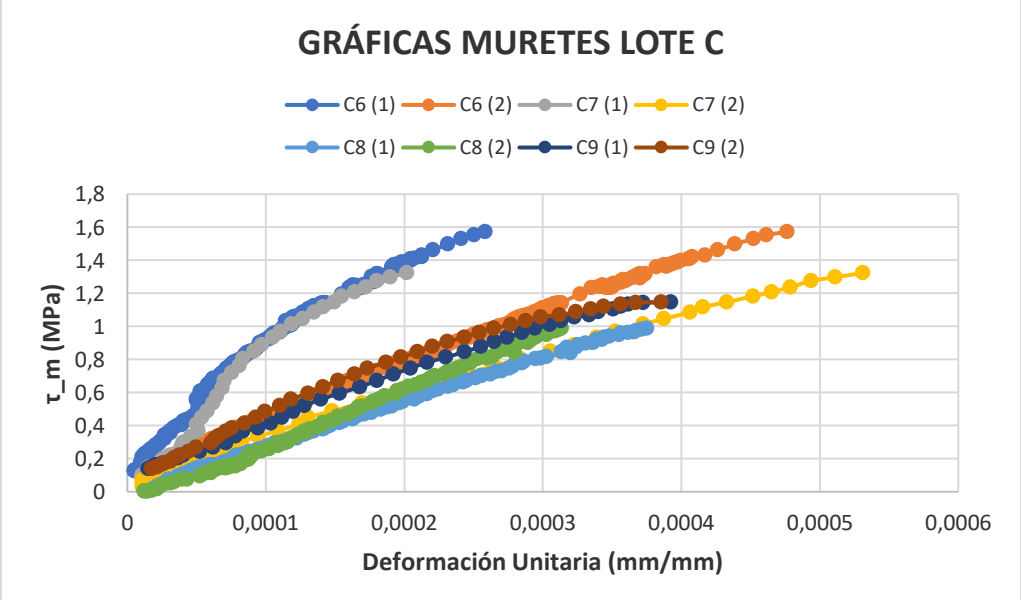
Debido a la falla más representativa mostrada en la mayoría de los muretes, ver Figura 48, y por instrumentación propuesta en el ensayo a tensión diagonal se calcula el valor del módulo de corte sin el valor de un LVDT transversal como lo propone la ASTM E519/E519M-21, con el fin de determinar qué tan distante está del valor propuesto por la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural.

4.2.6.2 Módulo de corte de la mampostería (G_m)

La Figura 50 muestra las gráficas de las curvas de esfuerzo – deformación unitaria de los lotes A, B, C, D y E' respectivamente identificados con el código de cada murete ensayado a tensión diagonal. El Anexo F, muestra a detalle las gráficas de la curva esfuerzo de corte – deformación unitaria de cada murete.


GRÁFICAS MURETES LOTE A
A6 (1)
A6 (2)
A7 (1)
A7 (2)
A9 (1)
A9 (2)
A10 (1)
A10 (2)
τ_m (MPa)
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)


GRÁFICAS MURETES LOTE B
B6 (1)
B6 (2)
B7 (1)
B7 (2)
B8 (1)
B8 (2)
B9 (1)
B9 (2)
B10 (1)
B10 (2)
τ_m (MPa)
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)


GRÁFICAS MURETES LOTE C
C6 (1)
C6 (2)
C7 (1)
C7 (2)
C8 (1)
C8 (2)
C9 (1)
C9 (2)
τ_m (MPa)
1,8
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)

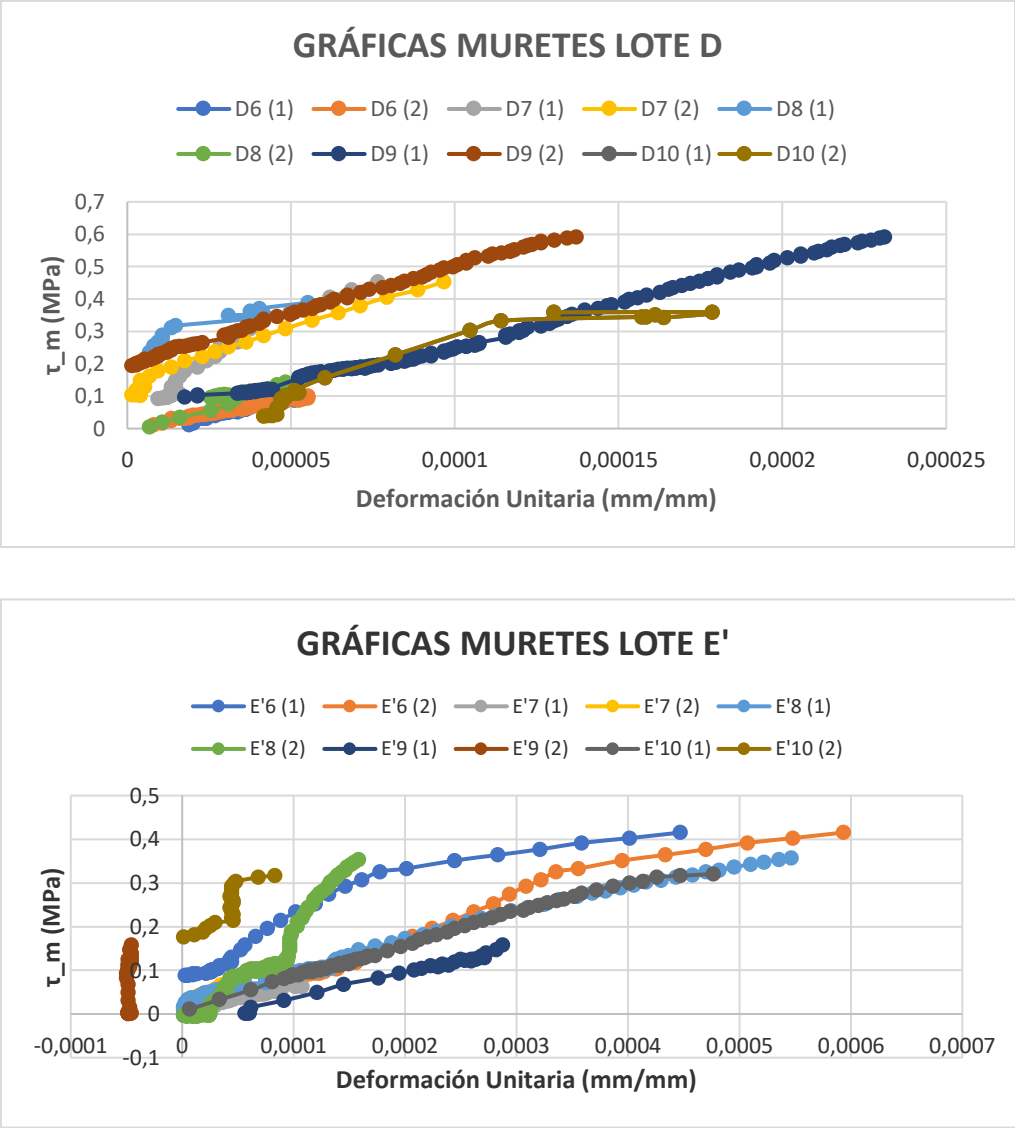
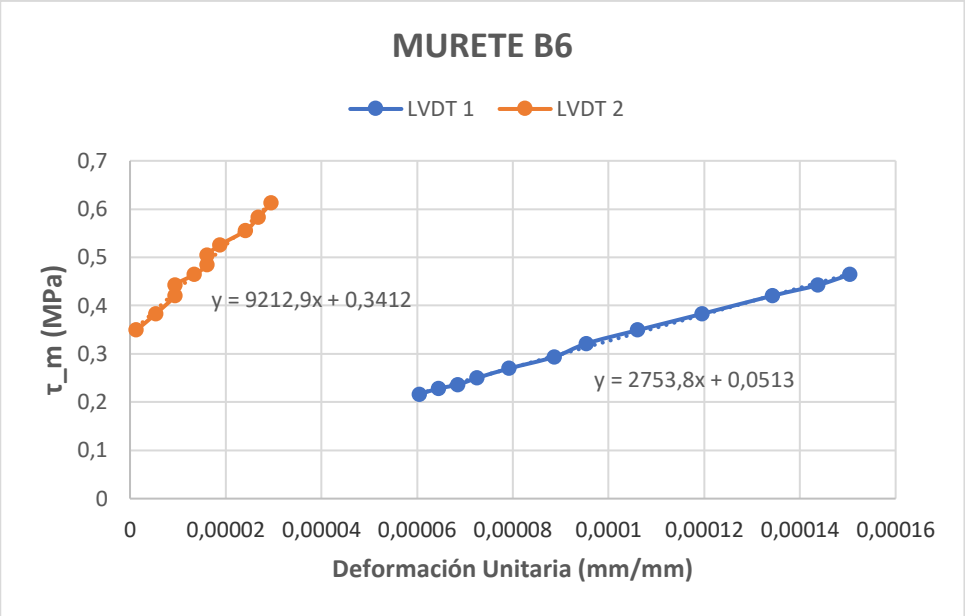


Figura 50. Curvas esfuerzo – deformación unitaria de los lotes de mampostería ensayo a tensión diagonal

Elaborado por: Wilson Pillajo – Alexis Valdivieso

El módulo de corte secante de la mampostería se encuentra dentro del rango del 0,005% y 40% de la gráfica de la curva esfuerzo – deformación unitaria de cada curva obtenida anteriormente. La Figura 51 muestra un ejemplo de la gráfica del rango mencionado en los muretes B6 y C9, y sus respectivas líneas de tendencia y ecuación de donde se obtiene el módulo de corte, las mismas que se detallan en el Anexo F.



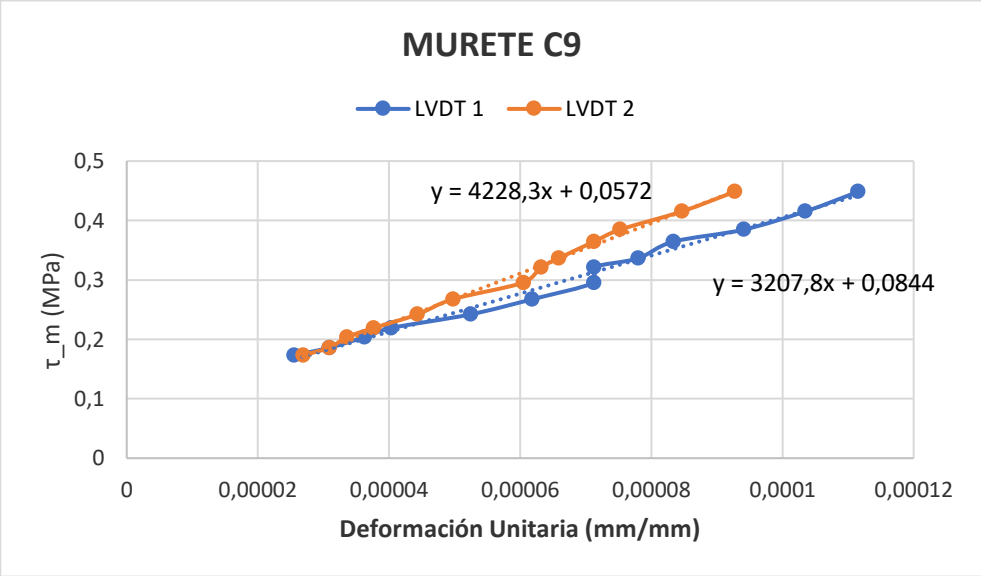


Figura 51. Línea de tendencia y ecuación para obtener módulo de corte

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

La Tabla 45 muestra un resumen de los módulos de corte obtenidos de la lectura de cada LVDT correspondiente a cada murete.

Tabla 45

Módulos de corte de mampostería de bloque

DESCRIPCIÓN	LVDT VERTICAL 1	LVDT VERTICAL 2	DESCRIPCIÓN	LVDT VERTICAL 1	LVDT VERTICAL 2
A6	2712,7	1068,5	D6	2346,1	1703,6
A7	2742,0	7798,9	D7	4865,0	3199,8
A9	2749,0	2873,4	D8	11375,0	3225,1
A10	4297,8	2681,2	D9	4013,6	1726,2
B6	2753,8	9212,9	D10	4210,0	2368,2
B7	3302,2	9168,6	E'6	853	730,2
B8	3773,6	6032,8	E'7	842,5	515,2
B9	5671,0	4350,2	E'8	1056,8	582,9
B10	4313,3	1985,2	E'9	11032,0	520,2
C6	7076,3	3544,2	E'10	649,1	1007,6
C7	8171,4	2928,7			
C8	3198,7	2446,5			
C9	3207,8	2537,0			

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Con los datos de módulo de corte se realiza el análisis estadístico según la norma ASTM E178 – 16 (2016) para determinar los valores atípicos detallados en la sección 4.1.1, ver Tabla 46:

Tabla 46

Análisis estadístico ASTM E178 – 16, módulo de corte

DESCRIP-CIÓN	PROME-DIO (MPa)	DESVIA-CIÓN ESTÁNDAR	T_n	T_n	T	CONCLUSIÓN LVTD 1	CONCLUSIÓN LVTD 2
A6	3365,44	1989,47	0,328	1,155	2,036	V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A7			0,313	2,228		V. ACEPTADO	V. ATÍPICO
A9			0,310	0,247		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A10			0,469	0,344		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B6	5056,36	2495,01	0,923	1,666		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B7			0,703	1,648		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B8			0,514	0,391		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B9			0,246	0,283		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
B10			0,298	1,231		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C6	4138,83	2200,29	1,335	0,270		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C7			1,833	0,550		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C8			0,427	0,769		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
C9			0,423	0,728		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D6	3903,26	2831,81	0,550	0,777		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D7			0,340	0,248		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D8			2,639	0,239		V. ATÍPICO	V. ACEPTADO
D9			0,039	0,769		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D10			0,108	0,542		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'6	1778,95	3256,76	0,284	0,322		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'7			0,288	0,388		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'8			0,222	0,367		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'9			2,841	0,386		V. ATÍPICO	V. ACEPTADO
E'10			0,347	0,237		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Los valores atípicos de los lotes A, D y E’ son descartados y se realiza de nuevo el análisis estadístico según la norma ASTM E178 – 16 (2016) que se muestra en la Tabla 47:

Tabla 47

Análisis estadístico corregido ASTM E178 – 16, módulo de corte

DESCRIP-CIÓN	PROME-DIO (MPa)	DESVIA-CIÓN ESTÁNDAR	T_{n1}	T_{n2}	T	CONCLUSIÓN LVTD 1	CONCLUSIÓN LVTD 2
A6	2732,09	934,73	0,021	1,780	2,036	V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A7			0,011	---		V. ACEPTADO	---
A9			0,018	0,151		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
A10			1,675	0,054			V. ACEPTADO
D6	3073,07	1125,96	0,550	0,777		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D7			0,340	0,248		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D8			---	0,239		---	V. ACEPTADO
D9			0,039	0,769		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
D10			0,108	0,542		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'6	750,83	201,88	0,284	0,322		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'7			0,288	0,388		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'8			0,222	0,367		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
E'9			---	0,386		---	V. ACEPTADO
E'10			0,347	0,237		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

Finalizado el análisis estadístico se obtiene un promedio del módulo de corte de cada lote detallado en la Tabla 48:

Tabla 48

Módulo de corte promedio de cada lote de bloque

CLASE	LOTE	PROMEDIO G_m (MPa)	PROMEDIO G_m SEGÚN SU CLASE (MPa)
CLASE A MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	B	5056,36	4064,71
	D	3073,07	
CLASE B MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL	A	2732,09	2540,58
	C	4138,83	
	E'	750,83	

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA FASE EXPERIMENTAL

Se plantean correlaciones entre los resultados obtenidos en los distintos ensayos de la mampostería y sus elementos.

4.3.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL BLOQUE

El coeficiente de relación entre la resistencia a compresión de la mampostería y resistencia a compresión del bloque indicada en la Figura 52, señala que el 85% de la variación de la mampostería se rige por el comportamiento del bloque, siendo la resistencia del bloque el factor más importante en la resistencia de la mampostería.

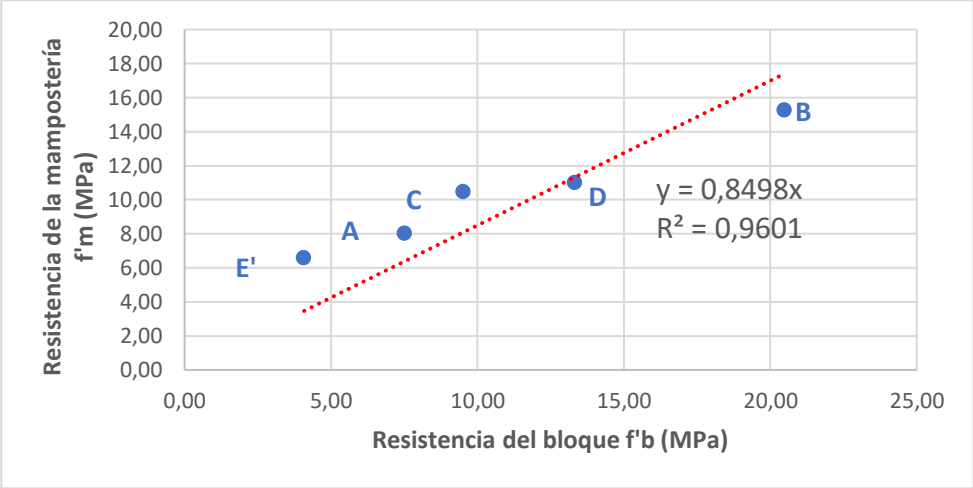


Figura 52. Resistencia del bloque vs Resistencia de la mampostería

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

$$f'_m = 0{,}85 * f'_b$$

4.3.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

La Tabla 49 muestra los promedios de la relación del módulo de elasticidad y la resistencia a compresión de la mampostería, característica de los lotes de bloques ensayados.

Tabla 49

Correlación resistencia a la compresión mampostería vs módulo de elasticidad Clase A y Clase B

CLASE	LOTE	RESISTENCIA COMPRESIÓN MAMPOSTERÍA f'_m (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD E_m (MPa)	E_m/f'_m	PROMEDIO E_m/f'_m
CLASE A MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	B	15,27	15528,67	1016,66	1150
	D	11,01	14120,26	1282,37	
CLASE B MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL	A	8,04	8375,82	1041,42	987
	C	10,47	11620,30	1109,37	
	E'	6,59	5341,39	810,15	

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

La Figura 53 muestra la obtención de manera gráfica la misma relación, con lo cual para esta investigación se puede expresar las siguientes relaciones

Bloque Clase A: $E_m = 1150\ f'_m$

Bloque Clase B: $E_m = 987\ f'_m$

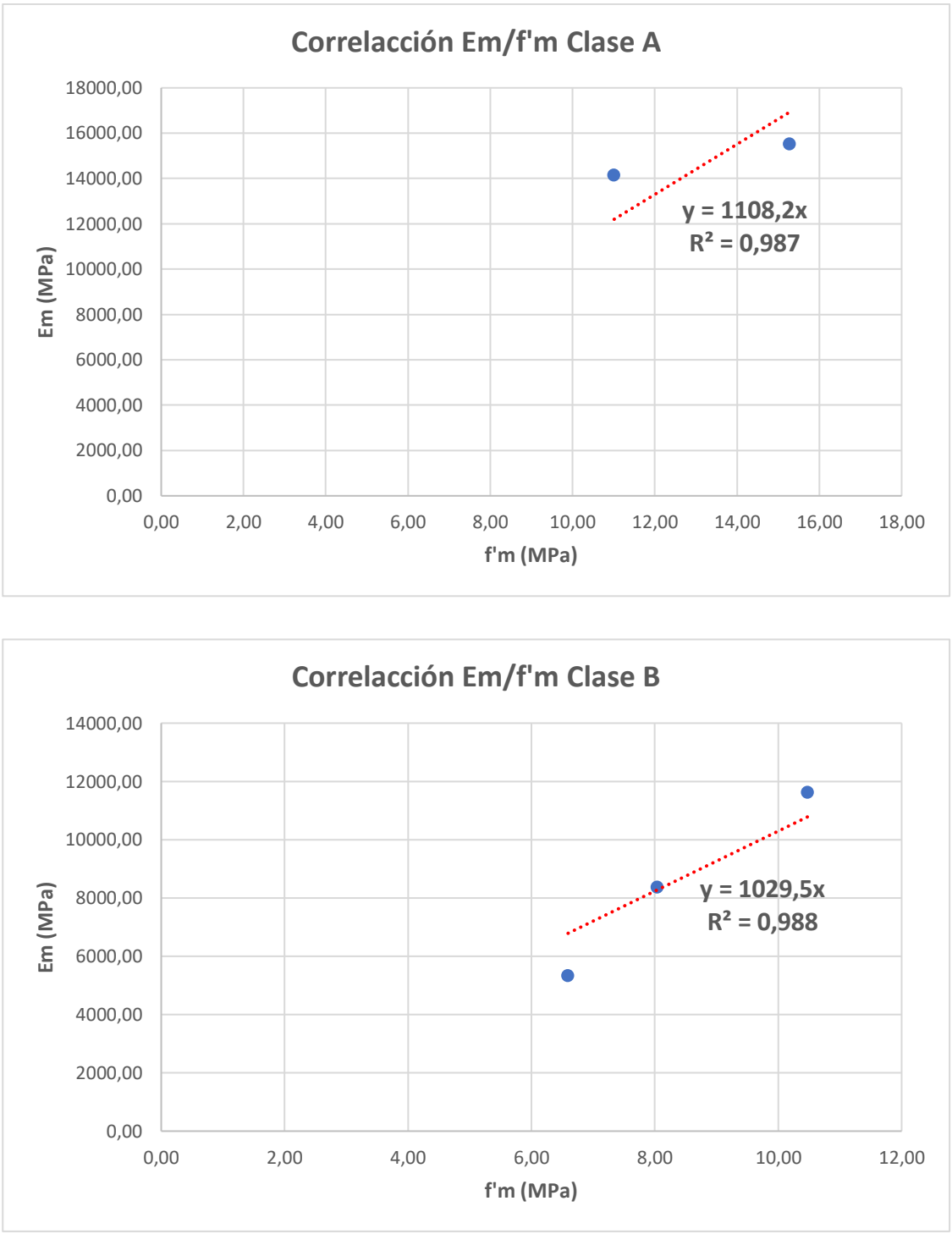


Figura 53. Módulo de elasticidad de la mampostería vs resistencia a compresión de la mampostería

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

4.3.3 RESISTENCIA A CORTE DE LA MAMPOSTERÍA VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

El coeficiente de relación que se observa en la Figura 54, indica que la resistencia a corte de la mampostería de bloques es alrededor del 16% de la resistencia a compresión del mismo espécimen ensayado.

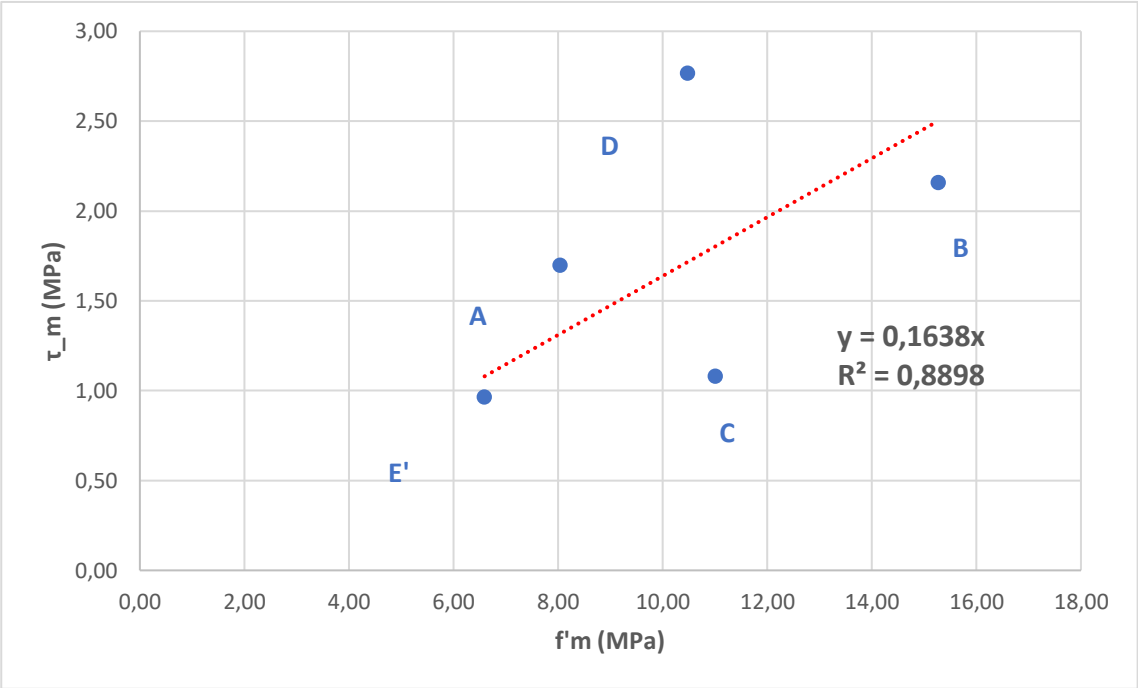


Figura 54. Resistencia a corte vs Resistencia a compresión (mampostería)

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

$$\tau_m = 0.16\, f'm$$

4.3.4 MÓDULO DE CORTE DE LA MAMPOSTERÍA VS MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA

La Tabla 50 muestra los promedios de la relación del módulo de corte y el módulo de elasticidad.

Tabla 50

Relación G_m/E_m obtenida de los ensayos

CLASE	LOTE	PROMEDIO G_m (MPa)	PROMEDIO E_m (MPa)	G_m/E_m	PROMEDIO G_m/E_m
CLASE A MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	B	5056,36	15528,67	0,33	0,27
	D	3073,07	14141,26	0,22	
CLASE B MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL	A	2732,09	8375,82	0,33	0,27
	C	4138,83	11620,30	0,36	
	E'	750,83	5341,39	0,14	

Elaborado por: Pillajo – Valdivieso

4.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NEC-SE-MP

La NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015), en su apartado 5.3 presenta fórmulas empíricas del módulo de elasticidad y módulo de corte en ausencia de valores experimentales. Los valores obtenidos experimentalmente en este proyecto de investigación son comparados con los propuestos en la norma antes mencionada.

4.4.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD

De acuerdo con la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015) la relación del módulo de elasticidad es:

$$E_m = 900 f'_m \leq 20000 \text{ MPa}$$

Para los bloques A y B, la relación para el módulo de elasticidad experimentalmente es:

$$\text{Bloque Clase A: } E_m = 1150 * f'_m \text{ MPa}$$

$$\text{Bloque Clase B: } E_m = 987 * f'_m \text{ MPa}$$

Por consiguiente, los valores obtenidos están dentro del rango de la fórmula propuesta por la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural. Sin embargo, el módulo de elasticidad de la mampostería puede variar debido a la calidad y origen de sus componentes.

4.4.2 MÓDULO DE CORTE

Según la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015), la relación del módulo de corte es:

$$G_m=0,4E_m.$$

La relación para el módulo de corte obtenida experimentalmente en las dos clases de bloque es:

$$G_m=0,27E_m.$$

El valor obtenido es diferente al valor propuesto por la NEC-SE-MP Mampostería Estructural, debido a que no se tuvo el valor de un LVDT transversal como propone la ASTM E519/E519M-21.

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La resistencia a compresión promedio obtenida en las unidades de bloques Clase A y Clase B son 16,91 MPa y 7,04 MPa respectivamente. El mortero de pega de relación 1:3 de cemento – arena respectivamente alcanza una resistencia promedio de 9,72 MPa. Las resistencias a compresión alcanzadas en los muretes de bloque Clase A y Clase B son 13,14 MPa y 8,37 MPa respectivamente.

La resistencia a compresión de los bloques (f'_b) es directamente proporcional a la resistencia a compresión de la mampostería (f'_m), con lo cual se evidencia que la manera más eficaz para tener valores más altos de la resistencia de la mampostería a compresión es tener bloques con resistencias altas a la compresión.

El módulo de elasticidad promedio en: bloques Clase A es E_m=1150 f'_m MPa y en bloques clase B es E_m=987 f'_m MPa, obtenido de las curvas esfuerzo – deformación unitaria en el rango entre 5% y el 30% del esfuerzo máximo a compresión, valores que van acordes con el módulo de elasticidad propuesto por la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015) $E_m = 900\ f'_m \leq 20000$ MPa.

Al utilizar bloques de resistencia menor (Lote A, C y E') que la resistencia del mortero, se logra un aumento significativo del valor de f'_m con respecto a f'_b, determinando que principalmente la resistencia de los bloques restringe la resistencia de la mampostería.

El módulo de rigidez promedio obtenido en mampostería de bloques Clase A y clase B son 4064,71 MPa y 2540,58 MPa respectivamente, representando alrededor del 27% de la resistencia a compresión de todos los lotes ensayados, este valor difiere del propuesto por la NEC-SE-MP, Mampostería Estructural (2015), el cual nos indica que es el 40% de su resistencia a compresión de la mampostería.

El módulo de Poisson de la mampostería de bloque en general tiene un promedio de 0.14, a excepción del lote E' (bloque tradicional) que tiene un valor de 0.03, valor

acorde a bloques con alta porosidad, como lo describe Pachano (2018). No obstante, este valor obtenido es característico de la zona seleccionada donde se colocó el LVDT.

5.2 RECOMENDACIONES

Para la construcción de los muretes de mampostería de bloque utilizar mano de obra calificada y herramientas adecuadas debido a que influyen de manera significativa en los resultados finales de su resistencia.

Se recomienda construir los muretes sobre una plataforma que ayuden a controlar la verticalidad y planicidad, así mismo, para facilitar su movilidad al lugar de ensayo.

Refrentar los muretes de mampostería en superficies niveladas, utilizar un nivel para controlar las irregularidades y obtener así caras paralelas para un mejor desempeño durante su ensayo.

Para la obtención del módulo cortante es indispensable colocar un LVDT transversal para obtener resultados acordes a la realidad.

Se recomienda realizar el ensayo a compresión para la obtención del módulo de elasticidad debido a que este parámetro de la mampostería difiere según el origen de la unidad de bloque.

Se recomienda trabajar con un mortero de igual o menor resistencia a la del bloque, por lo antes mencionado se recomienda conocer primero la resistencia del bloque para poder realizar una dosificación adecuada de mortero al momento de realizar los muretes de mampostería de bloque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM C109/C109M − 21. (2020). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens).* United States: ASTM Internacional.

ASTM C1314 − 18. (2018). *Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms.* United States: ASTM Internacional.

ASTM C136/C136M-19. (2019). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.* United States: ASTM Internacional.

ASTM E178-16. (2016). *Standard Practice for Dealing with Outylin Observations.* United States: ASTM Internacional.

ASTM E519/E519M-21. (2021). *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages.* United States: ASTM Internacional.

Barbosa Claudius & Otros. (2009). *ON THE COMPRESSIVE STRENGTH PREDICTION FOR CONCRETE MASONRY PRISMS.* Brasil.

Carrillo, C. (2008). *Comparación de la respuesta sísmica incorporando y desacoplando la mampostería y técnicas de reforzamiento.* Quito.

Crisafulli, F. J. (1997). *Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Mansory Infills, (PhD Thesis).* New Zealand.

Fernández, & Otros. (2009). *DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL Y EL MÓDULO DE CORTANTE DE LA MAMPOSTERÍA DE BLOQUES HUECOS DE CONCRETO.* Mérida-México.

Fundación ICA, A. (2003). *EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA PARA VIVIENDA* (3era Edición ed.). México.

Gallegos, Hector & Casabonne, Carlos. (2005). *ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL.* Perú: Fondo editorial.

Gualacata, G., & Ortega, J. (2017). *DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA ASOCIADA A LA FALLA POR TRACCIÓN DIAGONAL DE DOS TIPOS DE MAMPOSTERÍA SIMPLE: BLOQUE Y LADRILLO PARA SER USADOS EN MODELOS COMPUTACIONALES.* Quito-Ecuador.

López J., Oller, S. & Oñate E. . (1998). *Cálculo del comportamiento de la mampostería mediante elementos fínitos.*

López, E., & Manobanda, J. (2019). *ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK .* Quito.

López, K., & Ushiña, W. (2017). *DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE NO ESTRUCTURAL UTILIZADA EN LA VIVIENDA ECUATORIANA (Tesis de Pregrado).* Quito, Ecuador.

Mayné, J. (2003). Recuperado el 03 de 02 de 2022, de Sensores, Acondicionadores y Procesadores de señal: http://www.tecnologiaycultura.net/docs/Sensores.pdf

Narváez & Grijalva. (2018). *ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ENSAYOS EXPERIMENTALES REALIZADOS SOBRE MAMPOSTERÍAS DE BLOQUES DE CONCRETO Y LADRILLOS EN QUITO .* Quito-Ecuador.

Navani & Sapra. (2015). *Electrical Instrumentation and Process Control.* S. Chand & Company PVY. LTD.

NEC-SE-MP. (2015). *Mampostería Estructural*. Obtenido de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-MP.pdf

NMX-C-464-ONNCCE. (2010). *NORMA MEXICANA. ENSAYE DE MURETES Y PILAS.*

NTE INEN 2518. (2010). *Morteros para unidades de Mampostería. Requisitos.*

NTE INEN 3066. (2016). *Bloques de Homigón, Requisitos y métodos de Ensayo*. Obtenido de https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3066.pdf

NTE INEN 872. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos.*

Núñez, 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 (Tesis de Pregrado).* Costa Rica.

Pachano, F. (2018). *DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MECÁNICOS PARA MODELOS NO LINEALES DE MAMPOSTERÍA DE RELLENO DE PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO OBTENIDOS DE MANERA (Tesis de postgrado).* Quito-Ecuador.

Paez & Otros. (2009). *ALTERNATIVA ESTRUCTURAL DE REFUERZO HORIZONTAL EN MUROS DE MAMPOSTERÍA.* Bogotá-Colombia.

Paulay, T. & Priestley, N. (1992). *SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES.* New York, United States: Jhon Wiley and Sons, Inc.

Reddy Venkatarama & Otros. (2008). *INFLUENCE OF SHEAR BOND STRENGTH ON COMPRESSIVE STRENGTH AND STRESS-STRAIN CHARACTERISTICS OF MASONRY.* India.

Sager Khalid & Otros. (2017). *AXIAL COMPRESSIVE BEHAVIOR OF GROUTED CONCRETE BLOCK MASONRY COLUMNS CONFINED BY CFRP JACKETS.* Canadá.

Tena, A., Juárez, A. & Salinas, V. (2007). RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA. *Ingeniería Sísmica N° 76 29-60, 32.*

Totoev & Nichols. (2015). *A COMPARATIVE EXPERIMENTAL STUDY OF THE MODULUS OF ELASTICITY OF BRICKS AND MASONRY.* EE.UU.

Zaruma, L. (2018). *MORTERO IMPERMEABLE A BASE DE PLÁSTICO RECICLADO PET PARA REVESTIMIENTOS DE EDIFICACIONES DE LA CIUDAD DE ZAMORA.* Cuenca-Ecuador.

ANEXOS

ANEXO A
INFORME DE LABORATORIO DE ABSORCIÓN, DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL BLOQUE

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

ABSORCIÓN DE MAMPOSTERÍA

INF. No. 21 - 0140- I
Hoja 01 de 05

Quito, 10 de diciembre de 2021

DATOS DEL CLIENTE

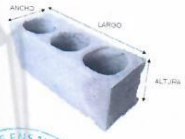
Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0998386056

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
FECHA DE FÁBRICA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2021-11-16
EDAD: ***
NORMA: NTE INEN 3066

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ALTO (cm)	MASA INICIAL (kg)	MASA SATURADA (kg)	MASA SUMERGIDA (kg)	MASA SECA (kg)	ABSORCIÓN (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (kg/m^3)	ÁREA NETA PROMEDIO (cm2)
1	I A	14,00	49,25	20,25	15,35	16,20	8,85	14,85	9,03	3,44	2027,32	361,78
2	II A	14,00	49,25	20,00	15,19	15,95	8,75	14,60	9,17	3,90	2024,93	360,40
3	III A	14,25	49,25	20,00	15,23	16,05	8,75	14,70	9,20	3,75	2022,04	361,79
		PROMEDIO			15,26	16,06	8,79	14,71	9,13	3,70	2024,76	361,32

OBSERVACIONES : El muestreo es responsabilidad del cliente.



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

Telf.: 2976300
Ext.: 1609
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

INF. No. 21 - 0140- I
Hoja 02 de 05

ABSORCIÓN DE MAMPOSTERÍA

Quito, 10 de diciembre de 2021

DATOS DEL CLIENTE

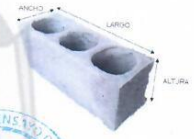
Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0998386056

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
FECHA DE FÁBRICA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2021-11-16
EDAD: ***
NORMA: NTE INEN 3066

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ALTO (cm)	MASA INICIAL (kg)	MASA SATURADA (kg)	MASA SUMERGIDA (kg)	MASA SECA (kg)	ABSORCIÓN (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (kg/m^3)	ÁREA NETA PROMEDIO (cm2)
1	I B	12,25	49,00	18,75	12,77	13,25	7,35	12,35	7,37	3,40	2086,15	316,58
2	II B	12,25	49,00	18,75	12,69	13,10	7,20	12,15	7,57	4,36	2071,55	312,23
3	III B	12,50	49,00	19,00	13,36	13,75	7,60	12,85	7,33	4,13	2076,05	325,83
			PROMEDIO		12,94	13,37	7,38	12,45	7,42	3,96	2077,92	318,22

OBSERVACIONES : El muestreo es responsabilidad del cliente.



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING CIVIL EPN

Telf.: 2976300
Ext.: 1609
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

INF. No. 21 - 0140- I
Hoja 03 de 05

ABSORCIÓN DE MAMPOSTERÍA

Quito, 10 de diciembre de 2021

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0998386056

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
FECHA DE FÁBRICA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2021-11-16
EDAD: ***
NORMA: NTE INEN 3066

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ALTO (cm)	MASA INICIAL (kg)	MASA SATURADA (kg)	MASA SUMERGIDA (kg)	MASA SECA (kg)	ABSORCIÓN (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (kg/m³)	ÁREA NETA PROMEDIO (cm2)
1	I C	9,25	49,25	20,25	10,87	11,40	6,30	10,45	8,90	4,02	2049,02	253,31
2	II C	9,25	49,25	20,00	10,90	11,35	6,30	10,50	8,49	4,01	2075,25	251,24
3	III C	9,00	49,25	20,00	10,50	11,10	6,20	10,30	7,98	2,14	2102,25	243,28
			PROMEDIO		10,76	11,28	6,27	10,40	8,46	3,39	2075,51	249,28

OBSERVACIONES : El muestreo es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ING. CIVIL EPN

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@...
Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

INF. No. 21 - 0140- I
Hoja 04 de 05

ABSORCIÓN DE MAMPOSTERÍA

Quito, 10 de diciembre de 2021

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0998386056

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
FECHA DE FÁBRICA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2021-11-16
EDAD: ***
NORMA: NTE INEN 3066

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ALTO (cm)	MASA INICIAL (kg)	MASA SATURADA (kg)	MASA SUMERGIDA (kg)	MASA SECA (kg)	ABSORCIÓN (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (kg/m^3)	ÁREA NETA PROMEDIO (cm2)
1	I D	14,00	39,00	19,00	12,57	13,65	7,30	12,35	10,43	1,62	1951,10	333,68
2	II D	14,00	39,00	19,00	12,41	13,50	7,25	12,25	10,28	1,22	1952,23	330,53
3	III D	14,25	39,00	19,00	12,69	13,85	7,40	12,50	10,62	1,36	1941,09	338,88
		PROMEDIO			12,56	13,68	7,32	12,38	10,44	1,40	1948,14	334,36

OBSERVACIONES : El muestreo es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ING. CIVIL EPN

Telf.: 2976300
Ext.: 1609
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

INF. No. 21 - 0140- I
Hoja 05 de 05

ABSORCIÓN DE MAMPOSTERÍA

Quito, 10 de diciembre de 2021

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0998386056

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
FECHA DE FÁBRICA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2021-11-16
EDAD: ***
NORMA: NTE INEN 3066

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	ALTO (cm)	MASA INICIAL (kg)	MASA SATURADA (kg)	MASA SUMERGIDA (kg)	MASA SECA (kg)	ABSORCIÓN (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD (kg/m³)	ÁREA NETA PROMEDIO (cm2)
1	I E	13,50	37,75	18,75	7,62	8,05	3,10	6,35	27,17	20,38	1278,79	264,71
2	II E	13,50	37,75	18,50	8,05	8,50	3,25	6,80	25,18	18,56	1293,33	283,27
3	III E	13,50	37,50	18,50	7,48	7,95	3,00	6,45	22,95	15,97	1303,03	266,61
			PROMEDIO		7,72	8,16	3,11	6,52	25,10	18,30	1291,72	271,53

OBSERVACIONES : El muestreo es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ING. CIVIL EPN

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15
Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO B
INFORME DE LABORATORIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-123-I
Hoja 01 de 01

Quito, 04 de marzo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0998386056

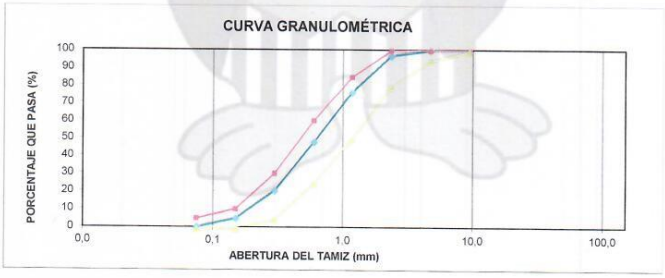
DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: ARENA
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2021-11-16
NORMA: ASTM C136M

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
No. 4	4,750	0,0	0,0	0,0	100,0
No. 8	2,360	8,7	2,9	2,9	97,1
No. 16	1,180	62,1	20,7	23,6	76,4
No. 30	0,600	85,1	28,4	51,9	48,1
No. 50	0,300	82,8	27,6	79,5	20,5
No. 100	0,150	46,0	15,3	94,9	5,1
No. 200	0,075	14,2	4,7	99,6	0,4
BANDEJA	-	1,2	0,4	100,0	0,0
	TOTAL	300,1			

Observaciones: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente

CURVA GRANULOMÉTRICA



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ING. CIVIL EPN

GR-F-22-017-I

ANEXO C
INFORME DE LABORATORIO DE COMPRESIÓN CUBOS DE MORTERO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

INF. No. 22 - 126 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 4 de marzo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0998386056

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
NORMA: ASTM C109

Nº	FECHA FÁBRICA	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	PESO (g)	CARGA (T)	CARGA (kN)	ESFUERZO (kg / cm²)	ESFUERZO (MPa)
1	2022-02-07	WP 1	2022-03-03	24	266,3	2,23	21,88	86	8,4
2	2022-02-07	WP 2	2022-03-03	24	268,6	2,67	26,23	105	10,3
3	2022-02-07	WP 3	2022-03-03	24	262,1	2,49	24 44	98	9,6
4	2022-02-07	WP 4	2022-03-03	24	286,9	2,35	23 09	92	9,1
5	2022-02-07	WP 5	2022-03-03	24	267,6	2,37	23,20	93	9,1
6	2022-02-07	WP 6	2022-03-03	24	269,6	2,74	26,91	106	10,3
7	2022-02-07	WP 7	2022-03-03	24	275,6	1,81	17,75	68	6,7
8	2022-02-07	WP 8	2022-03-03	24	277,8	2,25	22,08	83	8,2
9	2022-02-07	WP 9	2022-03-03	24	272,1	2,70	26,51	104	10,2

Observación: Los datos de fabricación son responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ING. CIVIL EPN

Telf.: 2976300
Ext.: 1609
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO D
INFORME DE LABORATORIO COMPRESIÓN DE BLOQUES

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

COMPRESION DE MAMPOSTERIA

INF. No. 21 - 0141 - I
Hoja 01 de 05

Quito, 13 de diciembre de 2021

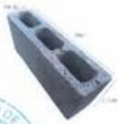
DATOS DEL CLIENTE
Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0996386056
DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
FECHA DE FÁBRICA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-07
EDAD: ***
NORMA: NTE INEN 3066:2016

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	A1	14,1	49,1	20,1	362,1	693,9	301,8	8,3	4,3	CLASE B
2	A2	14,2	49,3	20,0	362,7	698,4	210,1	5,8	3,0	
3	A3	14,4	49,2	20,0	363,9	709,0	344,7	9,5	4,9	
PROMEDIO BLOQUE		14,2	49,2	20,0	362,93	700,44	285,5	7,9	4,1	

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	B1	12,4	49,8	19,8	303,0	617,9	597,0	19,7	9,7	CLASE A
2	B2	12,3	49,9	19,8	302,5	613,8	599,0	19,8	9,8	
3	B3	12,5	49,8	19,6	305,6	624,2	945,9	31,0	15,2	
PROMEDIO BLOQUE		12,4	49,8	19,7	303,72	618,62	714,0	23,5	11,6	

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	C1	9,0	49,5	20,0	250,2	445,5	243,7	9,7	5,5	CLASE B
2	C2	9,1	49,2	20,1	249,8	446,1	251,2	10,1	5,6	
3	C3	9,0	49,1	19,8	255,3	443,5	227,8	8,9	5,1	
PROMEDIO BLOQUE		9,0	49,3	19,9	251,81	445,04	240,9	9,6	5,4	

OBSERVACIONES : * El muestreo es responsabilidad del cliente
* La clasificación se realizó en base a la tabla 6 de la norma INEN 3066



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

Telf.: 2976300
Ext.: 1609
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

COMPRESION DE MAMPOSTERIA

INF. No. 21 - 0141 - I
Hoja 04 de 05

Quito, 13 de diciembre de 2021

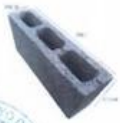
DATOS DEL CLIENTE
Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCIA
Teléfono: 0999238390; 0998386056

DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO
Contratante: ---
Contratista: ---
Fiscalizador: ---
FECHA DE FÁBRICA: ---
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-07
EDAD: ---
NORMA: NTE INEN 3066:2016

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	D1	14,2	39,0	19,0	335,1	552,0	553,4	16,5	10,0	CLASE A
2	D2	14,2	39,1	19,3	329,4	553,9	442,9	13,4	8,0	
3	D3	14,3	39,1	19,0	334,0	559,6	529,3	15,8	9,5	
PROMEDIO BLOQUE		14,2	39,1	19,1	332,83	555,18	508,5	15,2	9,2	

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	E1	13,6	37,6	18,5	273,0	512,2	138,8	5,1	2,7	CLASE B
2	E2	13,6	37,4	18,6	271,0	507,4	125,0	4,6	2,5	
3	E3	13,6	37,7	19,0	265,8	512,3	91,8	3,5	1,8	
PROMEDIO BLOQUE		13,6	37,5	18,7	269,93	510,61	118,5	4,4	2,3	

OBSERVACIONES :
* El muestreo es responsabilidad del cliente.
* La clasificación se realizó en base a la tabla 6 de la norma INEN 3066.



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

Telf.: 2976300
Ext.: 1609
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

COMPRESION DE MAMPOSTERIA

INF. No. 22 - 0093-I
Hoja 01 de 02

Quito, 14 de febrero de 2022

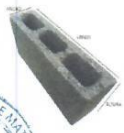
DATOS DEL CLIENTE
Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0998386056
DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
FECHA DE FÁBRICA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-04
EDAD: ***
NORMA: NTE INEN 3066:2016

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	A4	14.0	49.1	19.6	371.4	688.6	287.2	7.7	4.2	CLASE B
2	A5	14.2	49.1	20.0	363.3	697.7	175.3	4.8	2.5	
3	A6	14.1	49.1	20.1	362.1	690.2	323.5	8.9	4.7	
PROMEDIO BLOQUE		14.1	49.1	19.9	365.6	692.2	262.0	7.1	3.8	

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	B4	12.5	49.9	18.8	319.2	623.8	606.9	19.0	9.7	CLASE A
2	B5	12.5	49.9	20.0	300.0	623.8	657.4	21.9	10.5	
3	B6	12.5	50.0	19.4	308.2	625.0	676.9	22.0	10.8	
PROMEDIO BLOQUE		12.5	49.9	19.4	309.1	624.2	646.7	21.0	10.3	

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	C4	9.0	49.0	20.0	250.7	441.0	199.5	8.0	4.5	CLASE B
2	C5	9.0	49.0	20.0	251.1	442.6	296.2	11.8	6.7	
3	C6	9.1	49.1	19.9	251.9	448.4	218.2	8.7	4.9	
PROMEDIO BLOQUE		9.1	49.0	20.0	251.2	444.0	238.0	9.5	5.4	

OBSERVACIONES : * El muestreo es responsabilidad del cliente.
* La clasificación se realizó en base a la tabla 6 de la norma INEN 3066.



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL E.P.N.

Telf.: 2976300
Ext.: 1609
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

COMPRESION DE MAMPOSTERIA

INF. No. 22 - 0093-I
Hoja 02 de 02

Quito, 14 de febrero de 2022

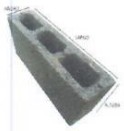
DATOS DEL CLIENTE
Razón social: WILSON STALIN PILLAJO YUGCHA; WILMAN ALEXIS VALDIVIESO ARCOS
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0999238390; 0998386056

DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO BLOQUE DE HORMIGÓN COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
FECHA DE FÁBRICA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-04
EDAD: ***
NORMA: NTE INEN 3066:2016

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	D4	13.9	39.1	19.0	335.1	544.3	329.5	9.8	6.1	CLASE B
2	D5	14.2	39.1	19.0	334.0	553.9	554.4	16.6	10.0	
3	D6	14.0	39.0	19.0	334.0	547.3	259.5	7.8	4.7	
PROMEDIO BLOQUE		14.0	39.1	19.0	334.4	548.5	381.1	11.4	6.9	

No.	DESCRIPCIÓN	ANCHO	LARGO	ALTO	ÁREA		CARGA ROTURA	ESFUERZO		CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA
					NETA	BRUTA		NETO	BRUTO	
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^2)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
1	E4	13.6	37.5	18.4	274.5	509.5	98.2	3.6	1.9	CLASE C
2	E5	13.4	37.5	18.5	273.5	503.3	127.1	4.6	2.5	
3	E6	13.6	37.7	18.3	275.5	511.0	85.6	3.1	1.7	
PROMEDIO BLOQUE		13.5	37.5	18.4	274.5	508.0	103.6	3.8	2.0	

OBSERVACIONES : * El muestreo es responsabilidad del cliente.
* La clasificación se realizó en base a la tabla 6 de la norma INEN 3066.

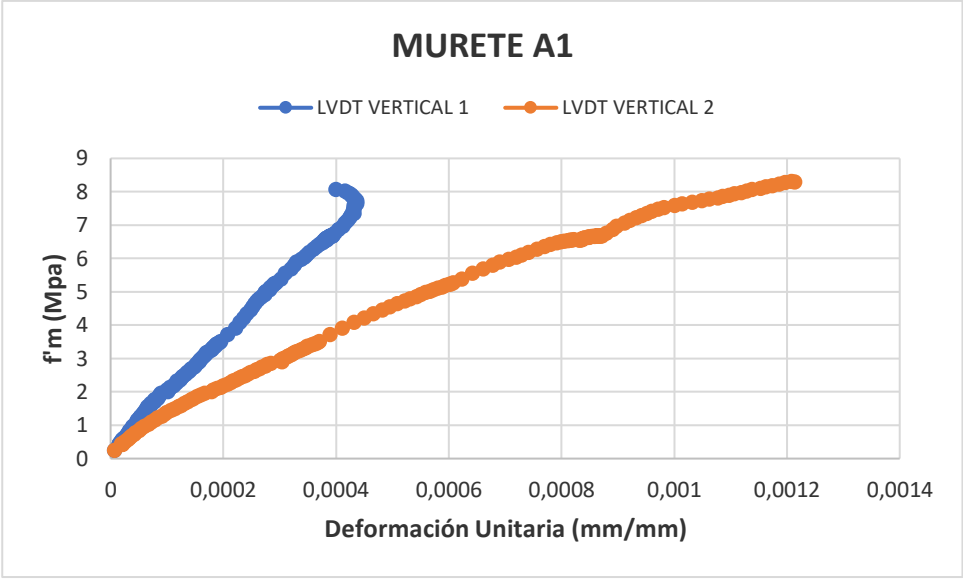


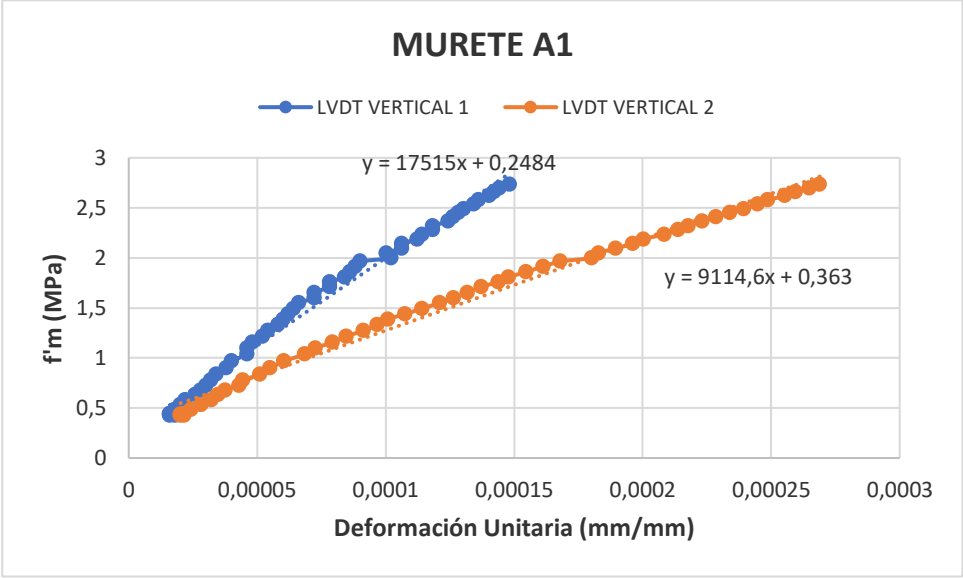
ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

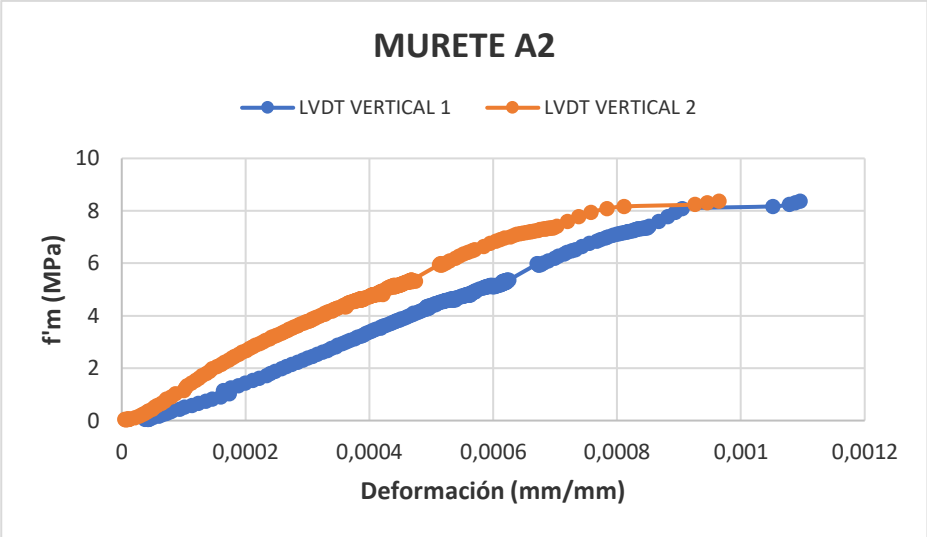
Telf.: 2976300
Ext.: 1609
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

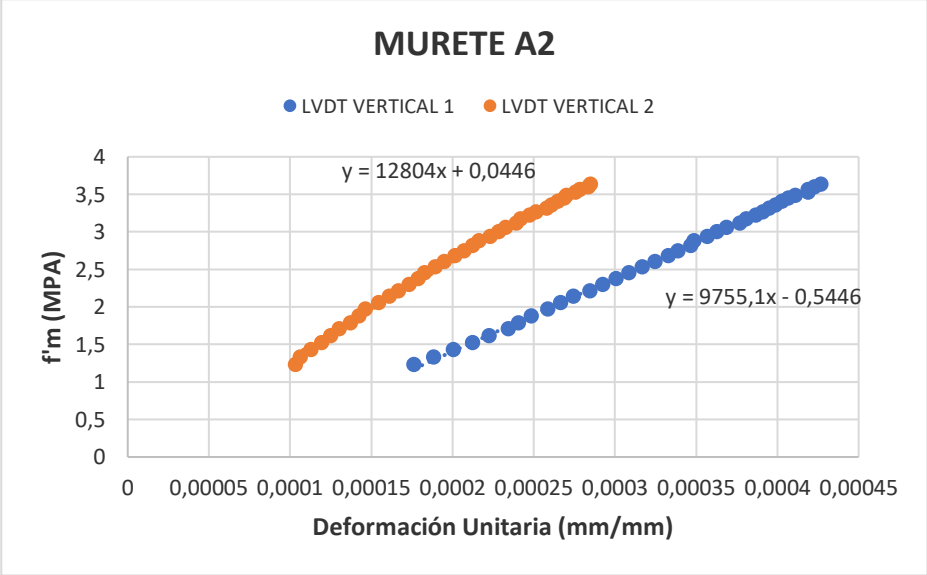
ANEXO E
GRÁFICOS Y CÁLCULO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN MURETES

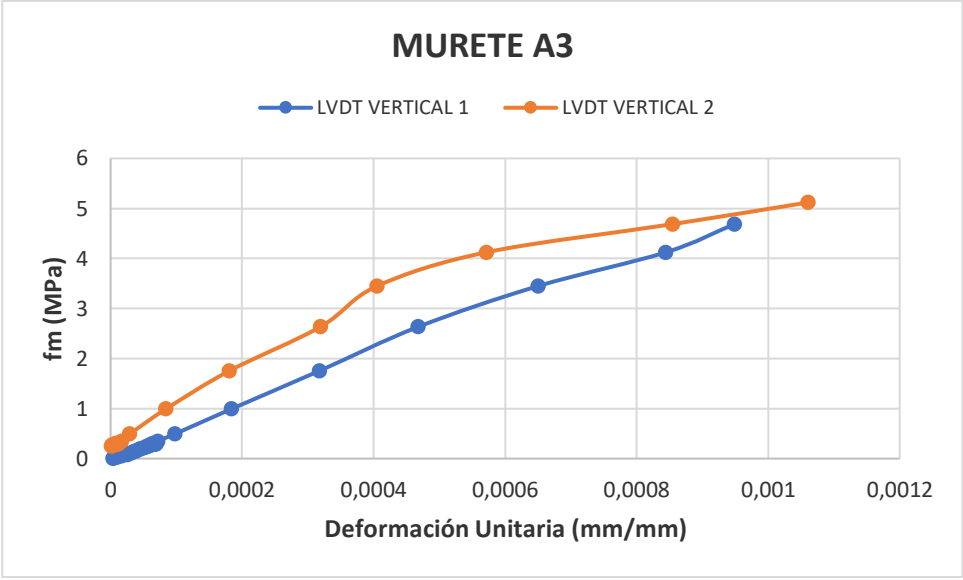

MURETE A1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (Mpa)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
0,0014
Deformación Unitaria (mm/mm)

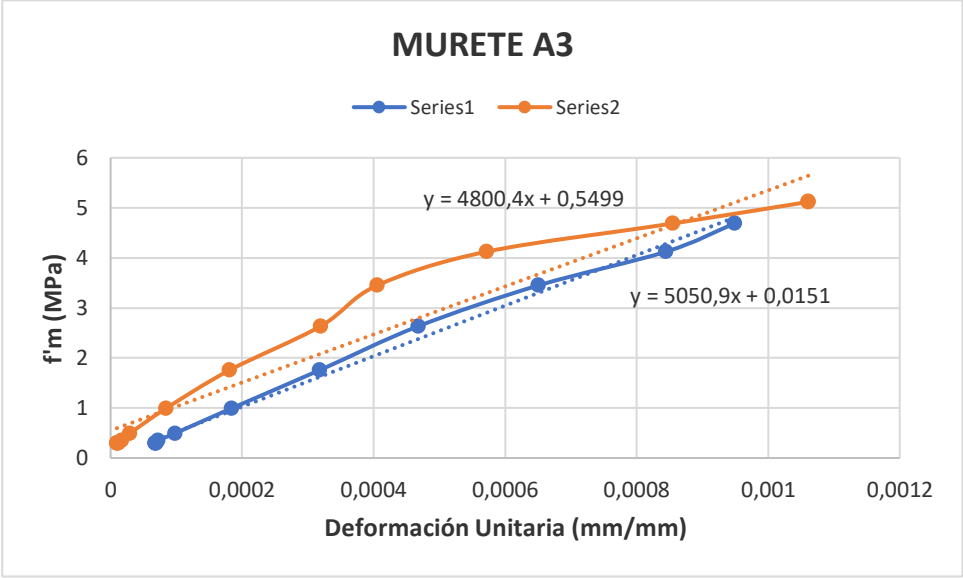

MURETE A1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 17515x + 0,2484
y = 9114,6x + 0,363
f'm (MPa)
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
Deformación Unitaria (mm/mm)

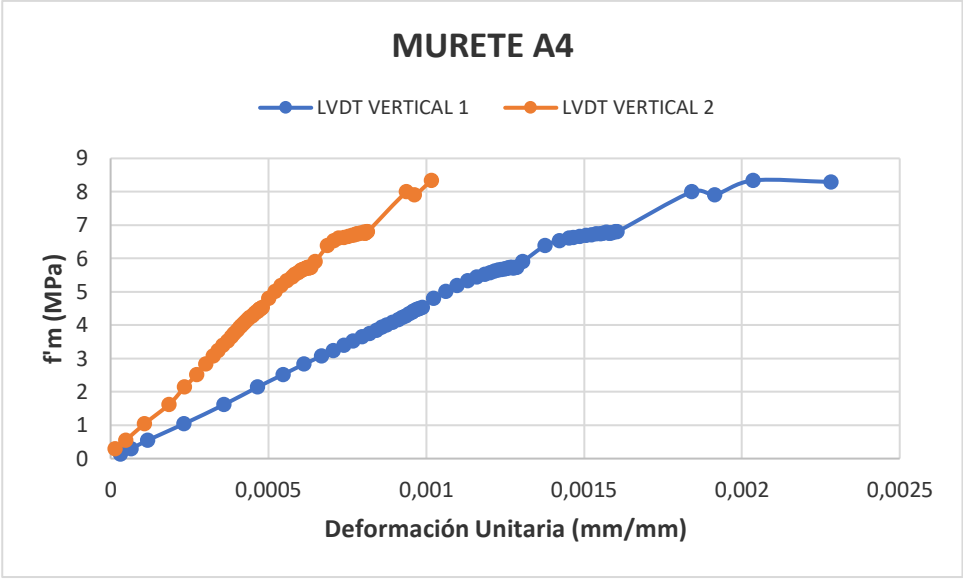
A1

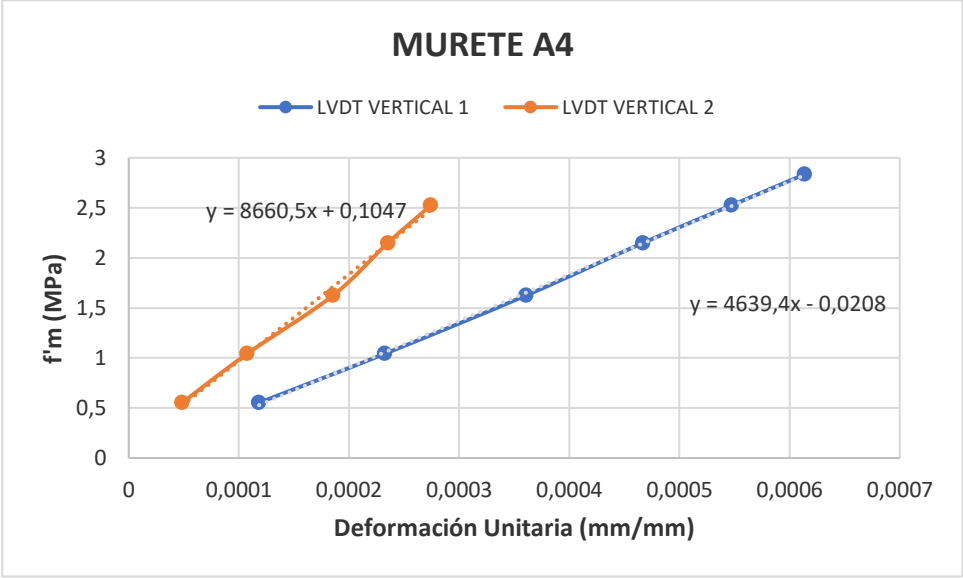

MURETE A2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
10
8
6
4
2
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
Deformación (mm/mm)


MURETE A2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 12804x + 0,0446
y = 9755,1x - 0,5446
f'm (MPA)
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
0,00035
0,0004
0,00045
Deformación Unitaria (mm/mm)

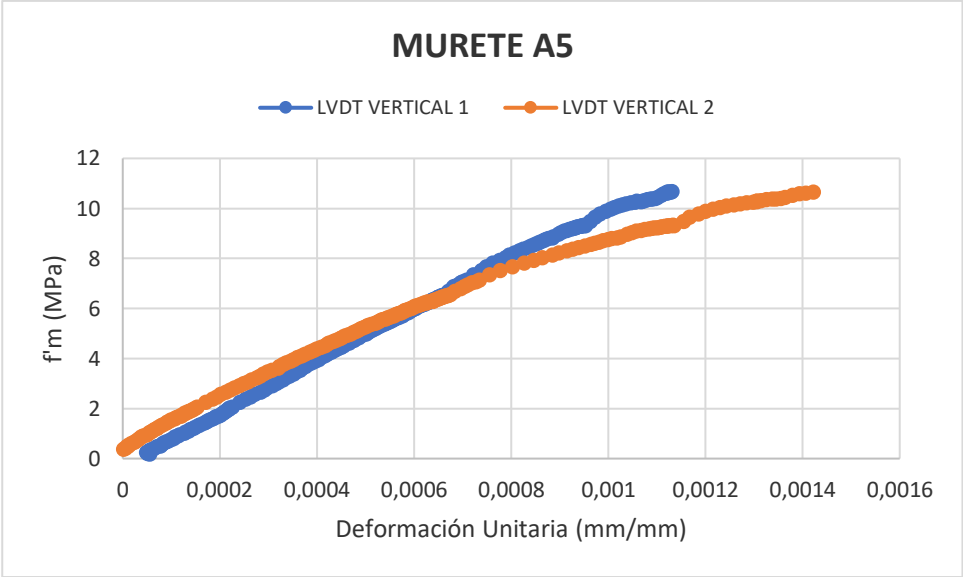

MURETE A3
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
fm (MPa)
0
1
2
3
4
5
6
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
Deformación Unitaria (mm/mm)

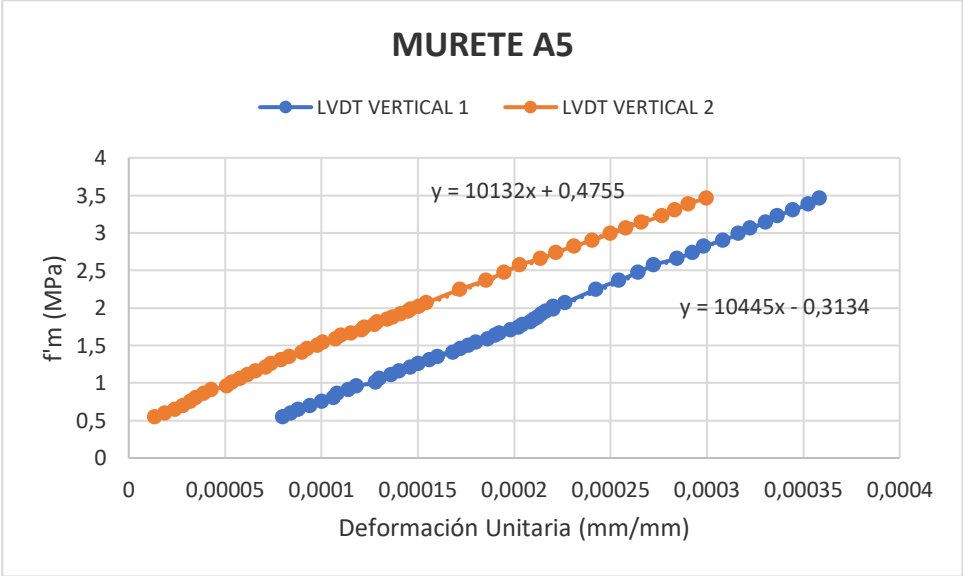

MURETE A3
Series1
Series2
y = 4800,4x + 0,5499
y = 5050,9x + 0,0151
f'm (MPa)
0
1
2
3
4
5
6
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE A4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
0,0025
Deformación Unitaria (mm/mm)

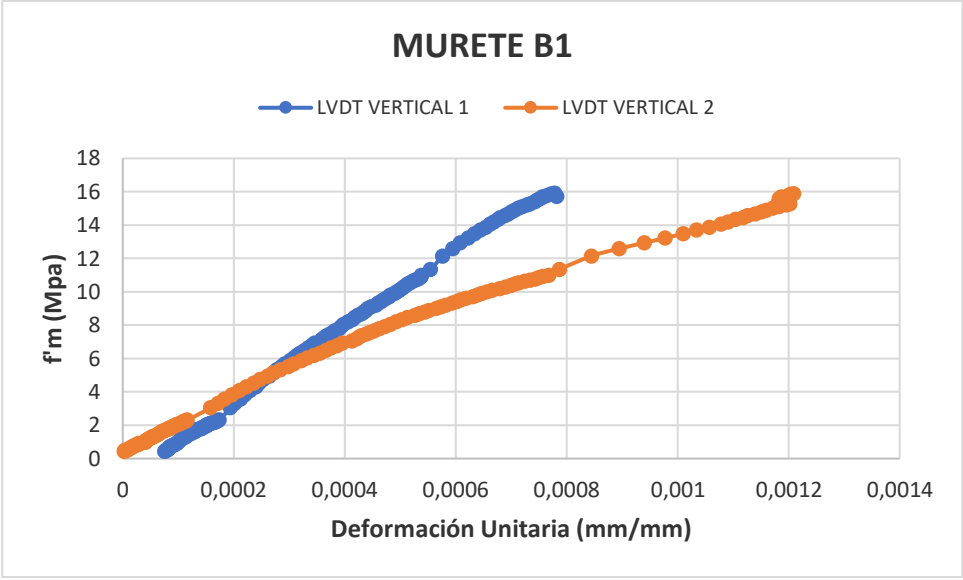

MURETE A4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 8660,5x + 0,1047
y = 4639,4x - 0,0208
f'm (MPa)
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
Deformación Unitaria (mm/mm)

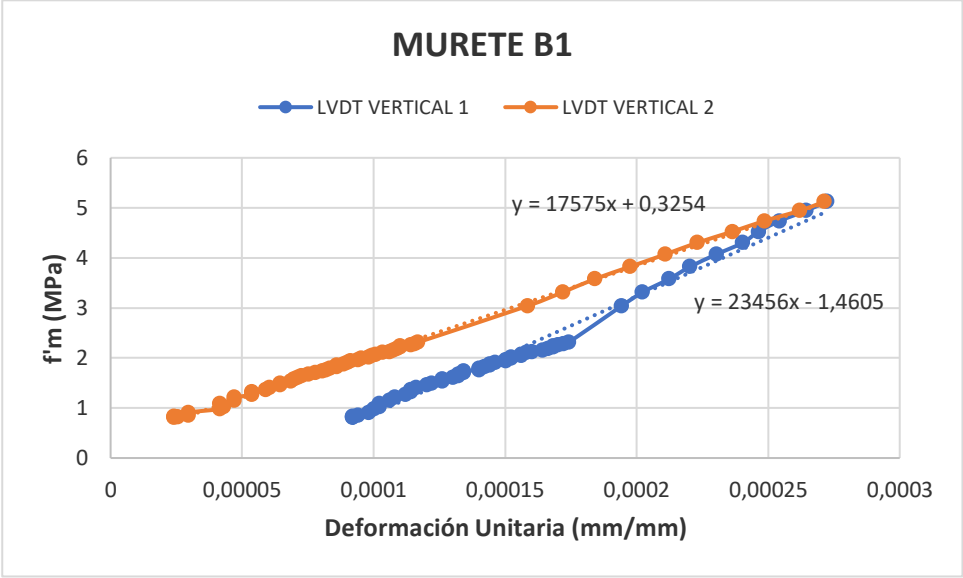
A4


MURETE A5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
0,0014
0,0016
Deformación Unitaria (mm/mm)

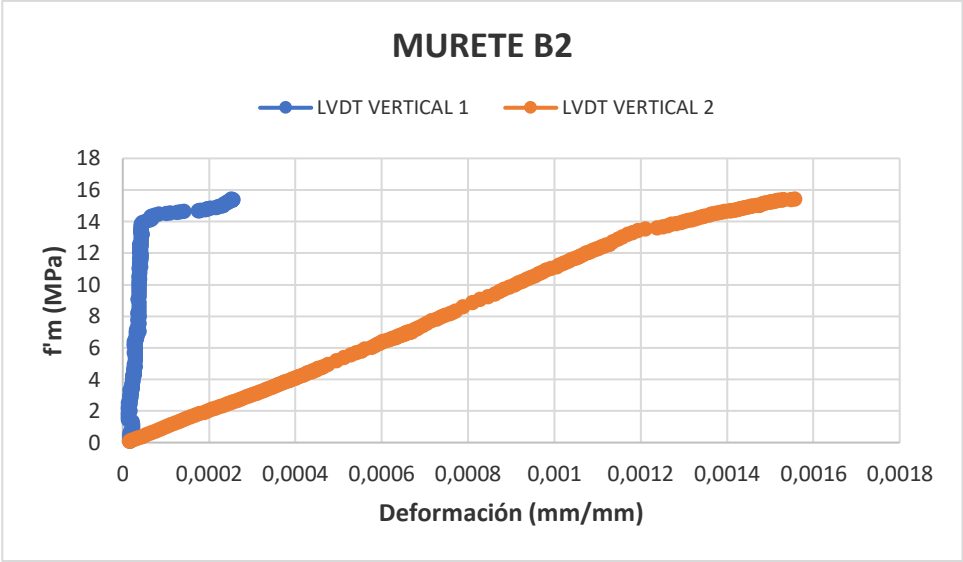

MURETE A5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 10132x + 0,4755
y = 10445x - 0,3134
f'm (MPa)
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
0,00035
0,0004
Deformación Unitaria (mm/mm)

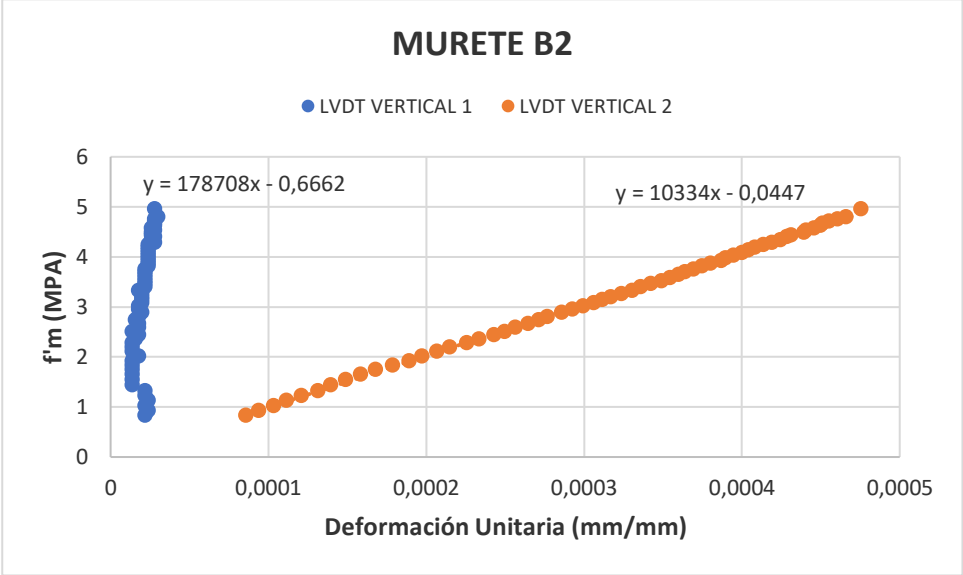
A5


MURETE B1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (Mpa)
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
0,0014
Deformación Unitaria (mm/mm)

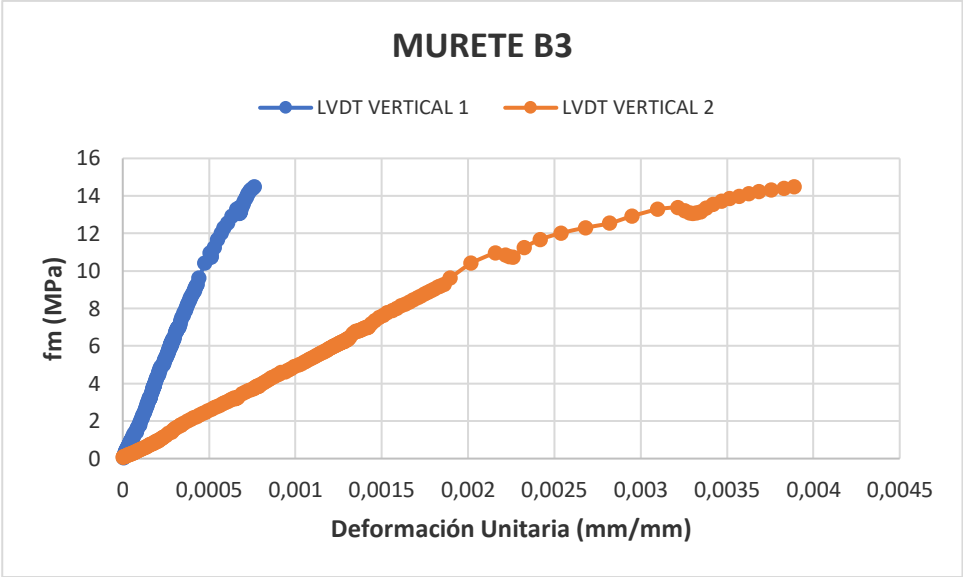

MURETE B1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
6
5
4
3
2
1
0
y = 17575x + 0,3254
y = 23456x - 1,4605
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
Deformación Unitaria (mm/mm)

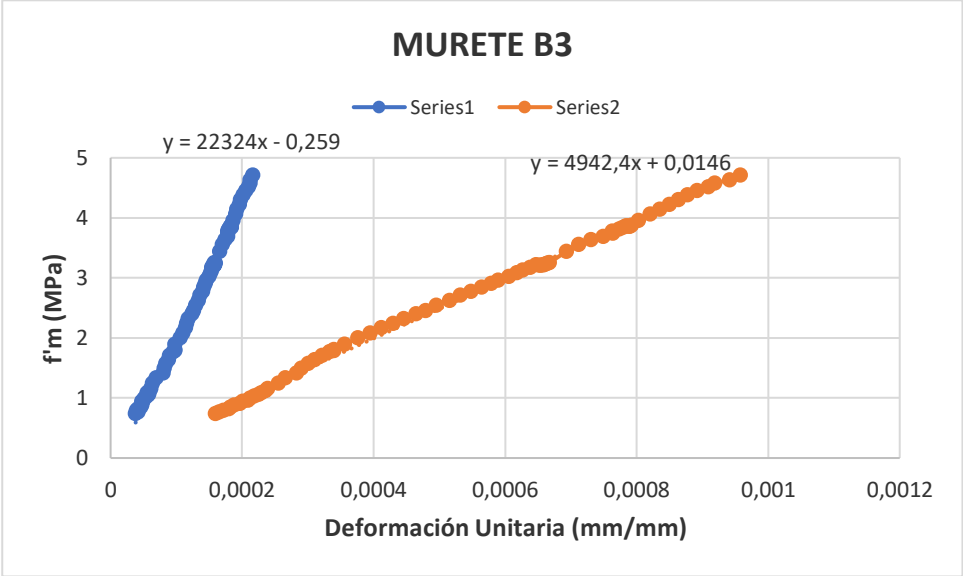
T8

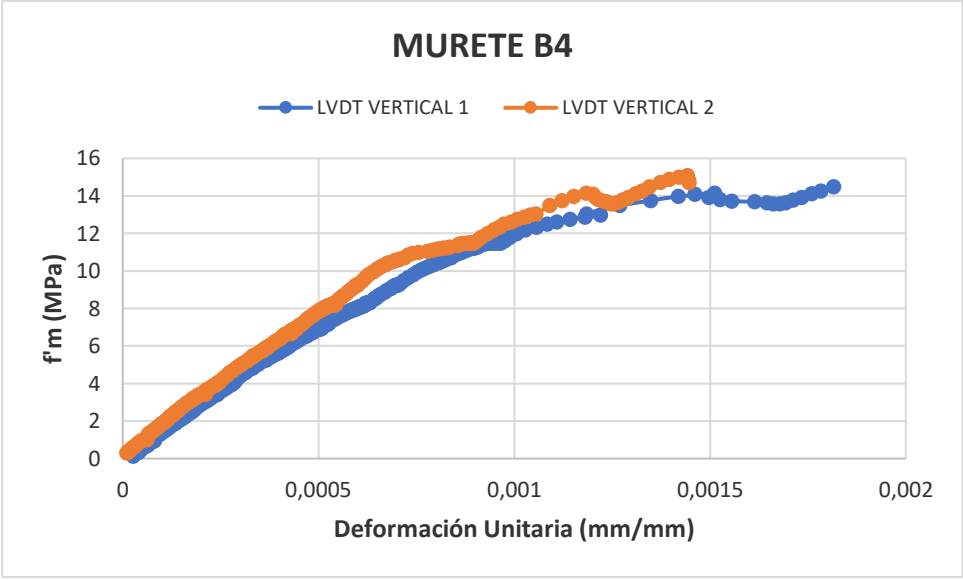

MURETE B2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
0,0014
0,0016
0,0018
Deformación (mm/mm)

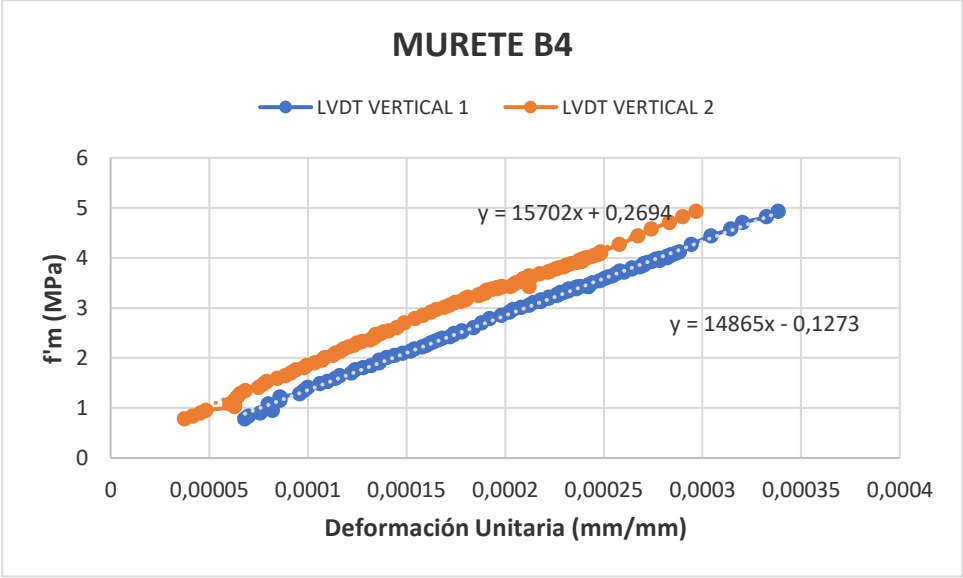

MURETE B2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 178708x - 0,6662
y = 10334x - 0,0447
f'm (MPA)
6
5
4
3
2
1
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
Deformación Unitaria (mm/mm)

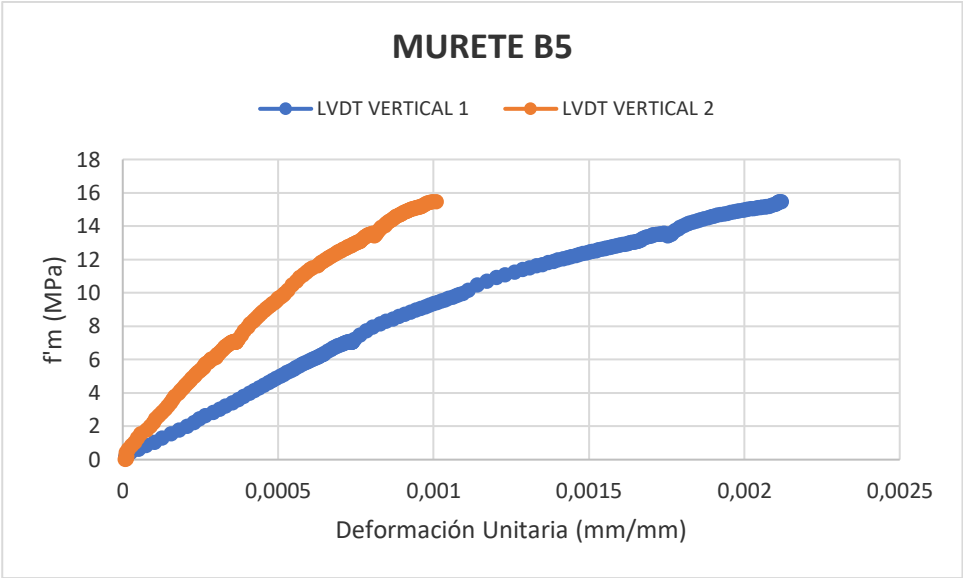
B2

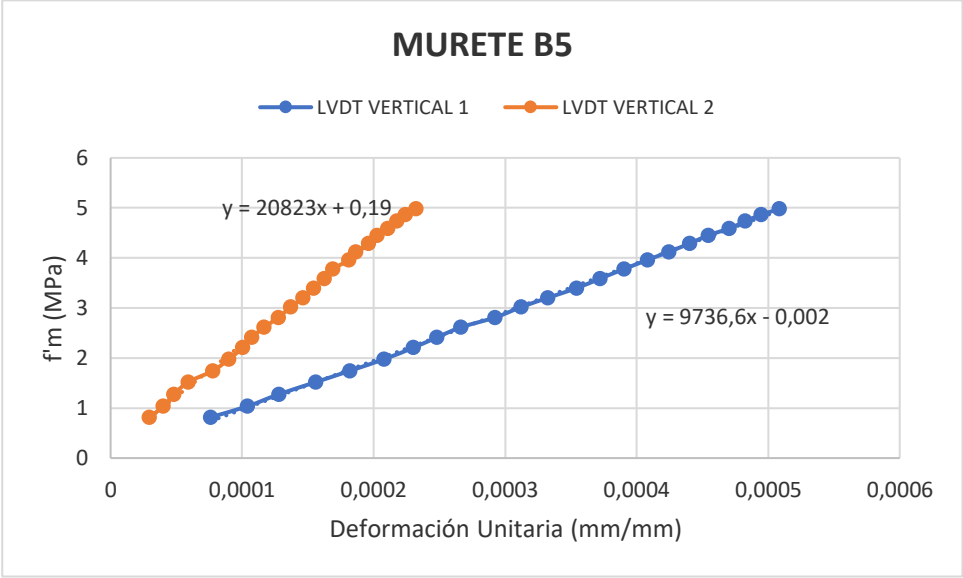

MURETE B3
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
fm (MPa)
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
0,0025
0,003
0,0035
0,004
0,0045
Deformación Unitaria (mm/mm)

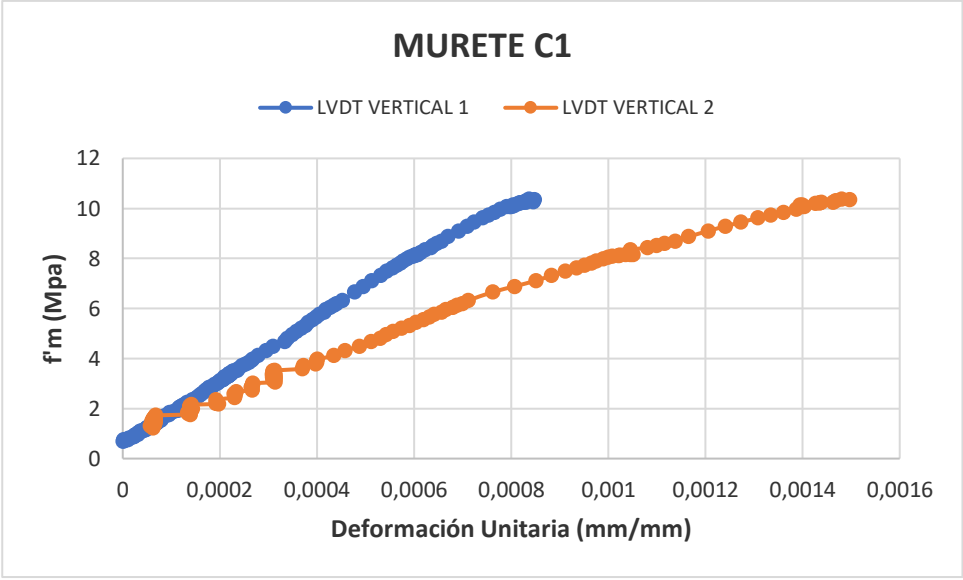

MURETE B3
Series1
Series2
y = 22324x - 0,259
y = 4942,4x + 0,0146
f'm (MPa)
5
4
3
2
1
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
Deformación Unitaria (mm/mm)

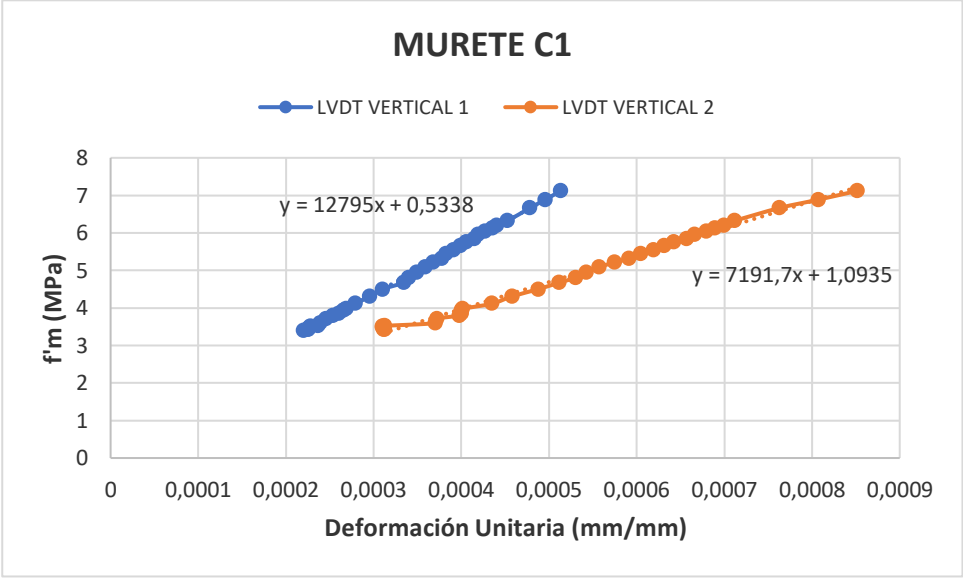

MURETE B4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE B4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
6
5
4
3
2
1
0
y = 15702x + 0,2694
y = 14865x - 0,1273
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
0,00035
0,0004
Deformación Unitaria (mm/mm)

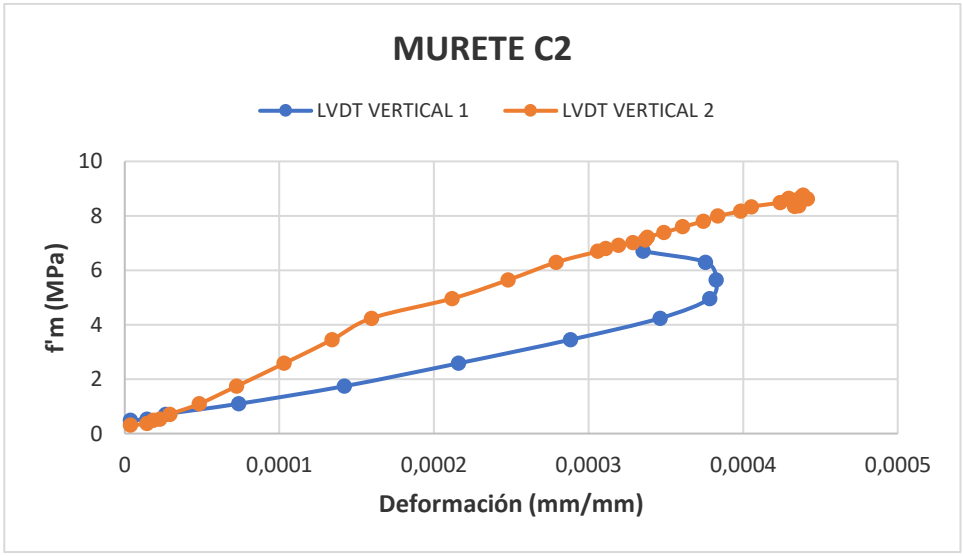

MURETE B5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
0,0025
Deformación Unitaria (mm/mm)

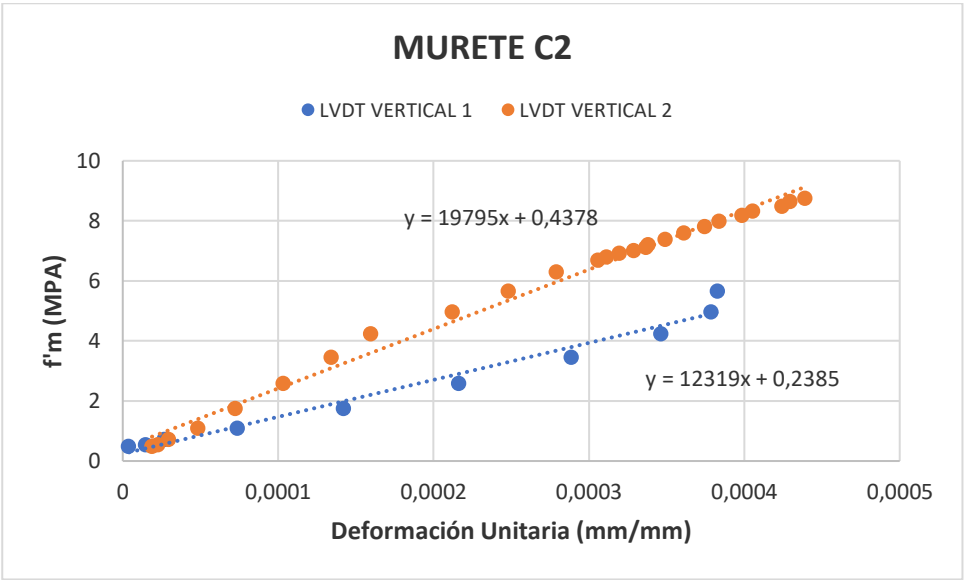

MURETE B5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 20823x + 0,19
y = 9736,6x - 0,002
f'm (MPa)
6
5
4
3
2
1
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE C1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (Mpa)
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
0,0014
0,0016
Deformación Unitaria (mm/mm)

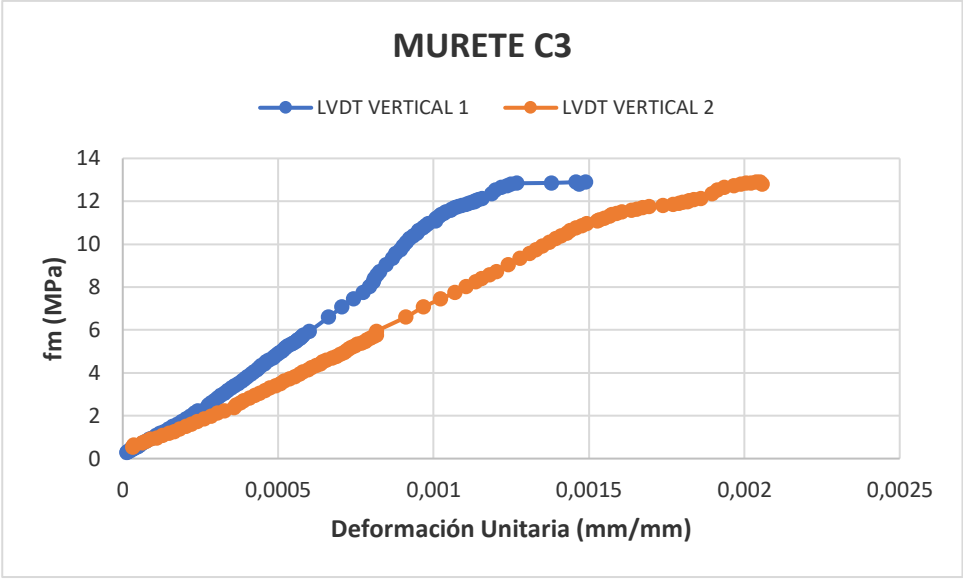

MURETE C1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 12795x + 0,5338
y = 7191,7x + 1,0935
f'm (MPa)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
0,0008
0,0009
Deformación Unitaria (mm/mm)

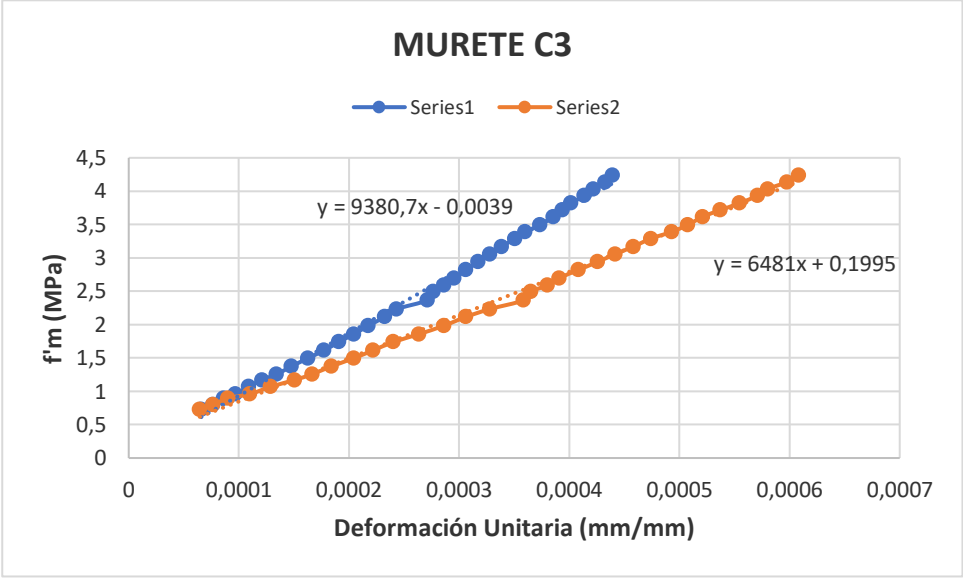
C1

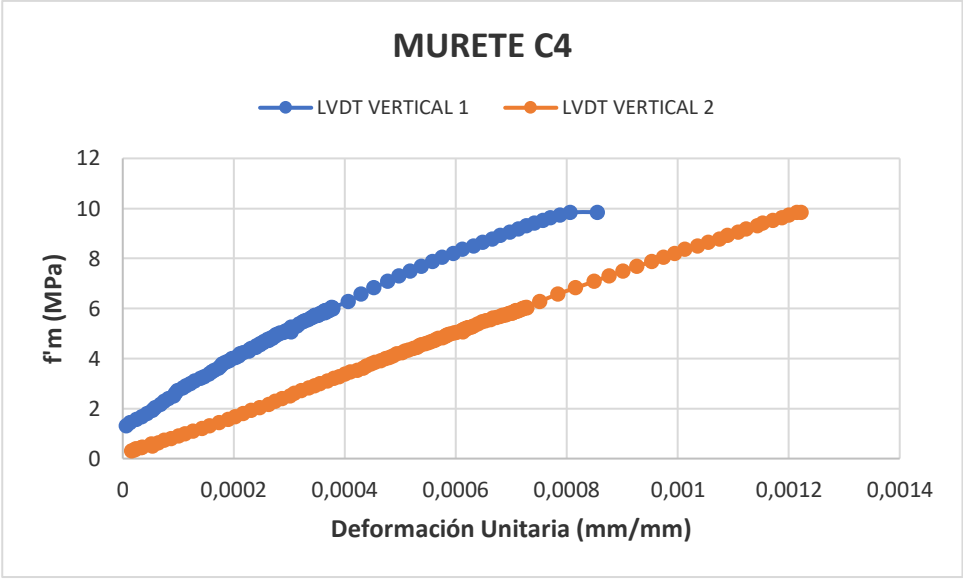

MURETE C2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
10
8
6
4
2
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
Deformación (mm/mm)

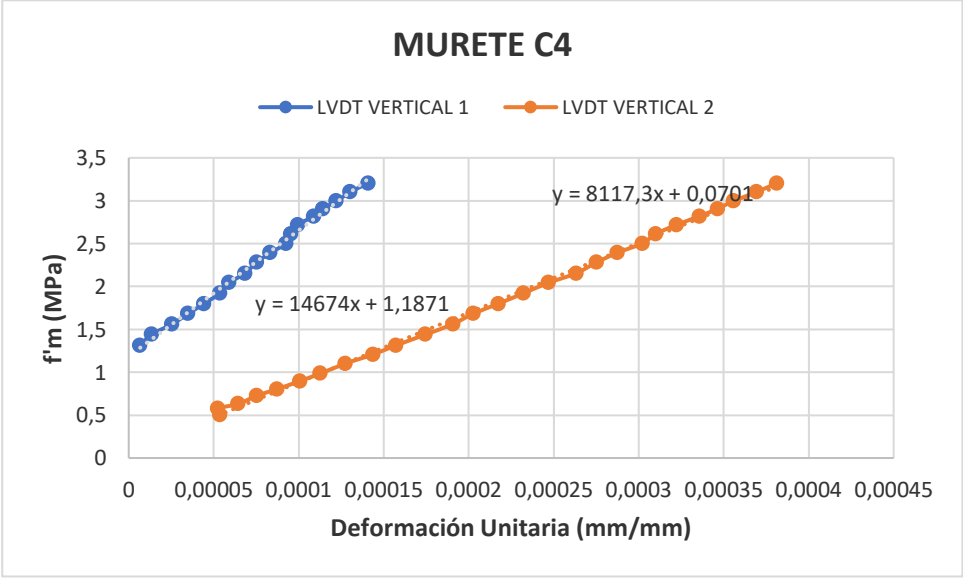

MURETE C2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPA)
y = 19795x + 0,4378
y = 12319x + 0,2385
10
8
6
4
2
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
Deformación Unitaria (mm/mm)

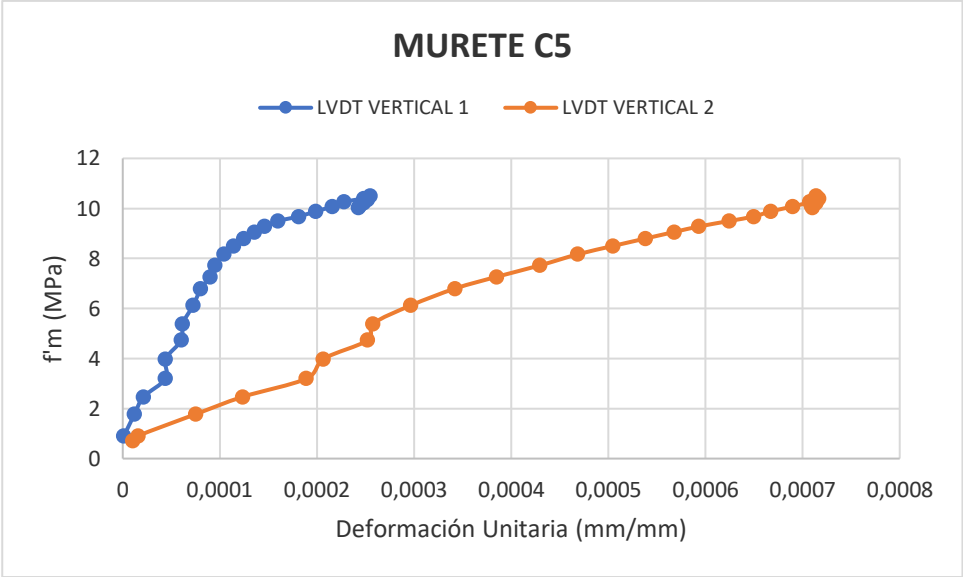
C2

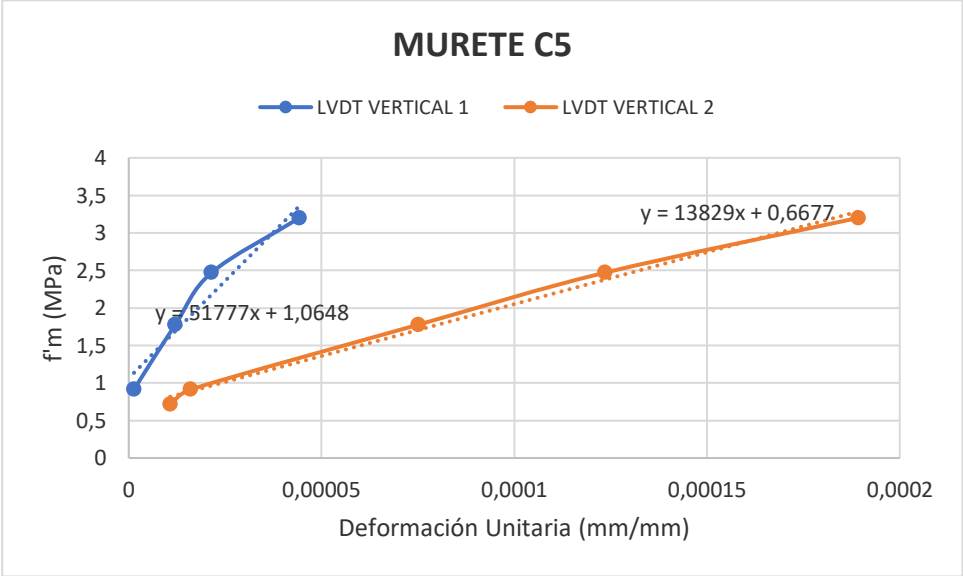

MURETE C3
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
fm (MPa)
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
0,0025
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE C3
Series1
Series2
f'm (MPa)
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
y = 9380,7x - 0,0039
y = 6481x + 0,1995
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
Deformación Unitaria (mm/mm)

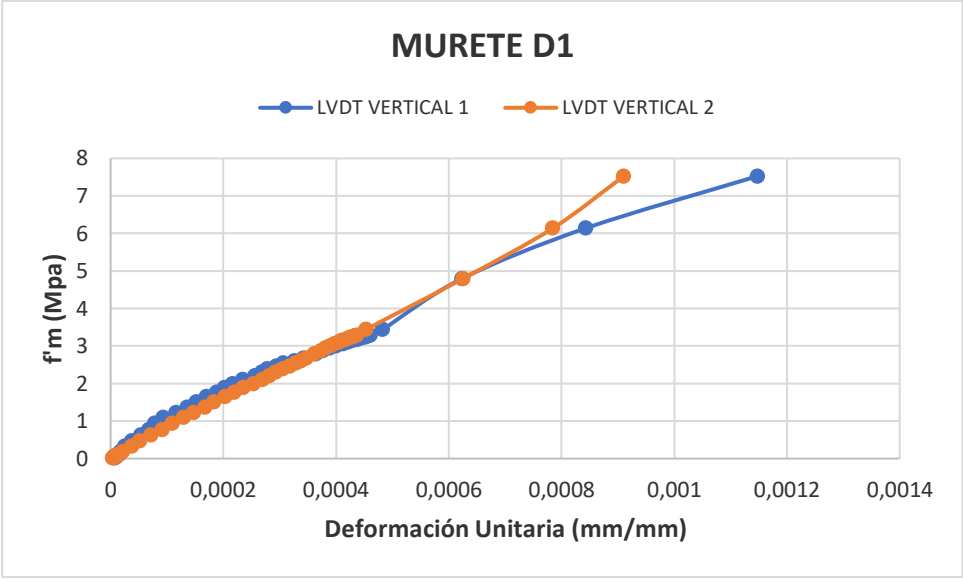

MURETE C4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
0,0014
Deformación Unitaria (mm/mm)

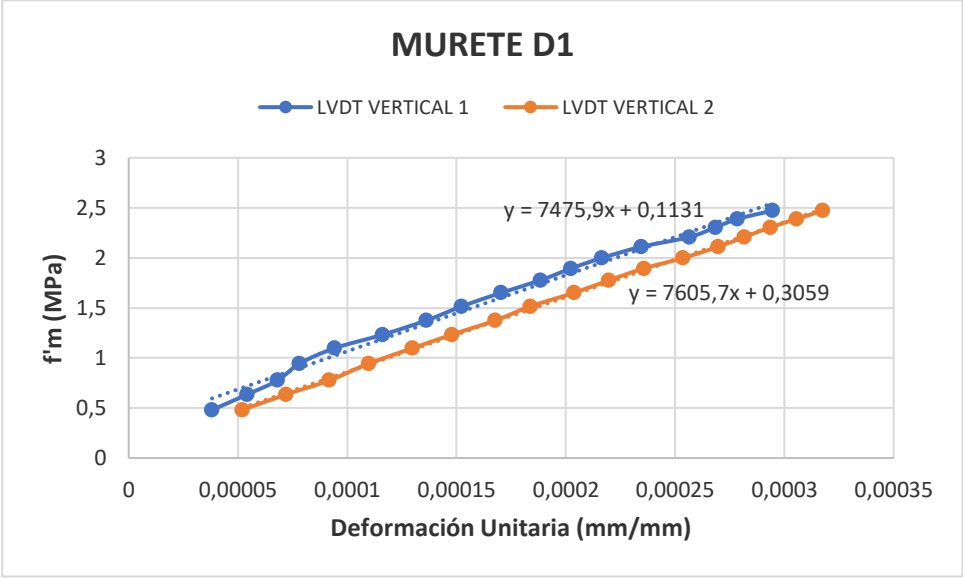

MURETE C4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
y = 8117,3x + 0,0701
y = 14674x + 1,1871
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
0,00035
0,0004
0,00045
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE C5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
0,0008
Deformación Unitaria (mm/mm)

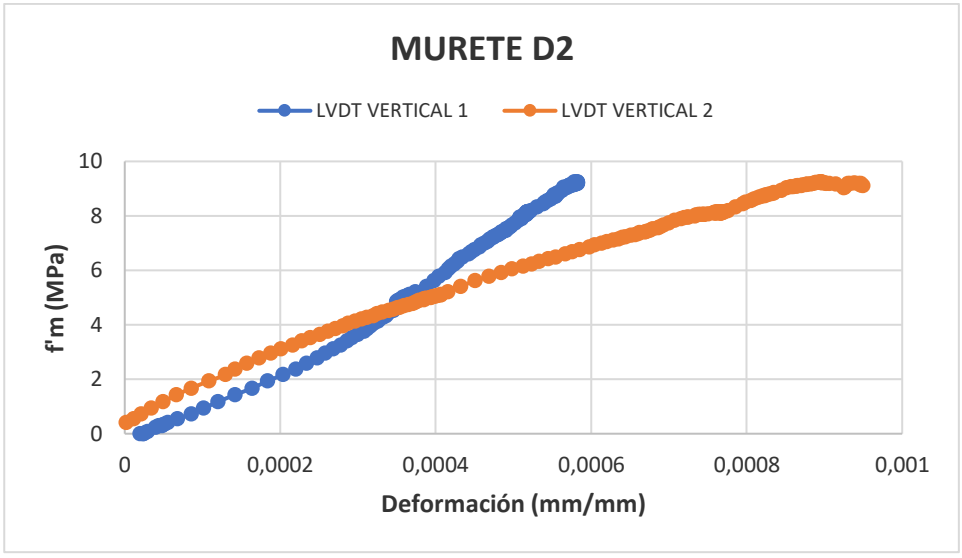

MURETE C5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
y = 51777x + 1,0648
y = 13829x + 0,6677
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
Deformación Unitaria (mm/mm)

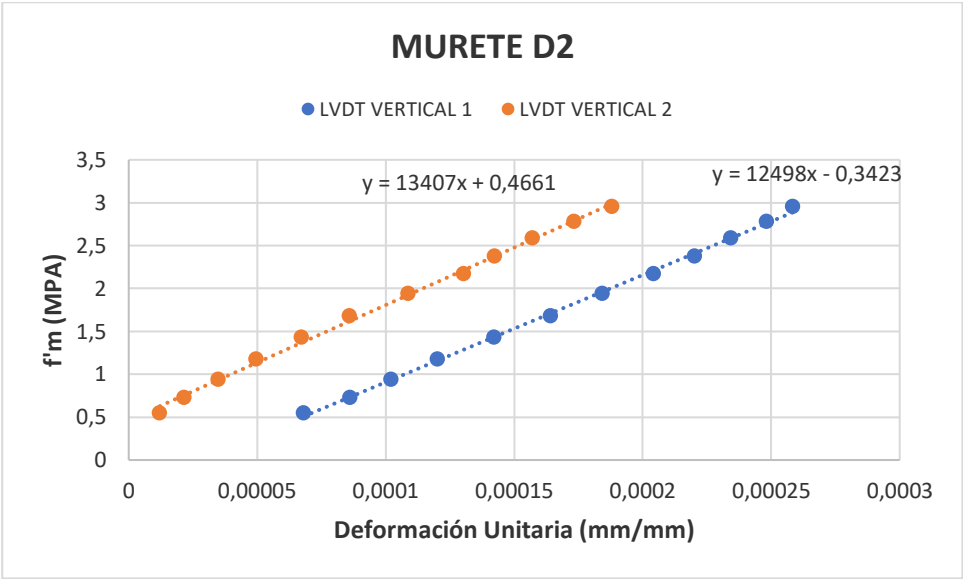
C5
C5

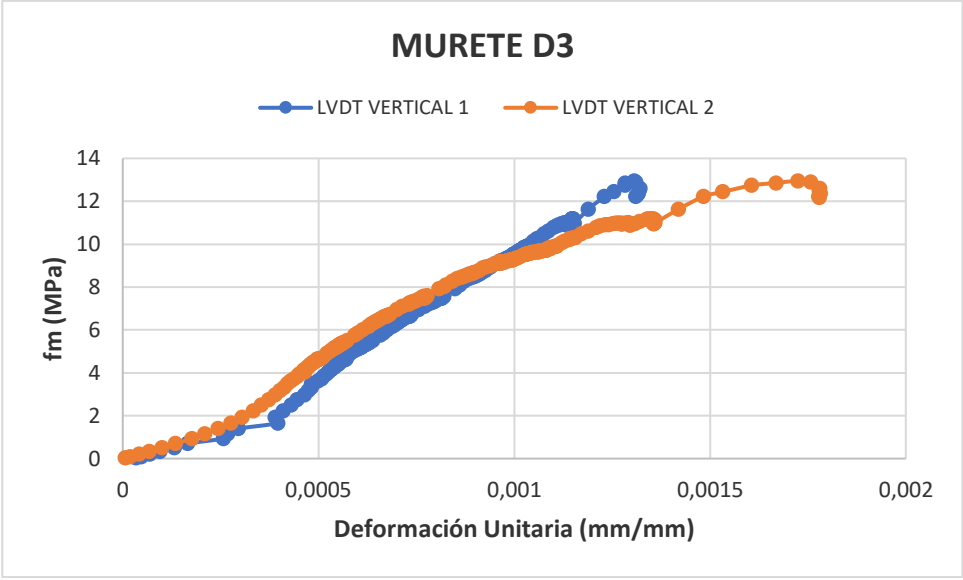

MURETE D1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (Mpa)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
0,0014
Deformación Unitaria (mm/mm)

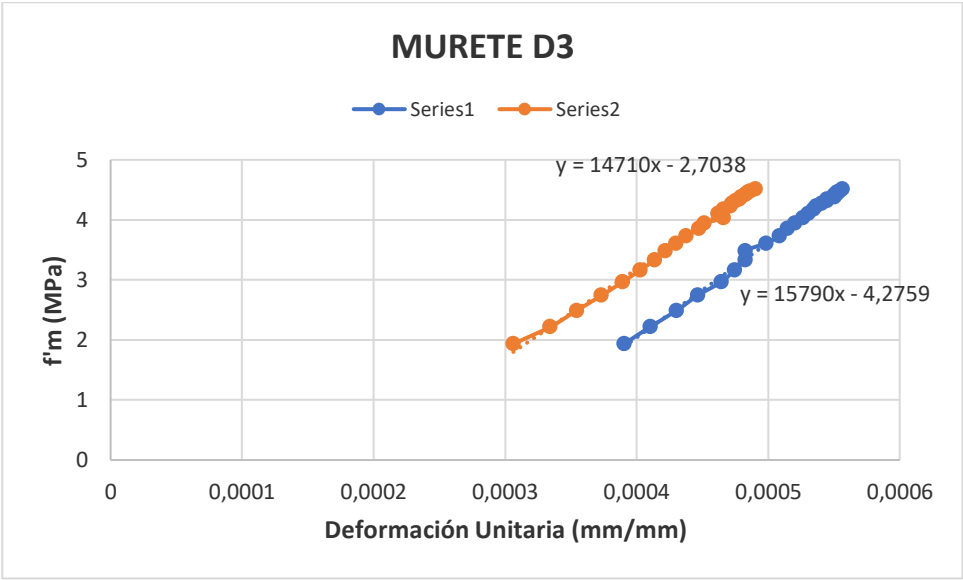

MURETE D1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
y = 7475,9x + 0,1131
y = 7605,7x + 0,3059
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
0,00035
Deformación Unitaria (mm/mm)

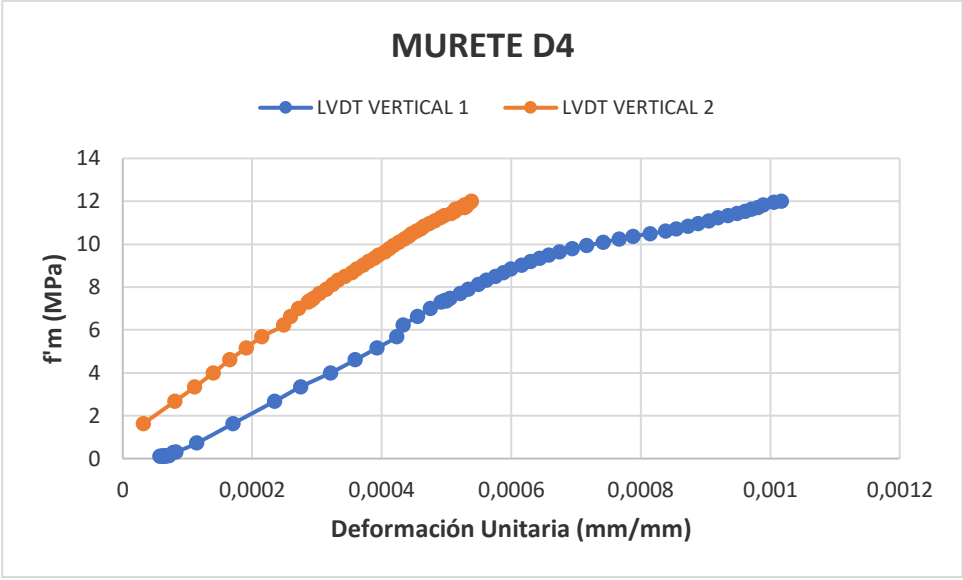
D1

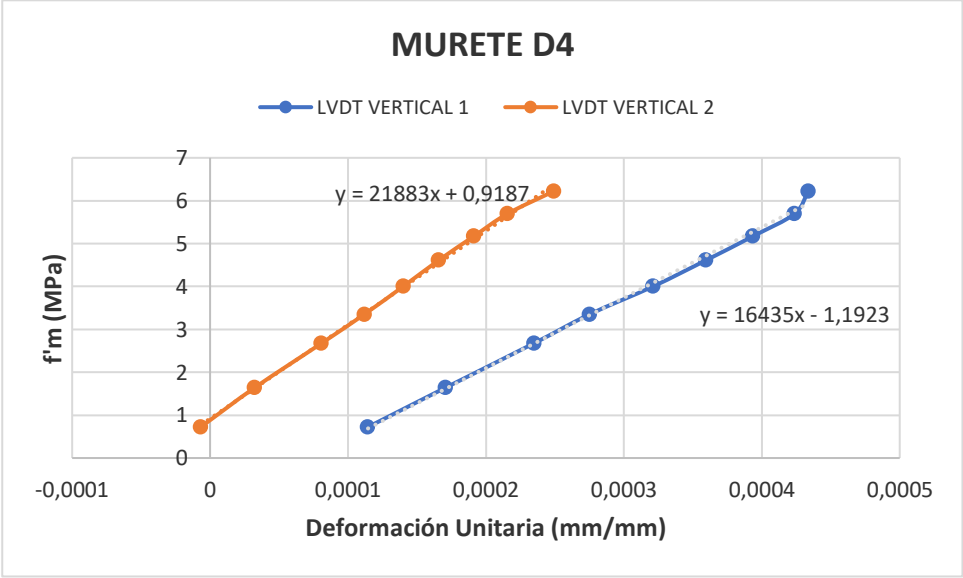

MURETE D2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
10
8
6
4
2
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
Deformación (mm/mm)

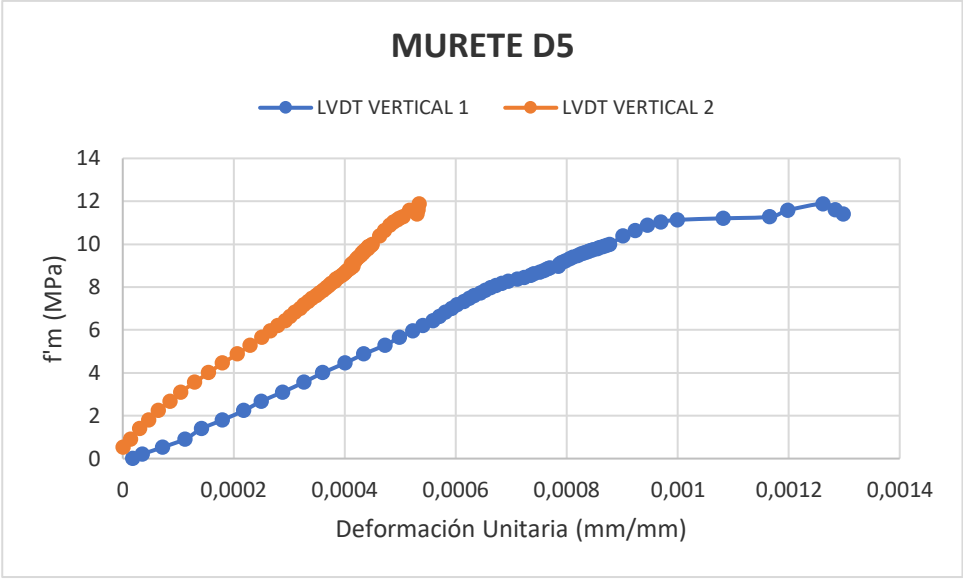

MURETE D2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 13407x + 0,4661
y = 12498x - 0,3423
f'm (MPA)
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
Deformación Unitaria (mm/mm)

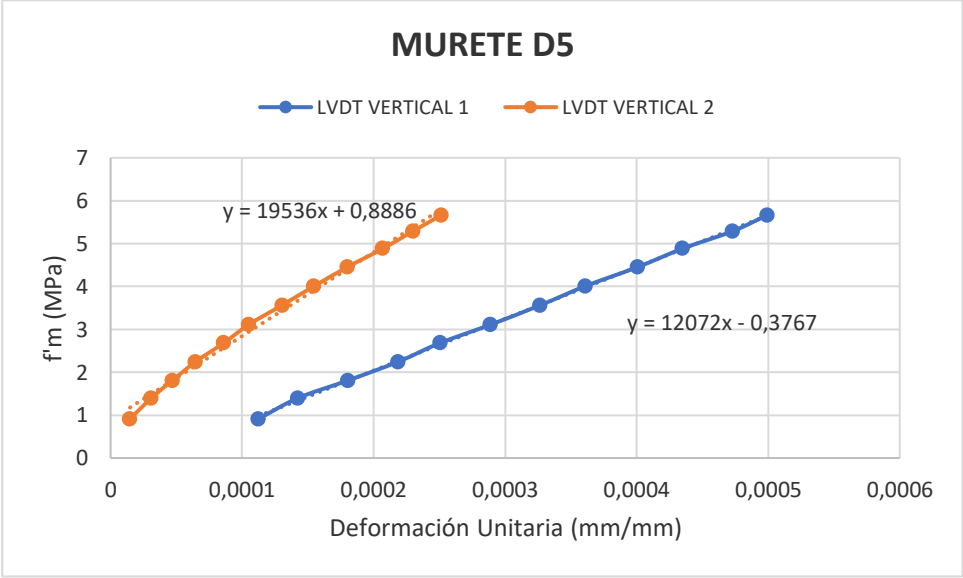

MURETE D3
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
14
12
10
8
6
4
2
0
fm (MPa)
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
Deformación Unitaria (mm/mm)

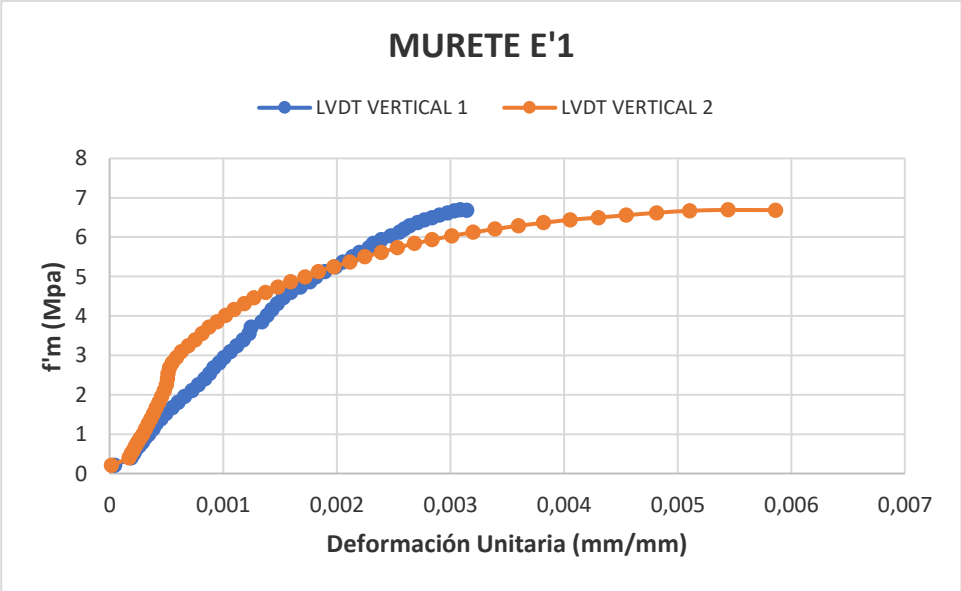

MURETE D3
Series1
Series2
y = 14710x - 2,7038
y = 15790x - 4,2759
5
4
3
2
1
0
f'm (MPa)
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)

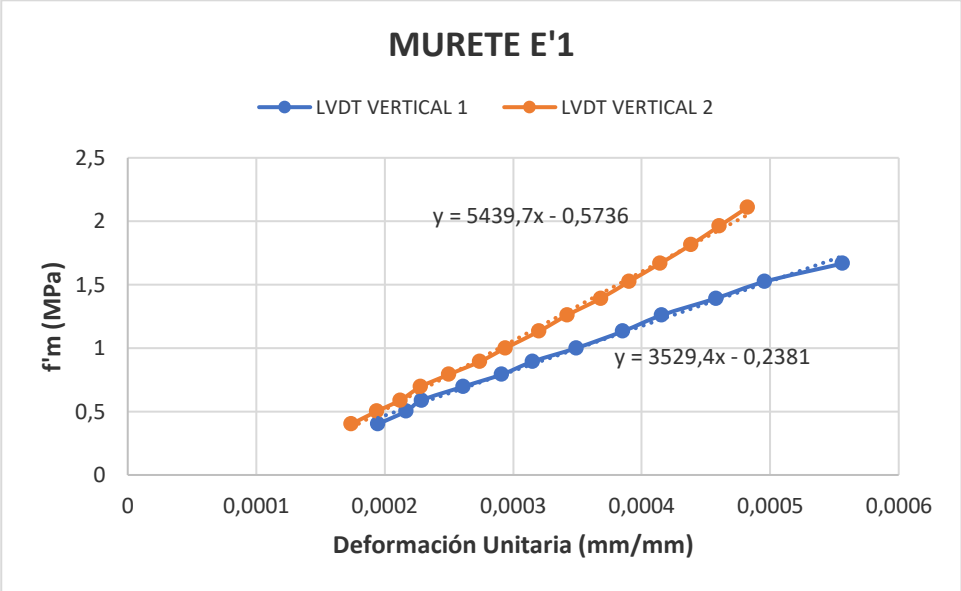

MURETE D4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
Deformación Unitaria (mm/mm)

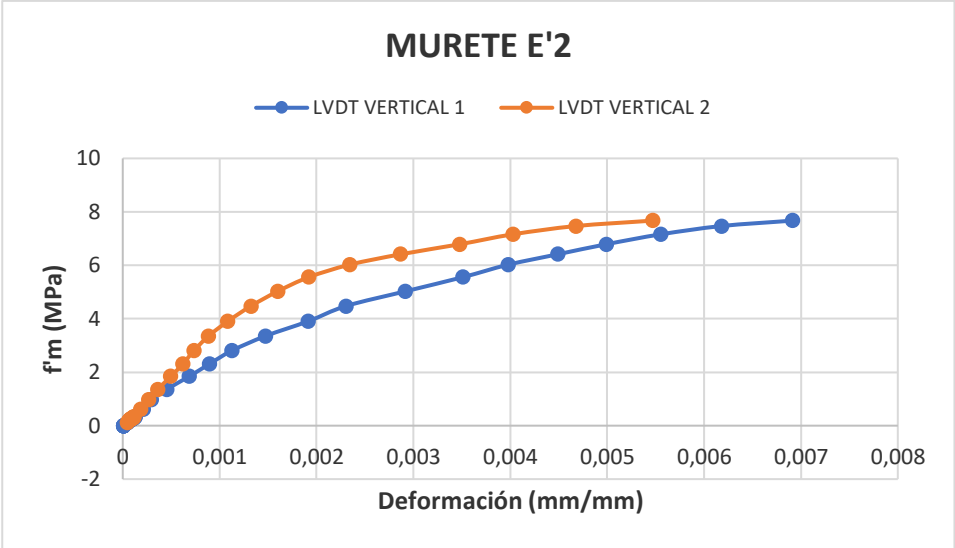

MURETE D4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 21883x + 0,9187
y = 16435x - 1,1923
f'm (MPa)
7
6
5
4
3
2
1
0
-0,0001
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
Deformación Unitaria (mm/mm)

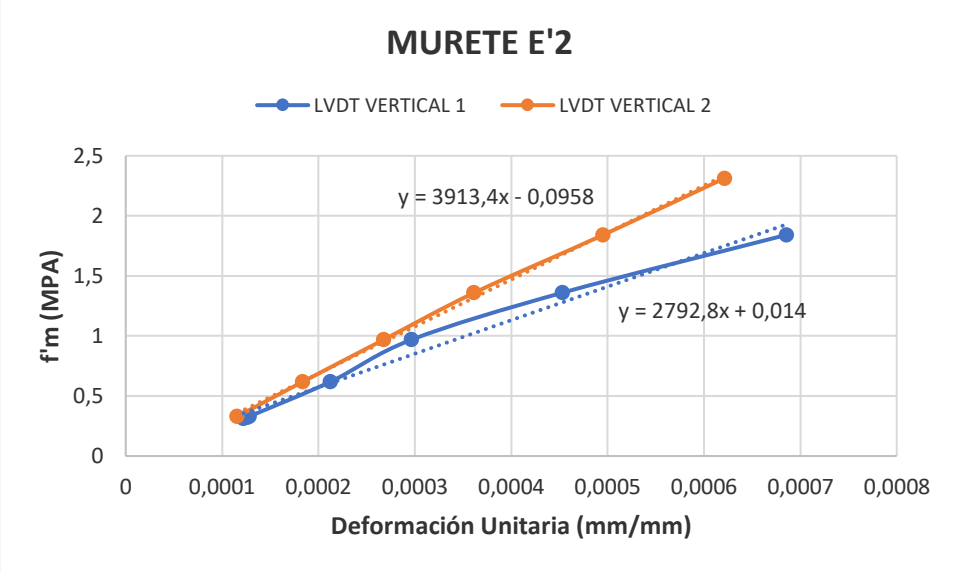

MURETE D5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
14
12
10
8
6
4
2
0
0
0,0002
0,0004
0,0006
0,0008
0,001
0,0012
0,0014
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE D5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 19536x + 0,8886
y = 12072x - 0,3767
f'm (MPa)
7
6
5
4
3
2
1
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)

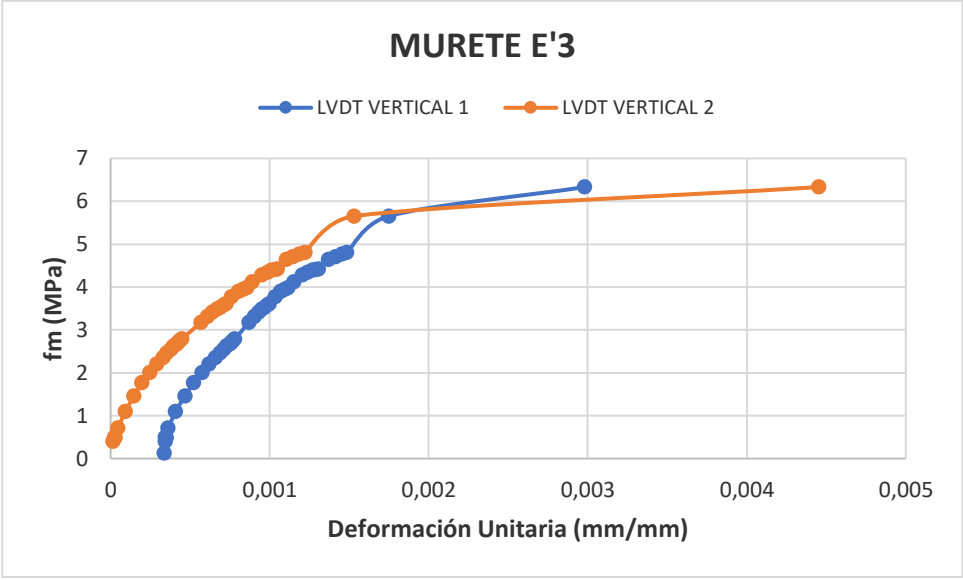

MURETE E'1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (Mpa)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
0
0,001
0,002
0,003
0,004
0,005
0,006
0,007
Deformación Unitaria (mm/mm)

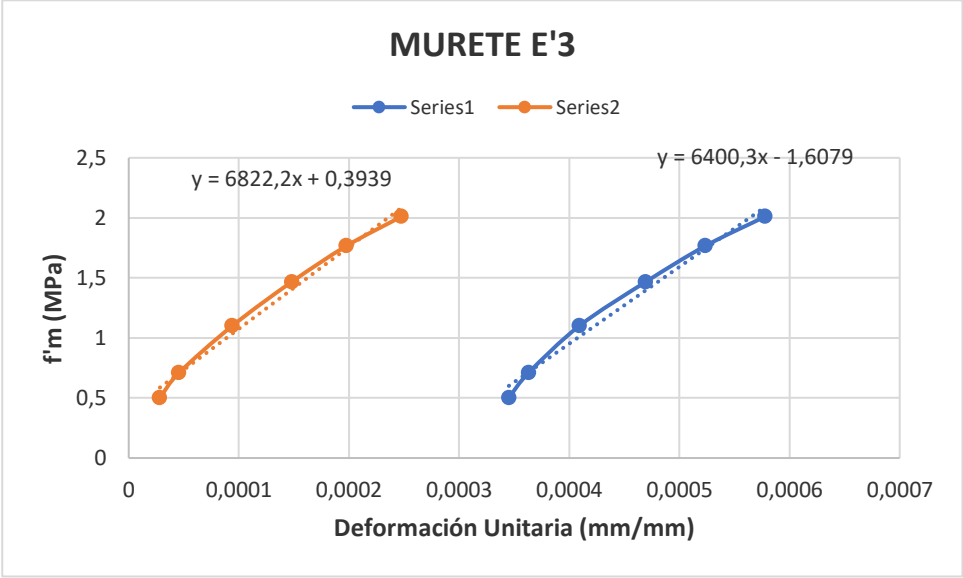

MURETE E'1
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 5439,7x - 0,5736
y = 3529,4x - 0,2381
f'm (MPa)
0
0,5
1
1,5
2
2,5
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE E'2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
10
8
6
4
2
0
-2
0
0,001
0,002
0,003
0,004
0,005
0,006
0,007
0,008
Deformación (mm/mm)

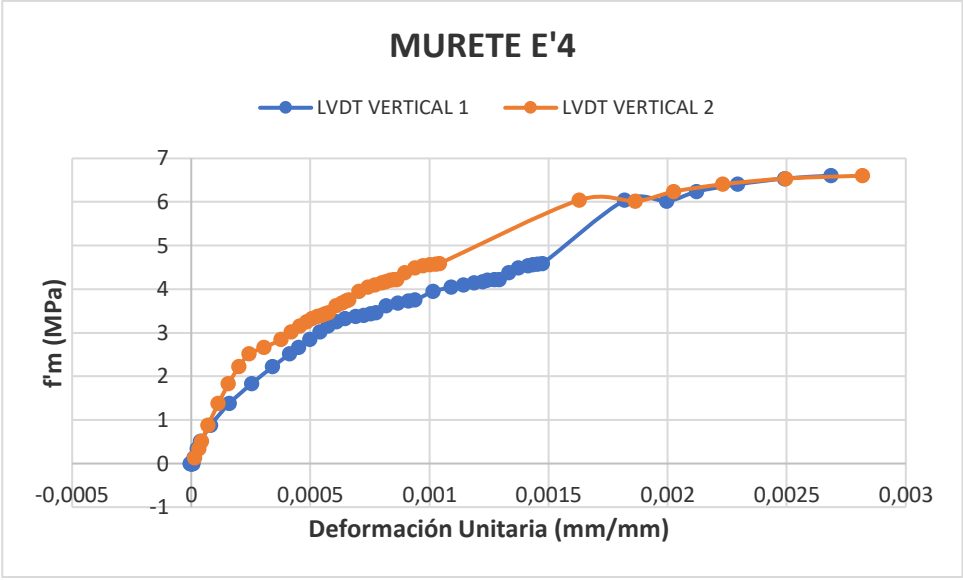

MURETE E'2
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 3913,4x - 0,0958
y = 2792,8x + 0,014
f'm (MPA)
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
0,0008
Deformación Unitaria (mm/mm)

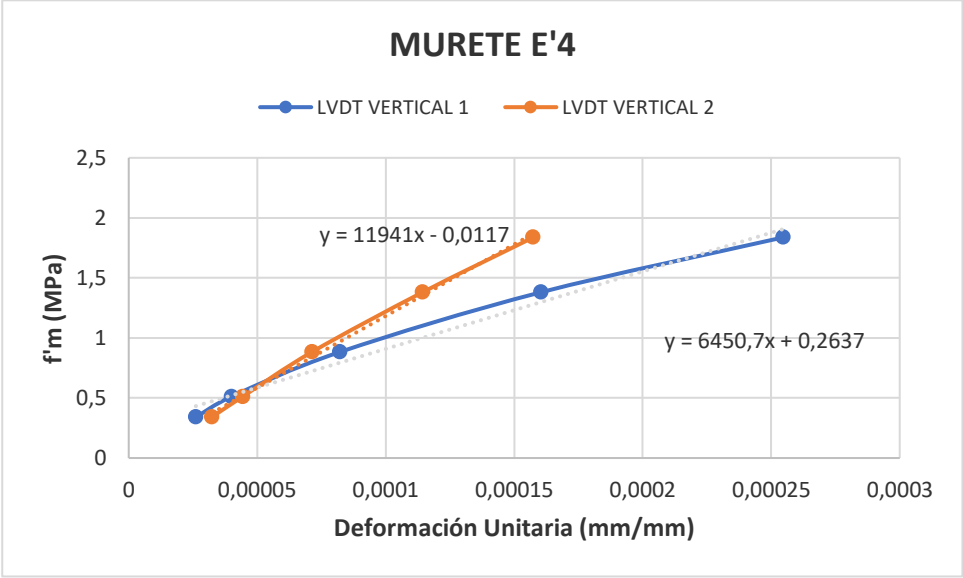
E2


MURETE E'3
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
fm (MPa)
0
1
2
3
4
5
6
7
0
0,001
0,002
0,003
0,004
0,005
Deformación Unitaria (mm/mm)

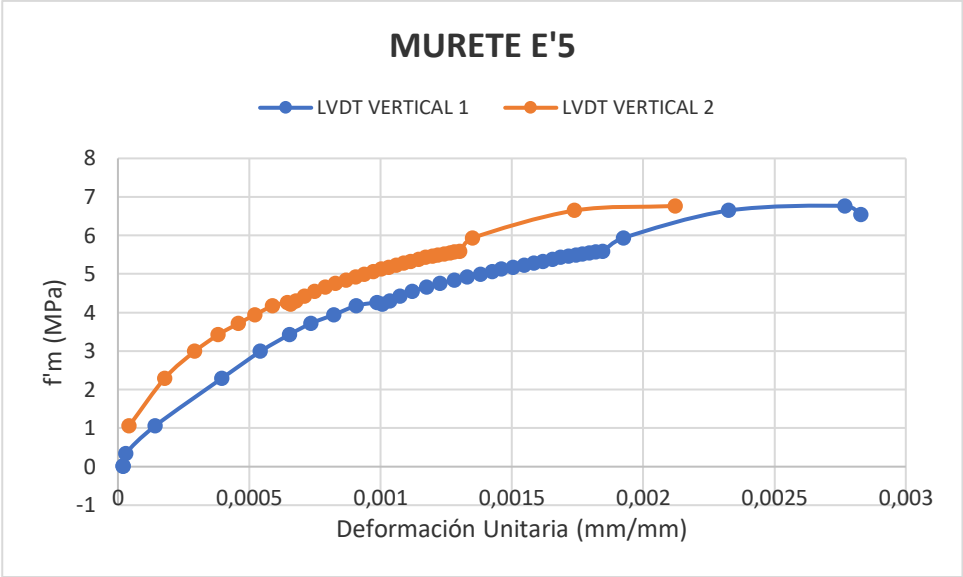

MURETE E'3
Series1
Series2
y = 6822,2x + 0,3939
y = 6400,3x - 1,6079
f'm (MPa)
0
0,5
1
1,5
2
2,5
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
Deformación Unitaria (mm/mm)

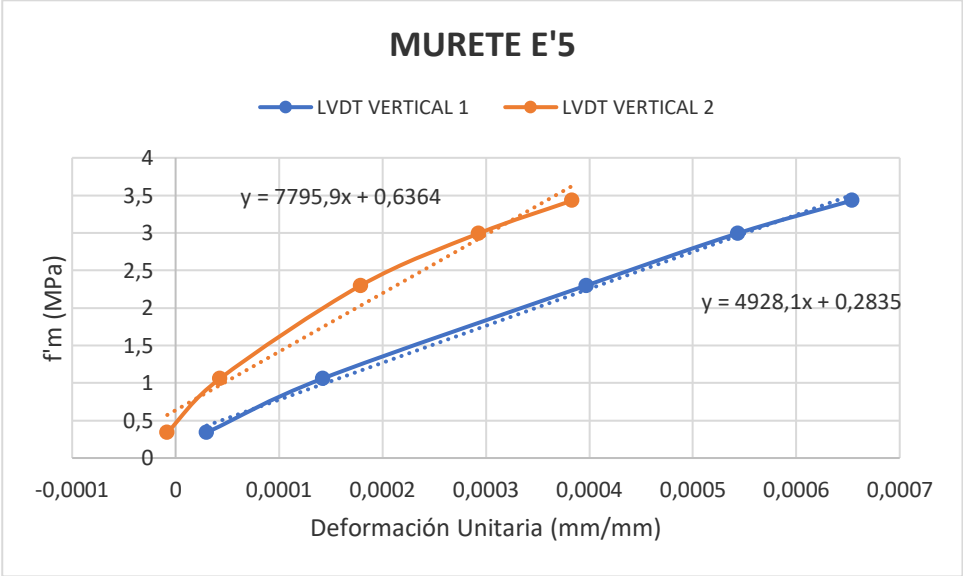
E3


MURETE E'4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-0,0005
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
0,0025
0,003
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE E'4
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
2,5
2
1,5
1
0,5
0
y = 11941x - 0,0117
y = 6450,7x + 0,2637
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
Deformación Unitaria (mm/mm)

E'4

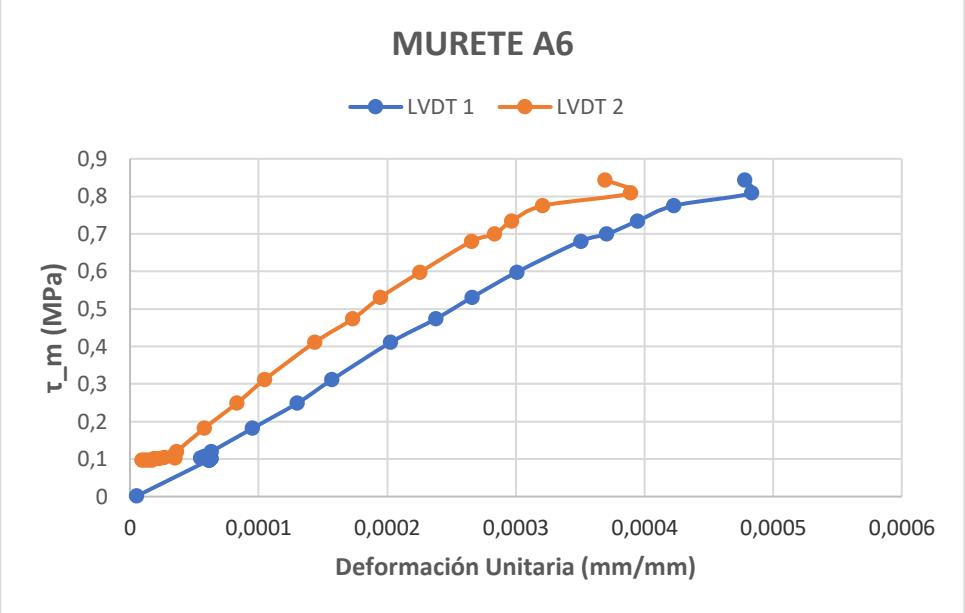

MURETE E'5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
f'm (MPa)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
0
0,0005
0,001
0,0015
0,002
0,0025
0,003
Deformación Unitaria (mm/mm)

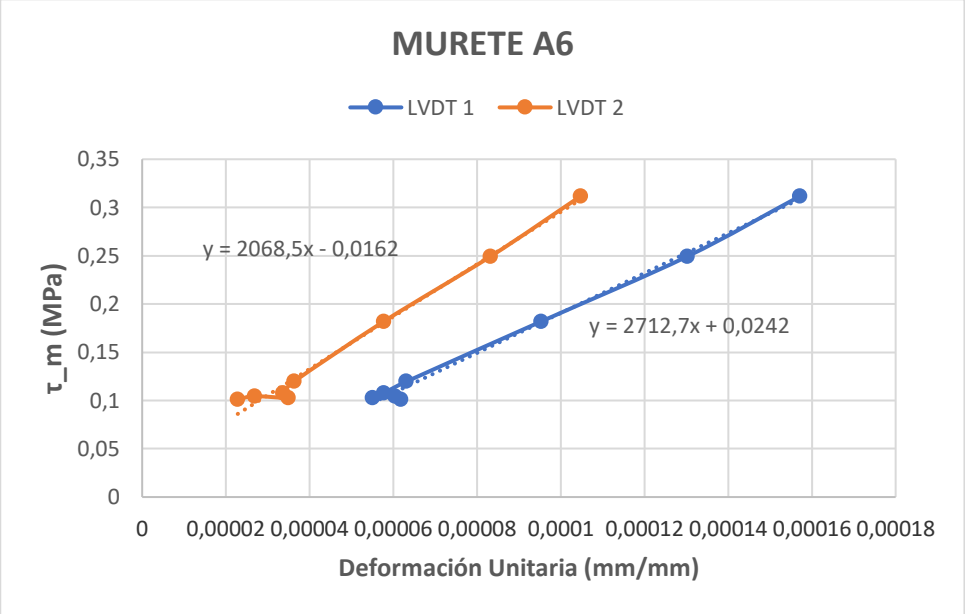

MURETE E'5
LVDT VERTICAL 1
LVDT VERTICAL 2
y = 7795,9x + 0,6364
y = 4928,1x + 0,2835
f'm (MPa)
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,0001
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
Deformación Unitaria (mm/mm)

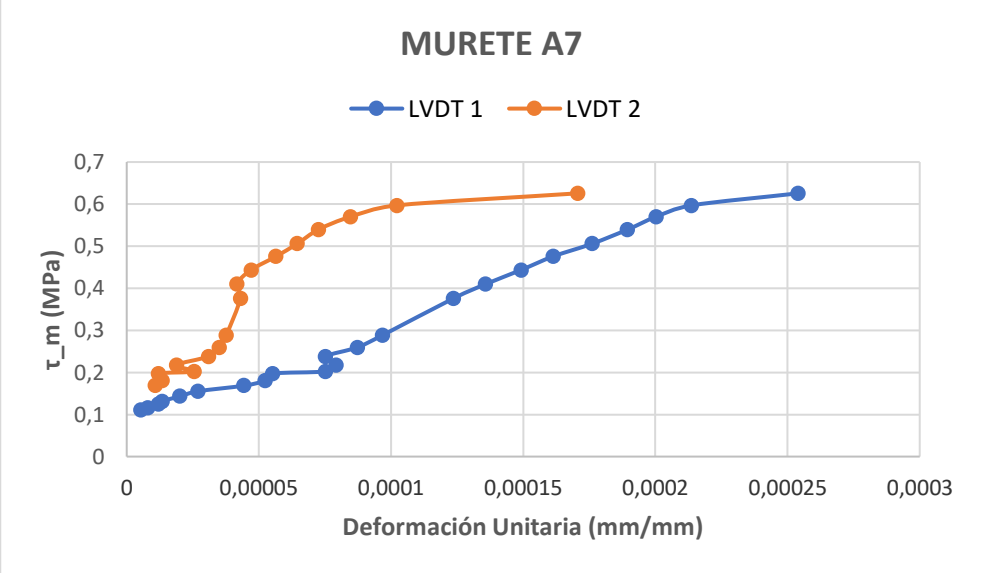
E'5

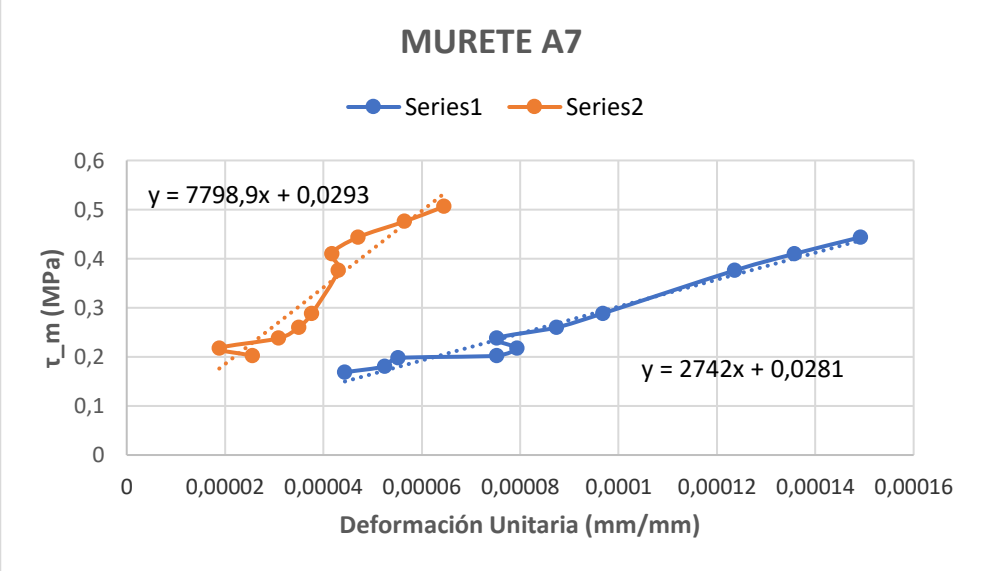
ANEXO F

GRÁFICOS Y CÁLCULO DE MÓDULO DE CORTE DE ENSAYO A TESIÓN DIAGONAL EN MURETES

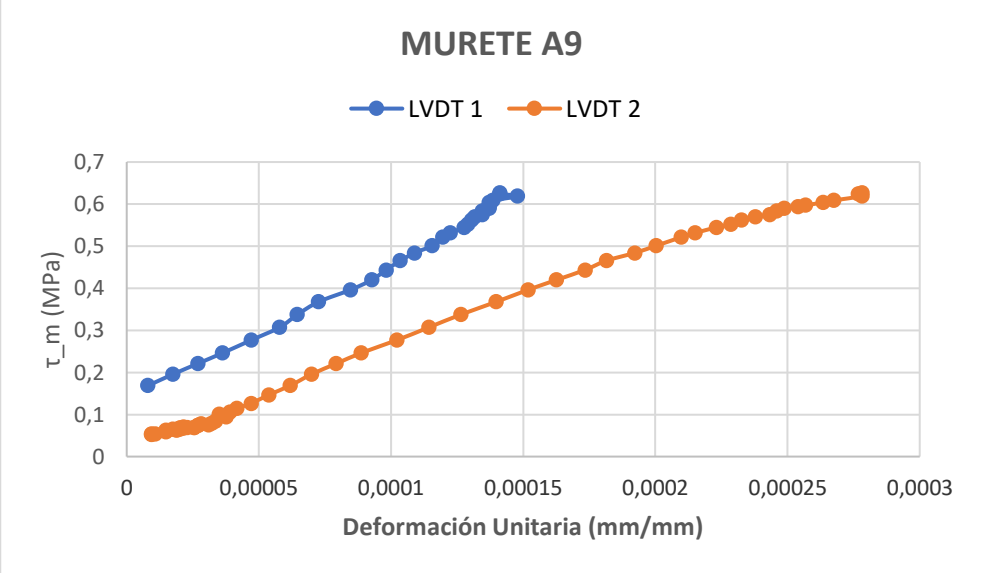

MURETE A6
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)

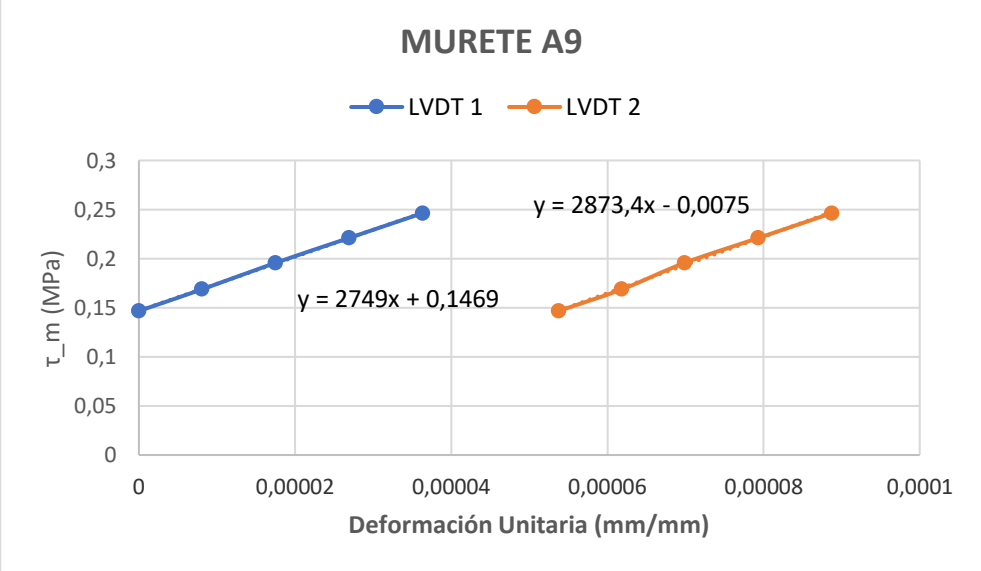

MURETE A6
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
y = 2068,5x - 0,0162
y = 2712,7x + 0,0242
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
0,00016
0,00018
Deformación Unitaria (mm/mm)

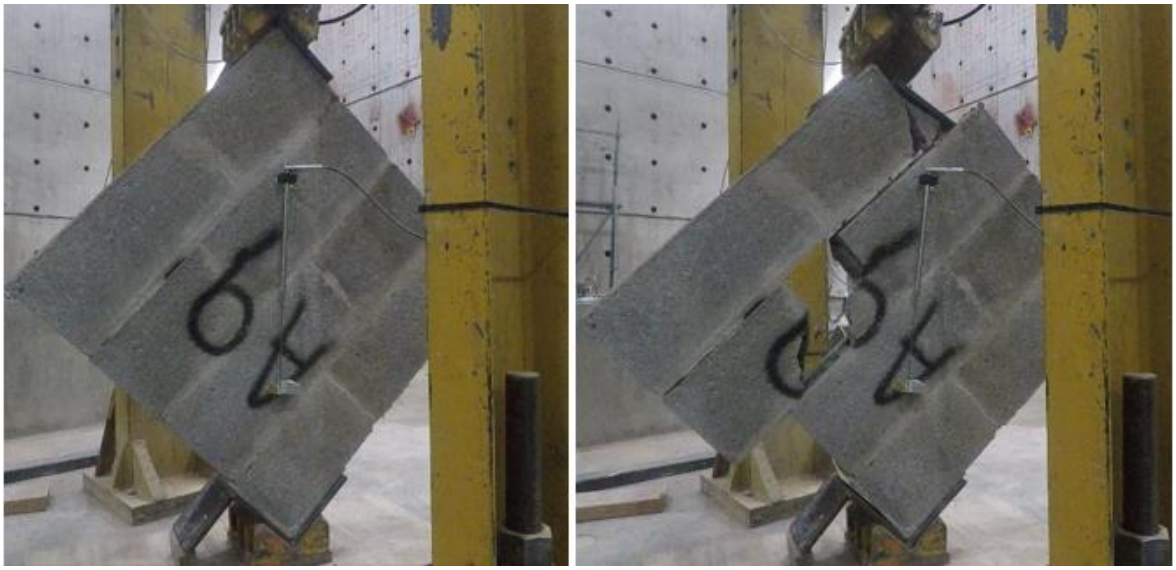

MURETE A7
LVDT 1
LVDT 2
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
τ_m (MPa)
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
Deformación Unitaria (mm/mm)

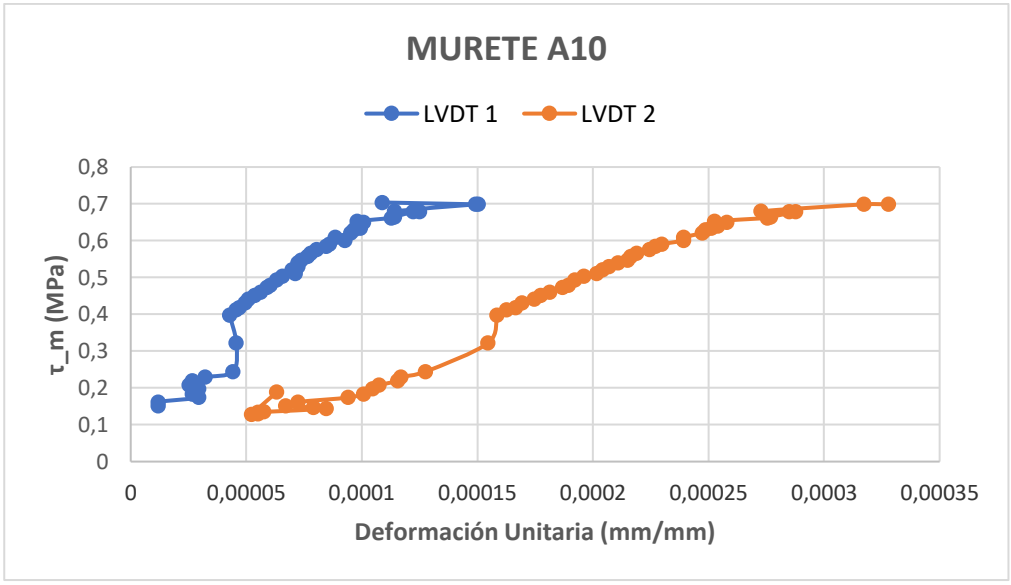

MURETE A7
Series1
Series2
y = 7798,9x + 0,0293
y = 2742x + 0,0281
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
τ_m (MPa)
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
0,00016
Deformación Unitaria (mm/mm)

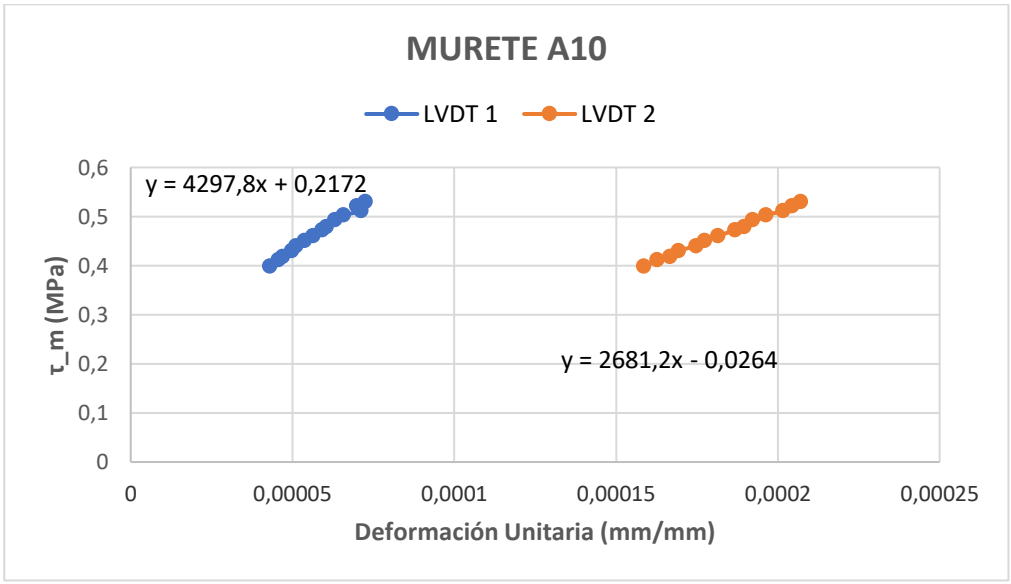
A7

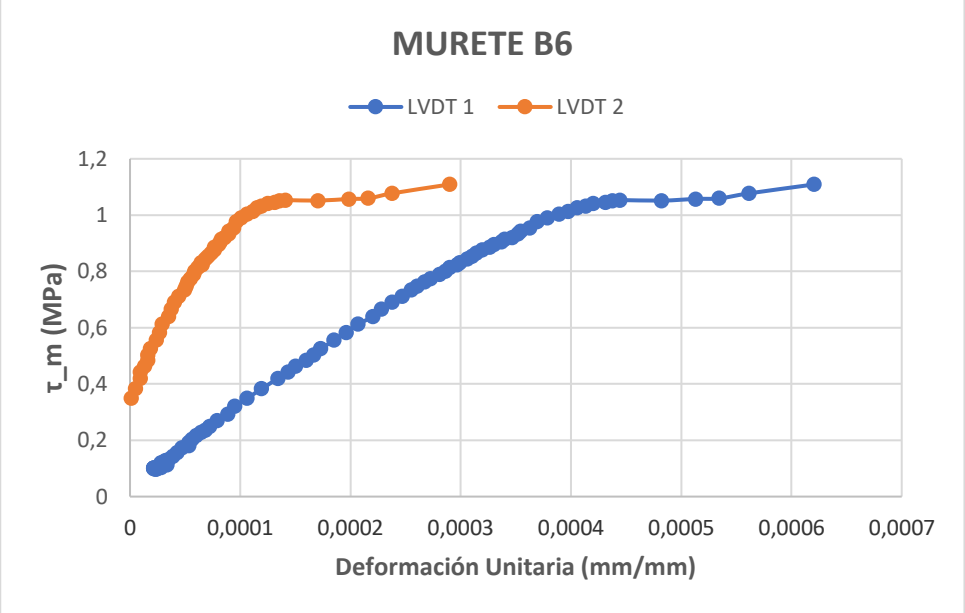

MURETE A9
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
Deformación Unitaria (mm/mm)

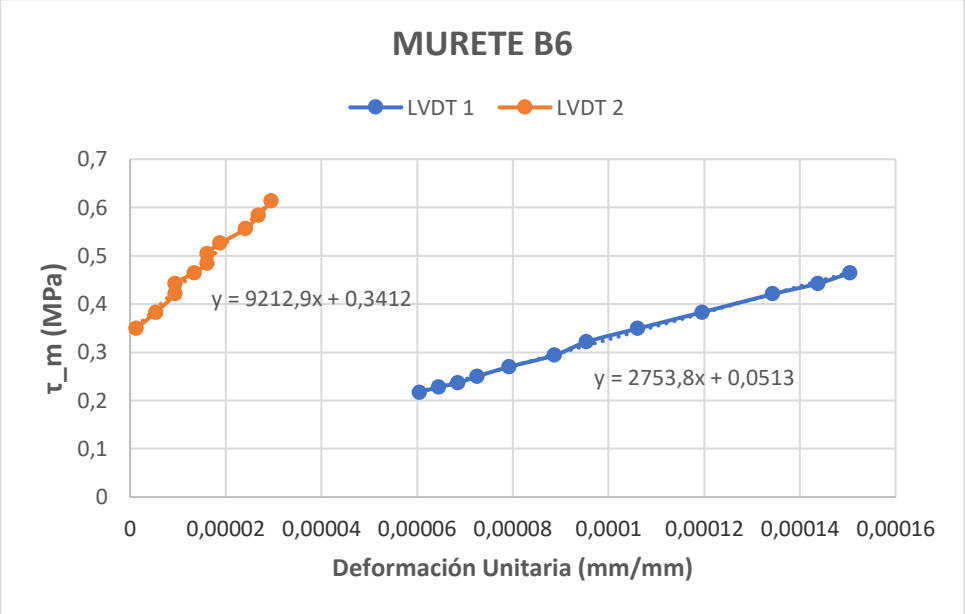

MURETE A9
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
y = 2749x + 0,1469
y = 2873,4x - 0,0075
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
Deformación Unitaria (mm/mm)



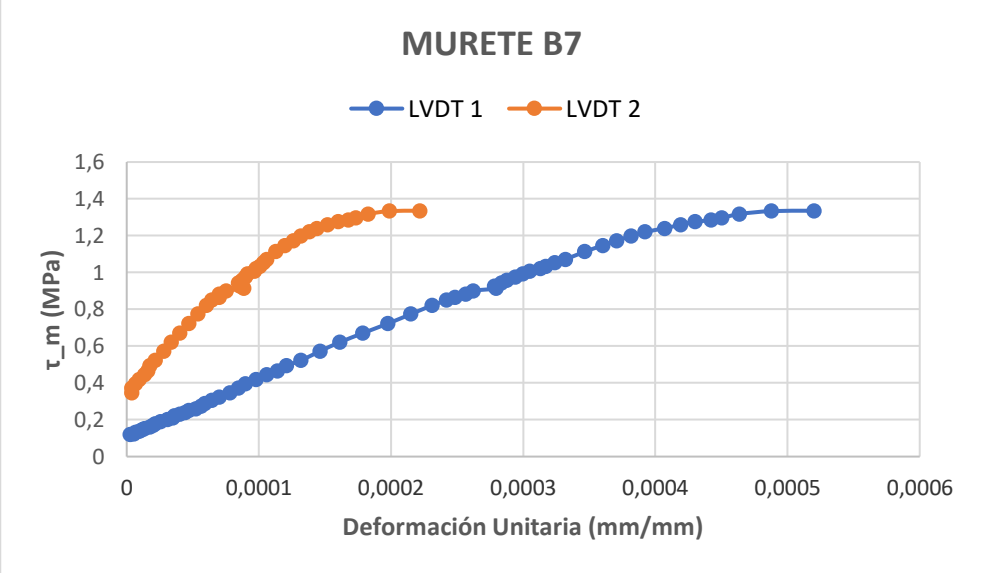

MURETE A10
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
0,00035
Deformación Unitaria (mm/mm)

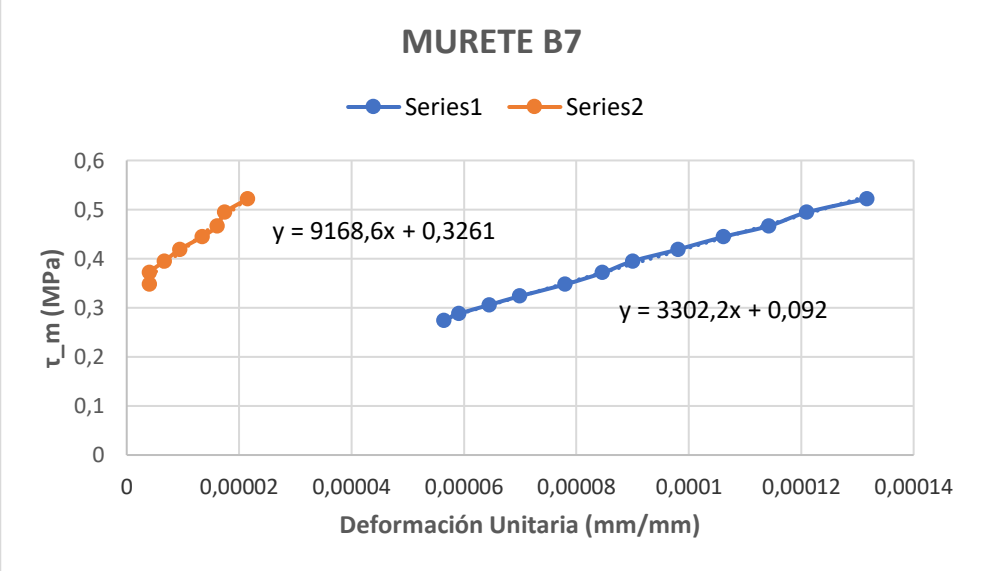

MURETE A10
LVDT 1
LVDT 2
y = 4297,8x + 0,2172
y = 2681,2x - 0,0264
τ_m (MPa)
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
Deformación Unitaria (mm/mm)

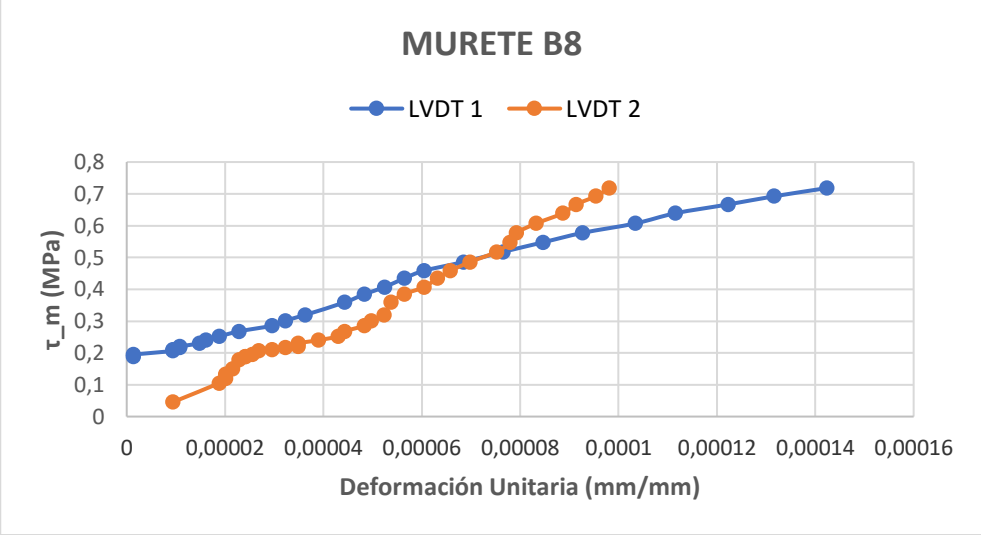

MURETE B6
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
Deformación Unitaria (mm/mm)

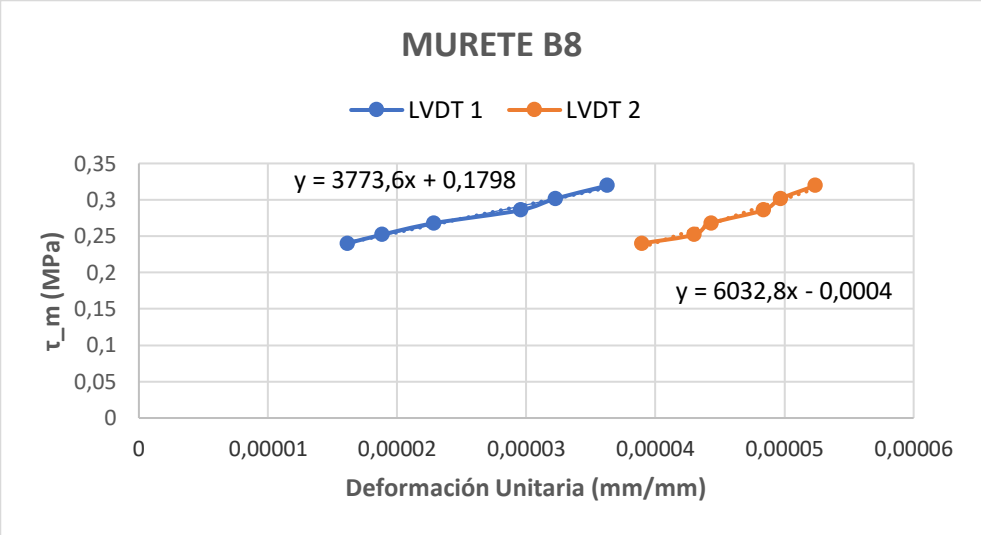

MURETE B6
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
y = 9212,9x + 0,3412
y = 2753,8x + 0,0513
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
0,00016
Deformación Unitaria (mm/mm)

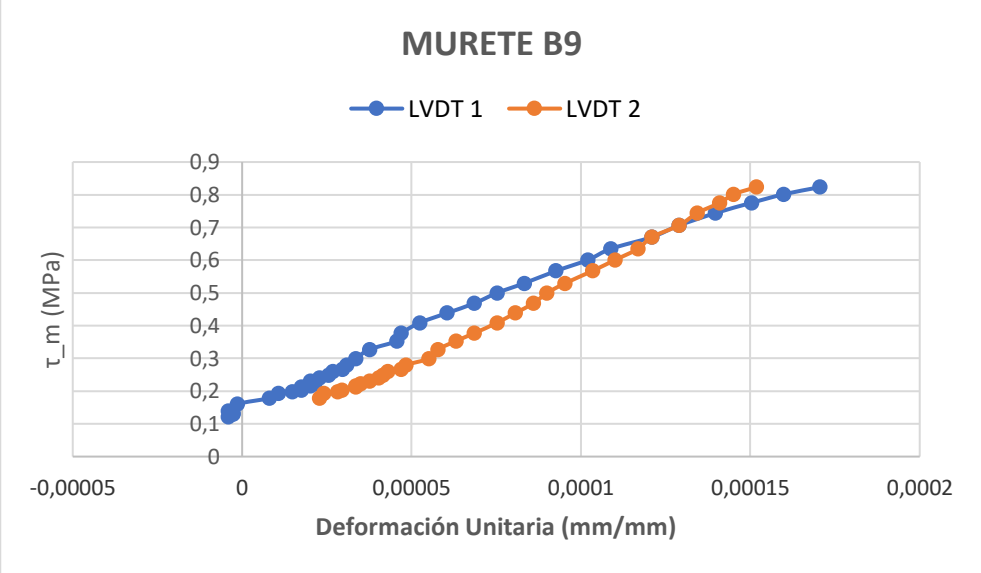
B6
B6

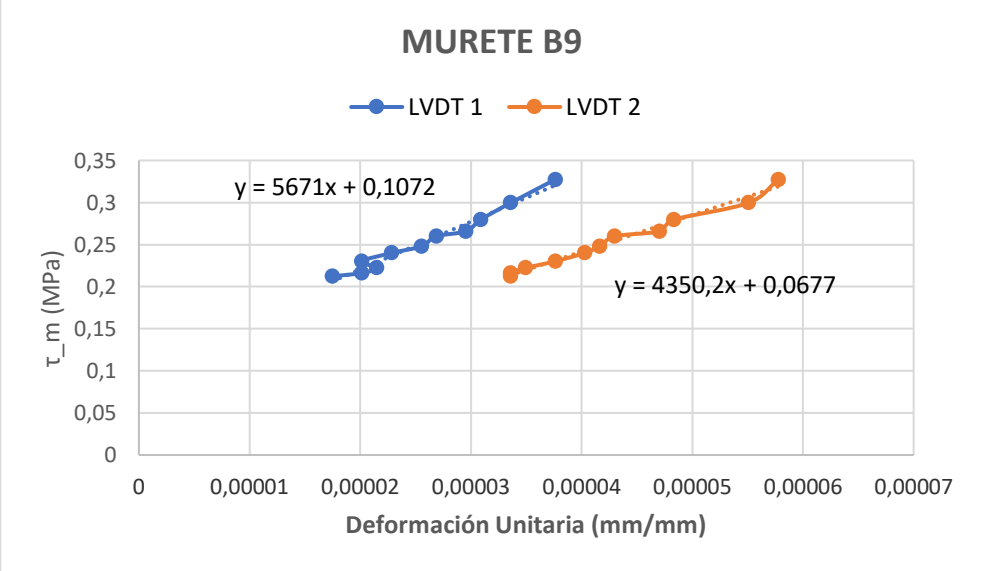

MURETE B7
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)

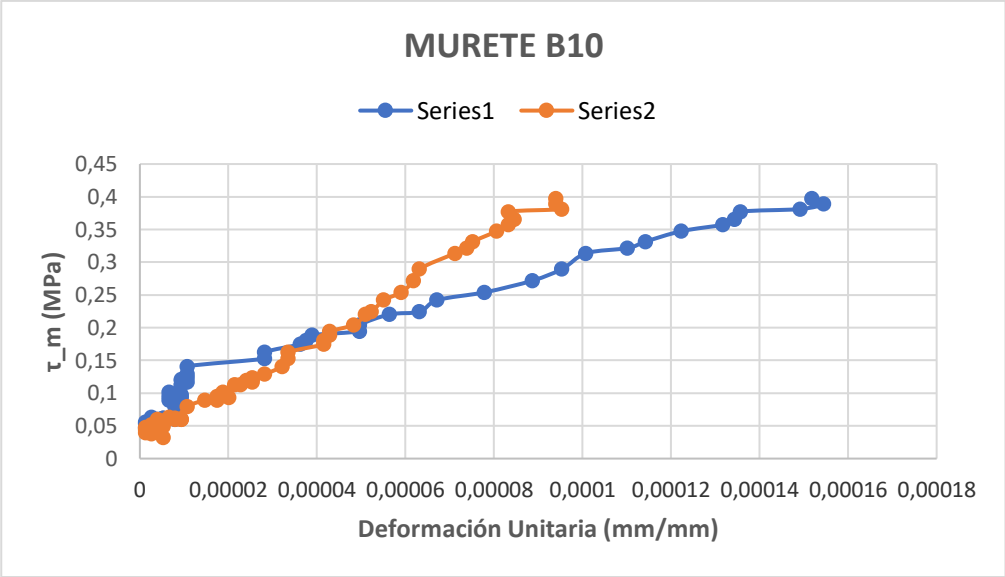

MURETE B7
Series1
Series2
τ_m (MPa)
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
y = 9168,6x + 0,3261
y = 3302,2x + 0,092
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
Deformación Unitaria (mm/mm)

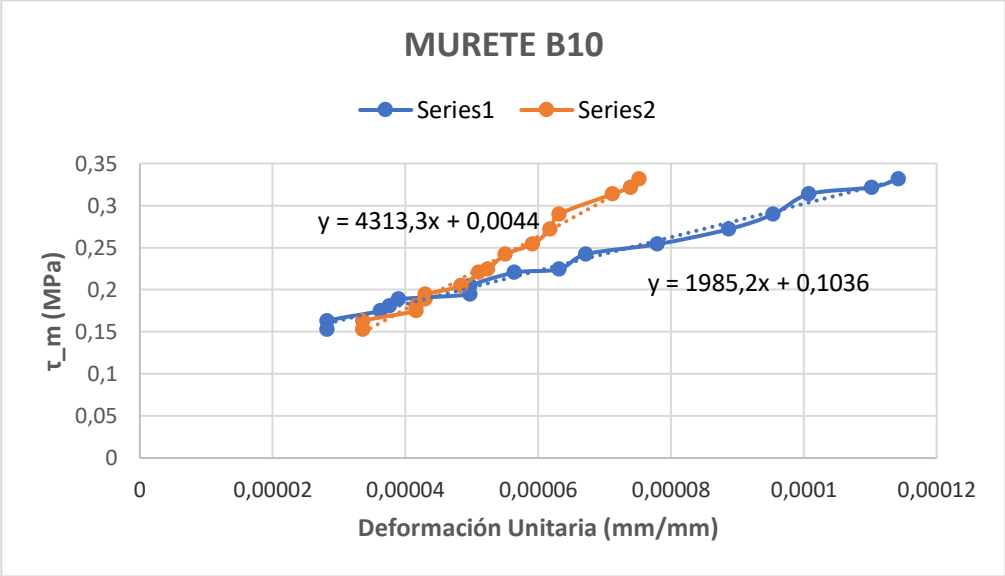

MURETE B8
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
0,00016
Deformación Unitaria (mm/mm)

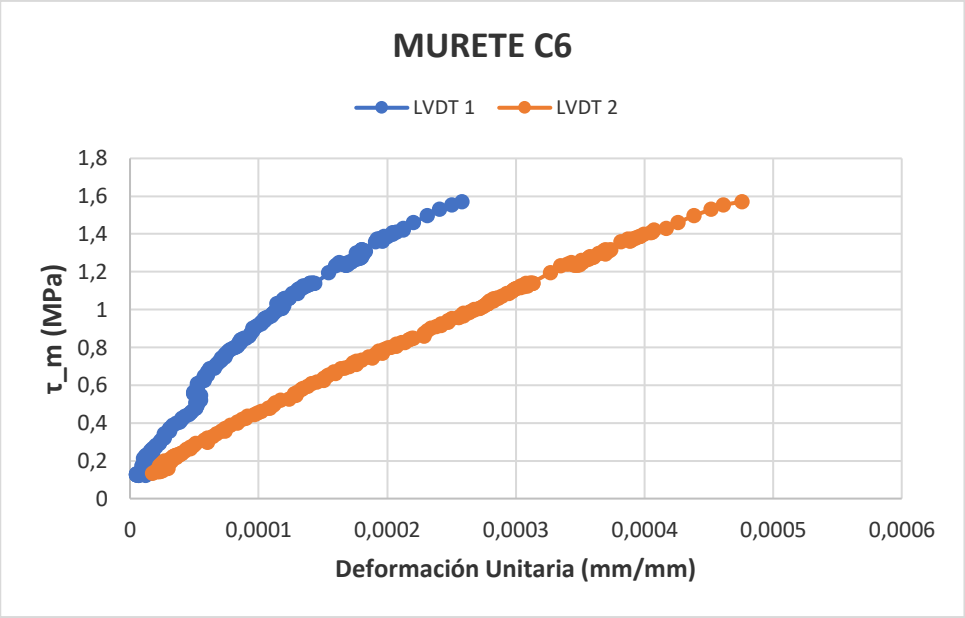

MURETE B8
LVDT 1
LVDT 2
y = 3773,6x + 0,1798
y = 6032,8x - 0,0004
τ_m (MPa)
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
0,00001
0,00002
0,00003
0,00004
0,00005
0,00006
Deformación Unitaria (mm/mm)

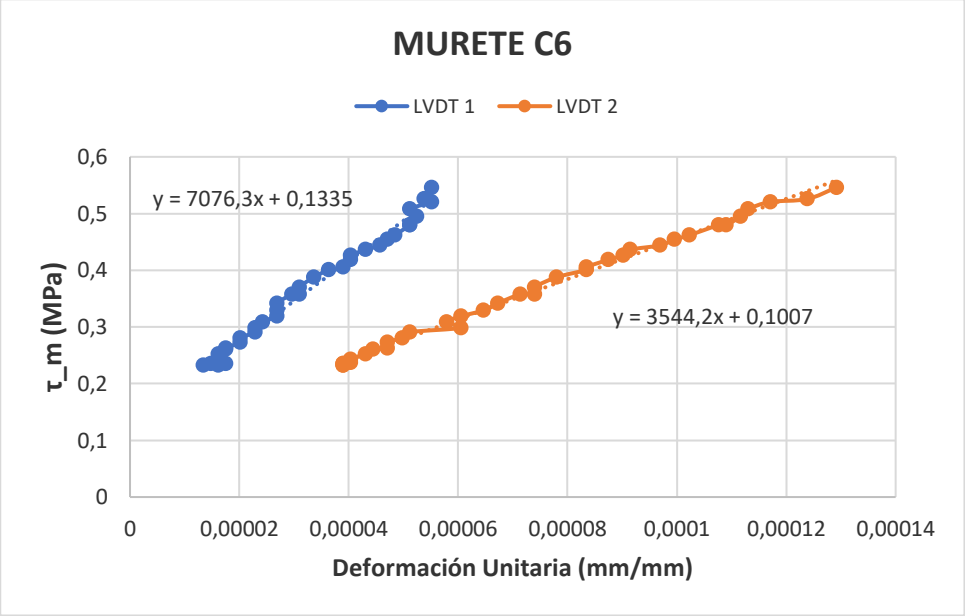

MURETE B9
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
-0,00005
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
Deformación Unitaria (mm/mm)

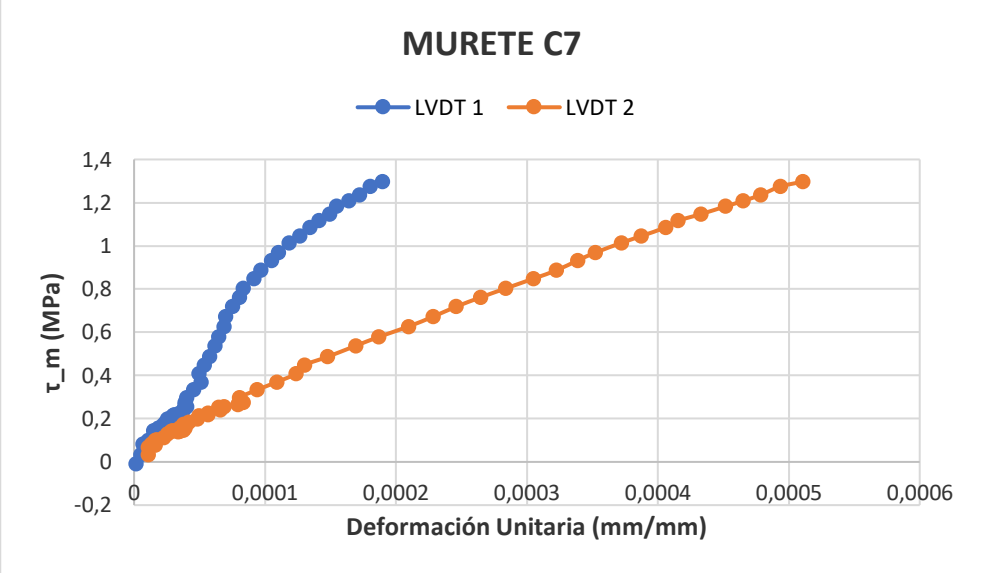

MURETE B9
LVDT 1
LVDT 2
y = 5671x + 0,1072
y = 4350,2x + 0,0677
τ_m (MPa)
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
0,00001
0,00002
0,00003
0,00004
0,00005
0,00006
0,00007
Deformación Unitaria (mm/mm)

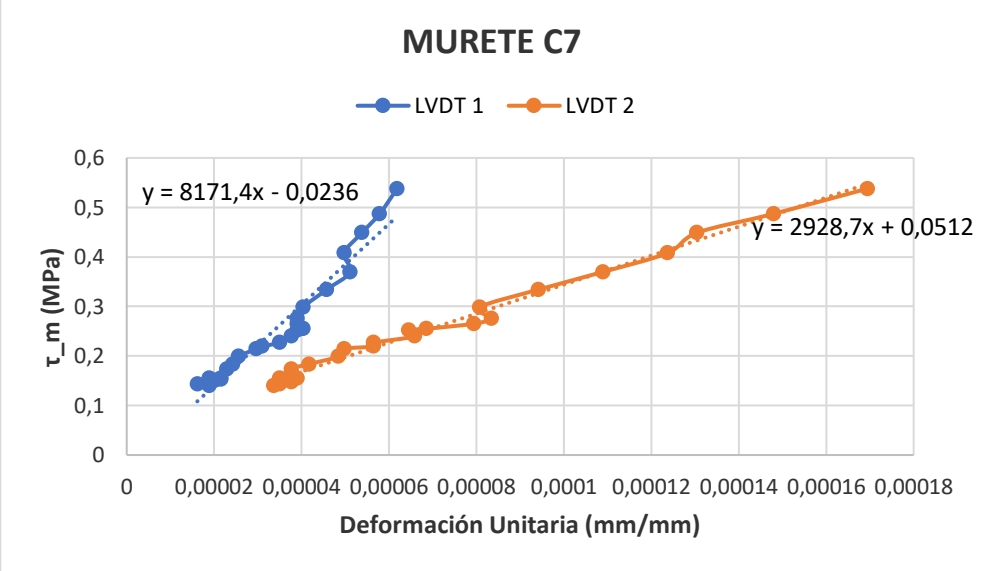

MURETE B10
Series1
Series2
τ_m (MPa)
0,45
0,4
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
0,00016
0,00018
Deformación Unitaria (mm/mm)

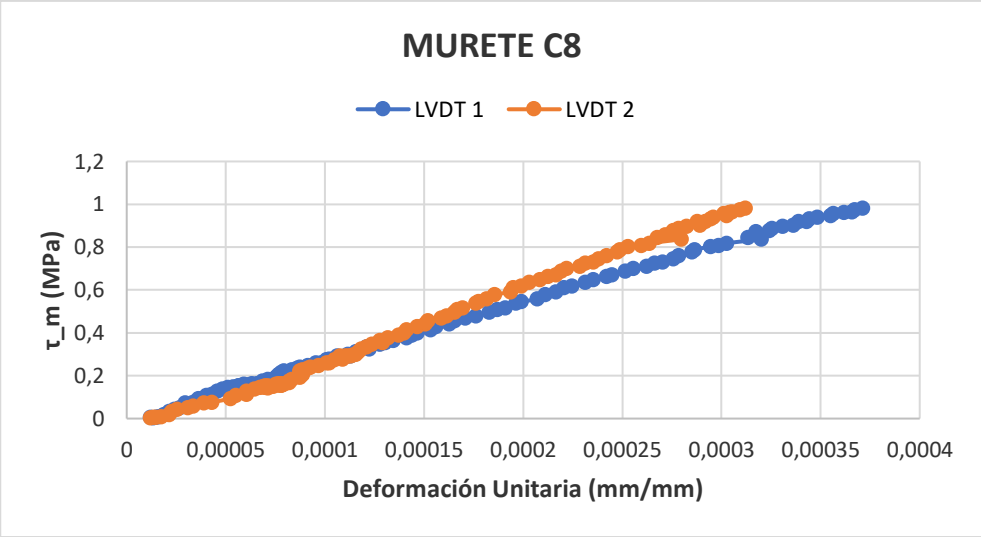

MURETE B10
Series1
Series2
y = 4313,3x + 0,0044
y = 1985,2x + 0,1036
τ_m (MPa)
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
Deformación Unitaria (mm/mm)

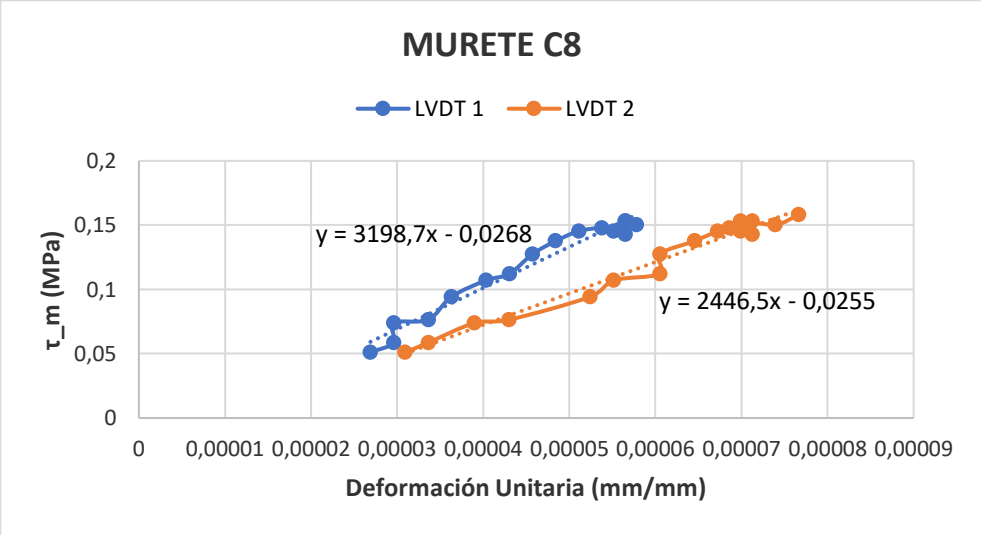

MURETE C6
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
1,8
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)

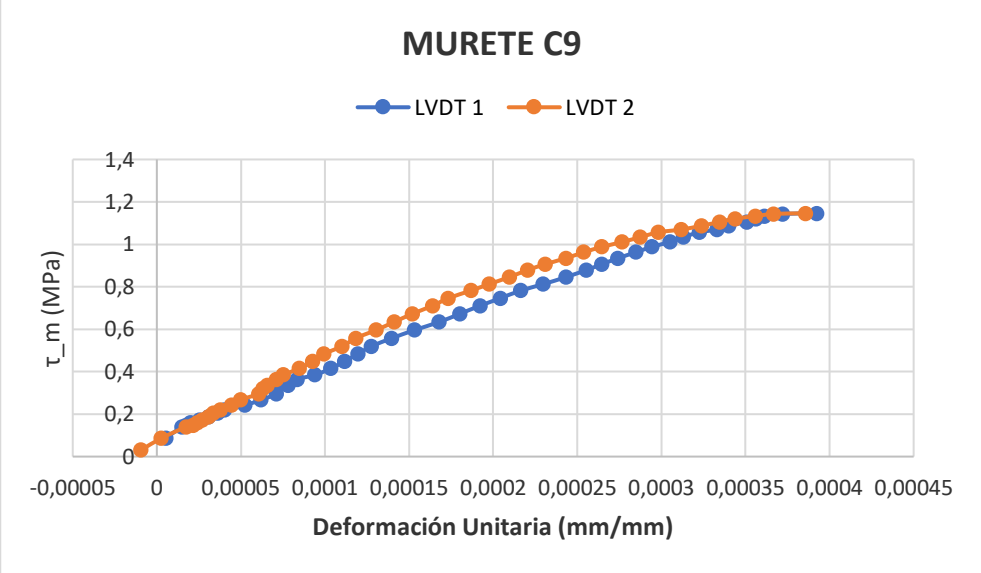

MURETE C6
LVDT 1
LVDT 2
y = 7076,3x + 0,1335
y = 3544,2x + 0,1007
τ_m (MPa)
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
Deformación Unitaria (mm/mm)

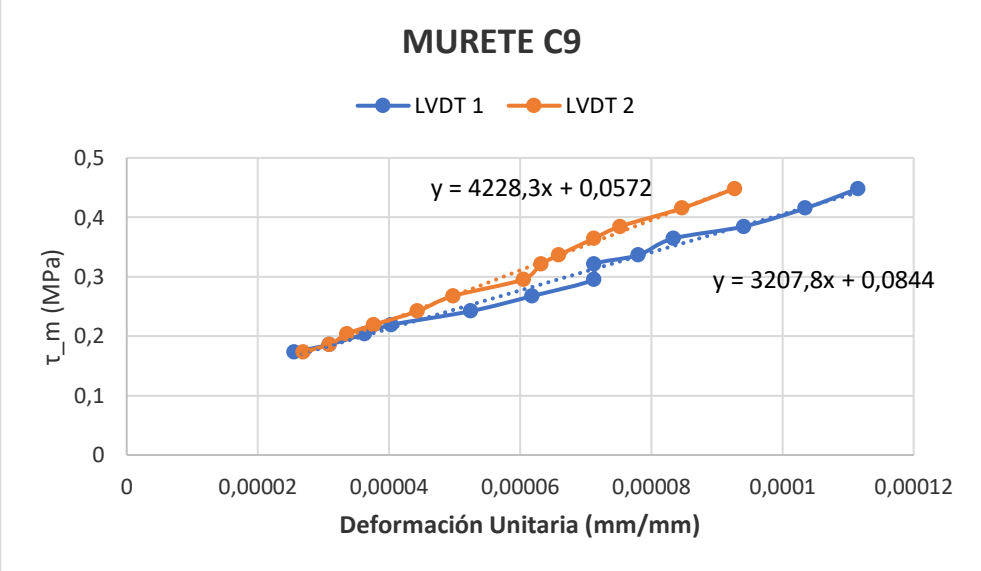

MURETE C7
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
-0,2
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)

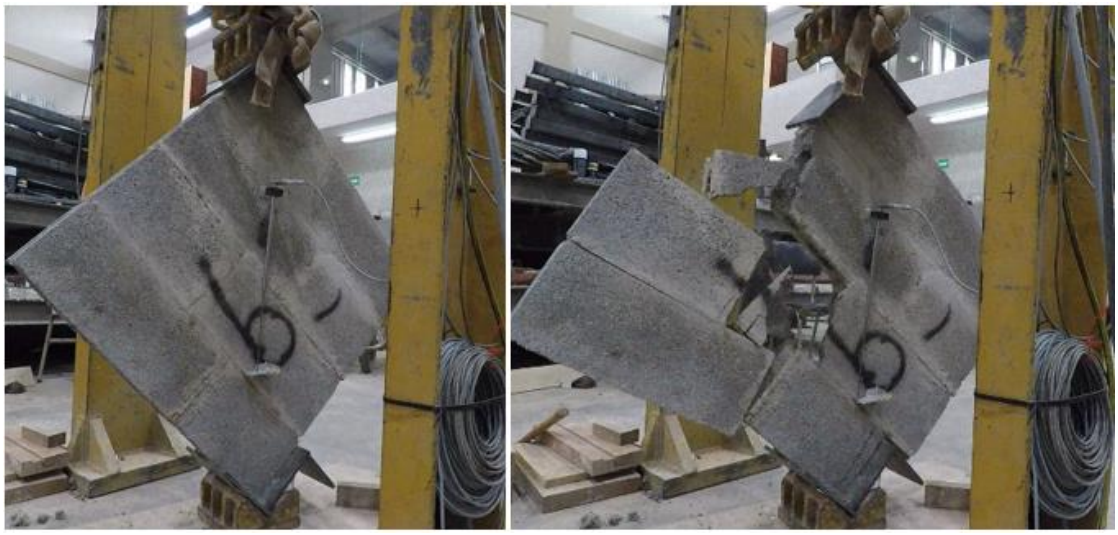

MURETE C7
LVDT 1
LVDT 2
y = 8171,4x - 0,0236
y = 2928,7x + 0,0512
τ_m (MPa)
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
0,00016
0,00018
Deformación Unitaria (mm/mm)

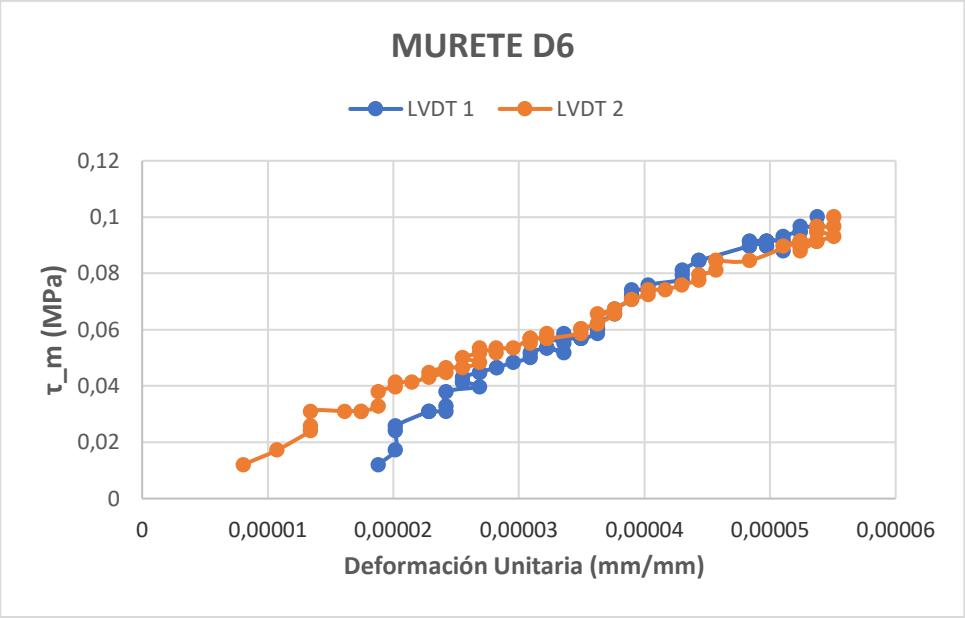

MURETE C8
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
0,00035
0,0004
Deformación Unitaria (mm/mm)

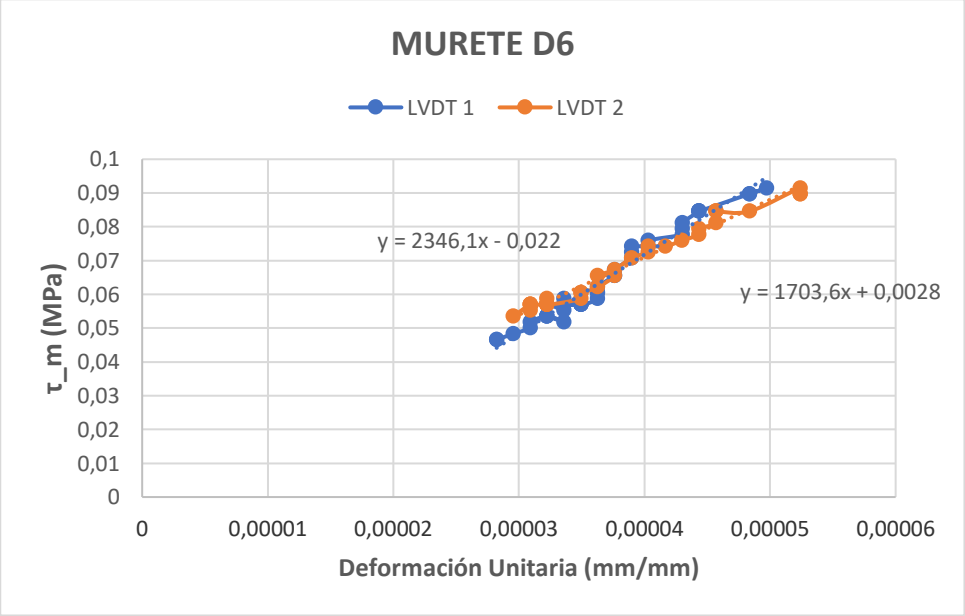

MURETE C8
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,2
0,15
0,1
0,05
0
y = 3198,7x - 0,0268
y = 2446,5x - 0,0255
0
0,00001
0,00002
0,00003
0,00004
0,00005
0,00006
0,00007
0,00008
0,00009
Deformación Unitaria (mm/mm)

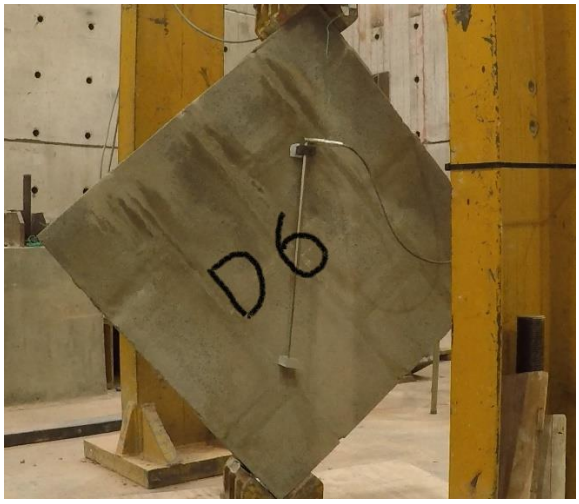

MURETE C9
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
-0,00005
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
0,00035
0,0004
0,00045
Deformación Unitaria (mm/mm)

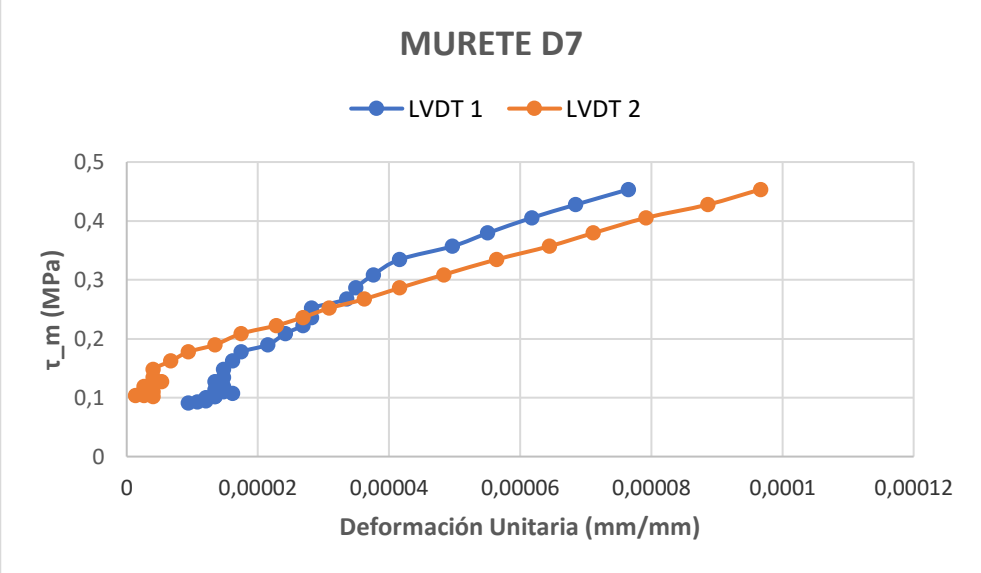

MURETE C9
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
y = 4228,3x + 0,0572
y = 3207,8x + 0,0844
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
Deformación Unitaria (mm/mm)

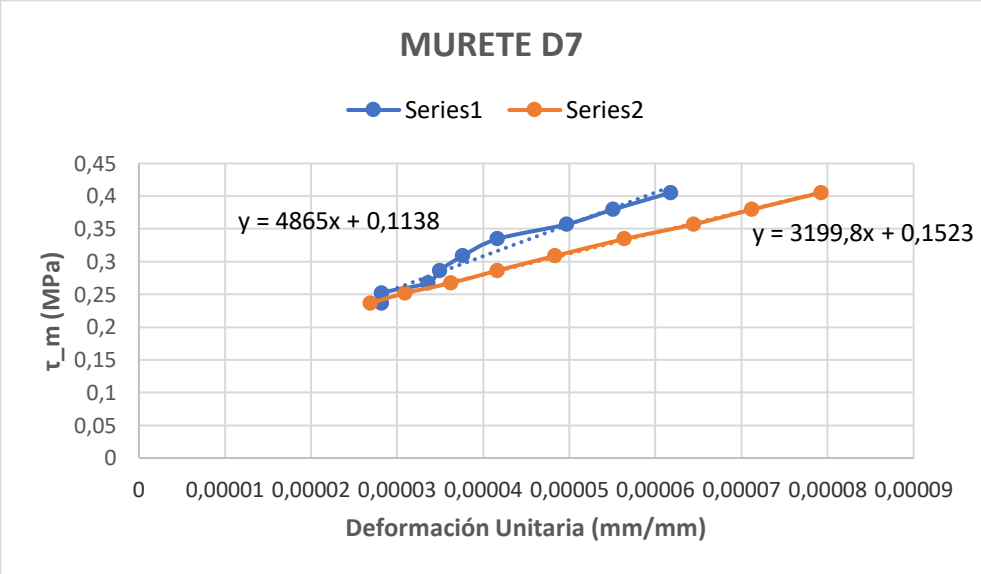


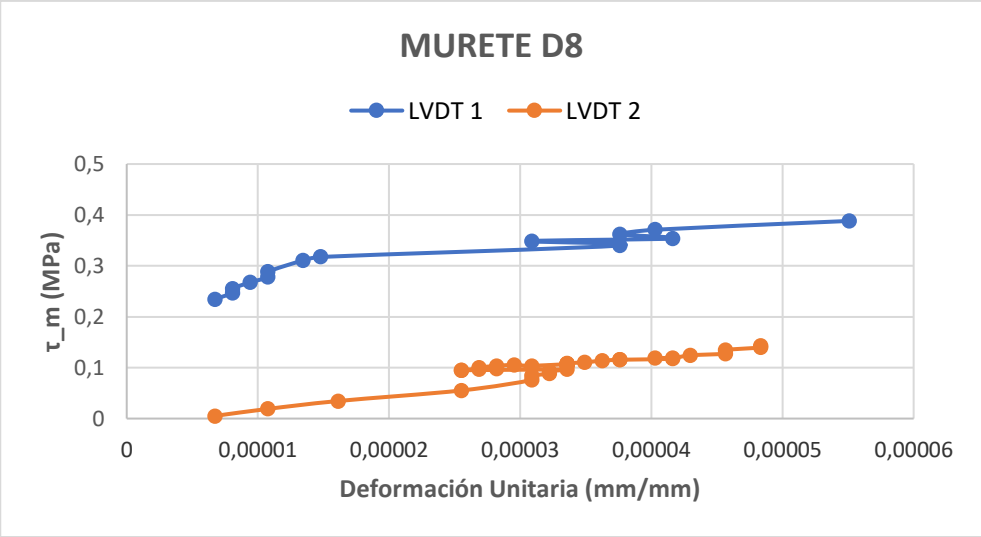

MURETE D6
LVDT 1
LVDT 2
0,12
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0
τ_m (MPa)
0
0,00001
0,00002
0,00003
0,00004
0,00005
0,00006
Deformación Unitaria (mm/mm)

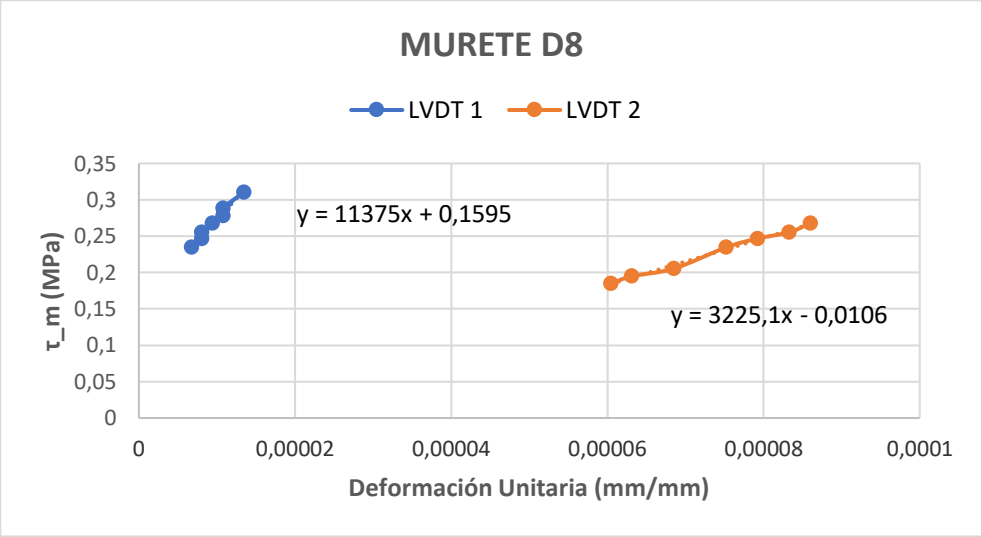

MURETE D6
LVDT 1
LVDT 2
0,1
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
τ_m (MPa)
y = 2346,1x - 0,022
y = 1703,6x + 0,0028
0
0,00001
0,00002
0,00003
0,00004
0,00005
0,00006
Deformación Unitaria (mm/mm)

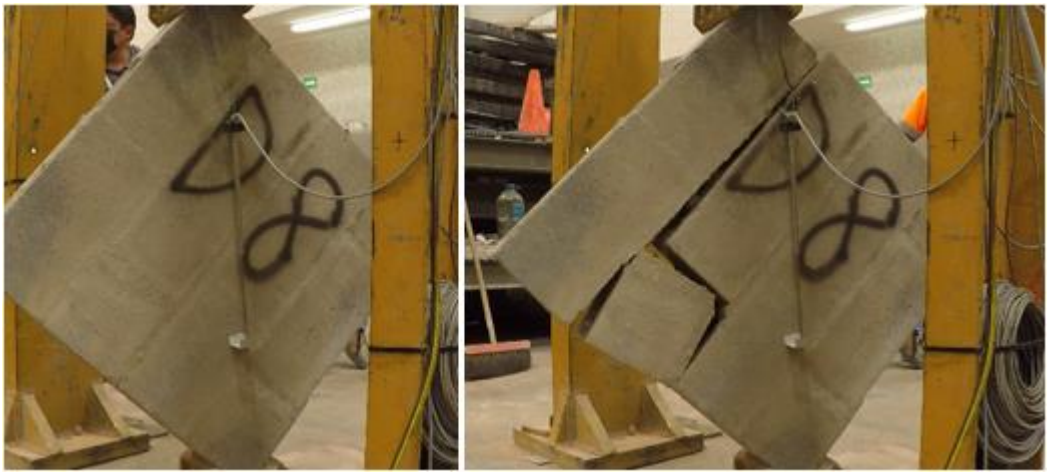

D6

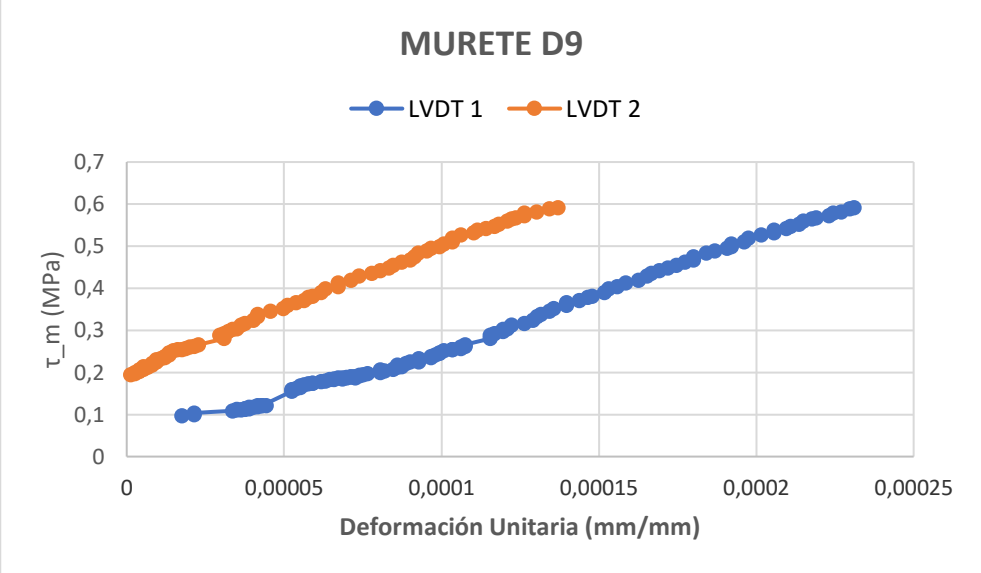

MURETE D7
LVDT 1
LVDT 2
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
τ_m (MPa)
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
Deformación Unitaria (mm/mm)

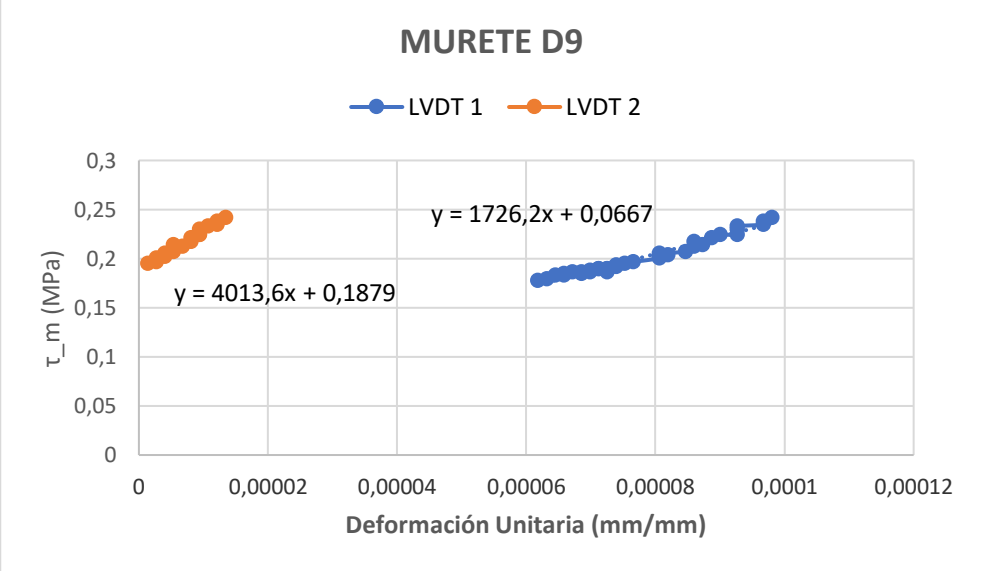

MURETE D7
Series1
Series2
y = 4865x + 0,1138
y = 3199,8x + 0,1523
0,45
0,4
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
τ_m (MPa)
0
0,00001
0,00002
0,00003
0,00004
0,00005
0,00006
0,00007
0,00008
0,00009
Deformación Unitaria (mm/mm)

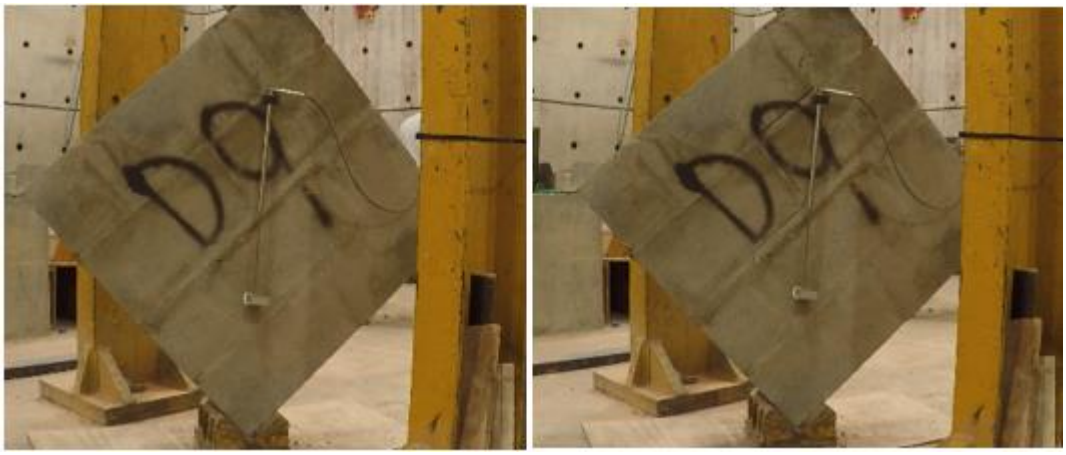

MURETE D8
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,00001
0,00002
0,00003
0,00004
0,00005
0,00006
Deformación Unitaria (mm/mm)

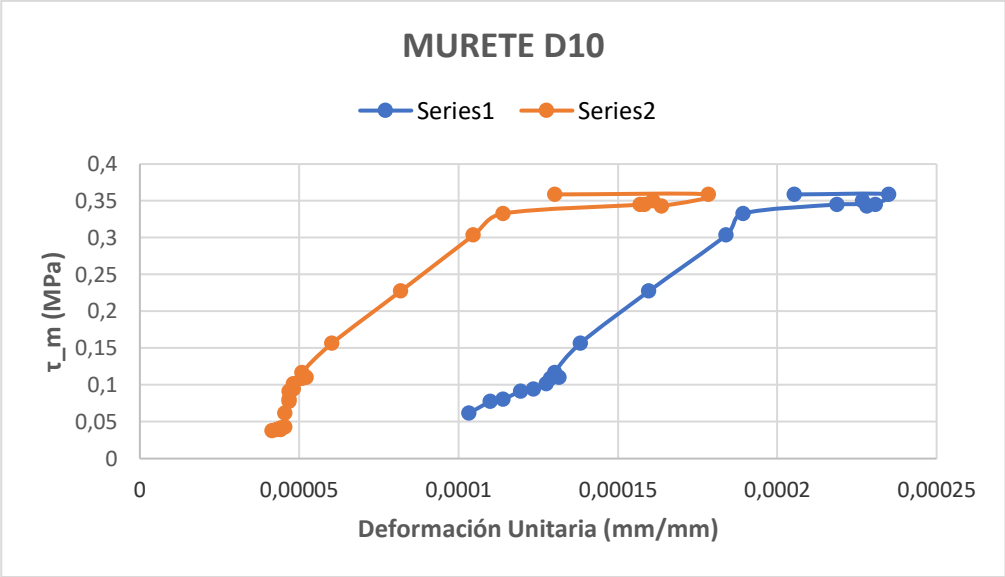

MURETE D8
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
y = 11375x + 0,1595
y = 3225,1x - 0,0106
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
Deformación Unitaria (mm/mm)

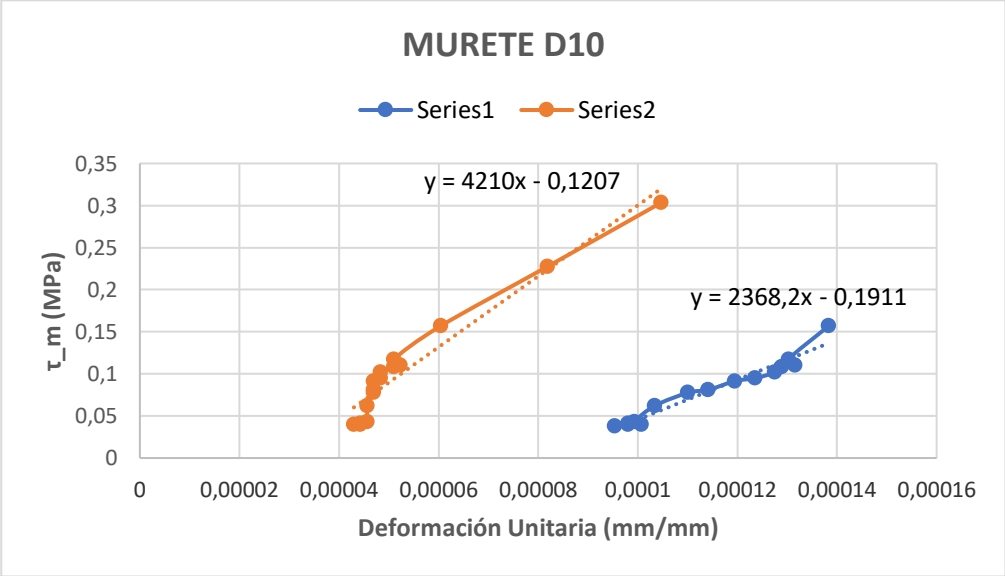


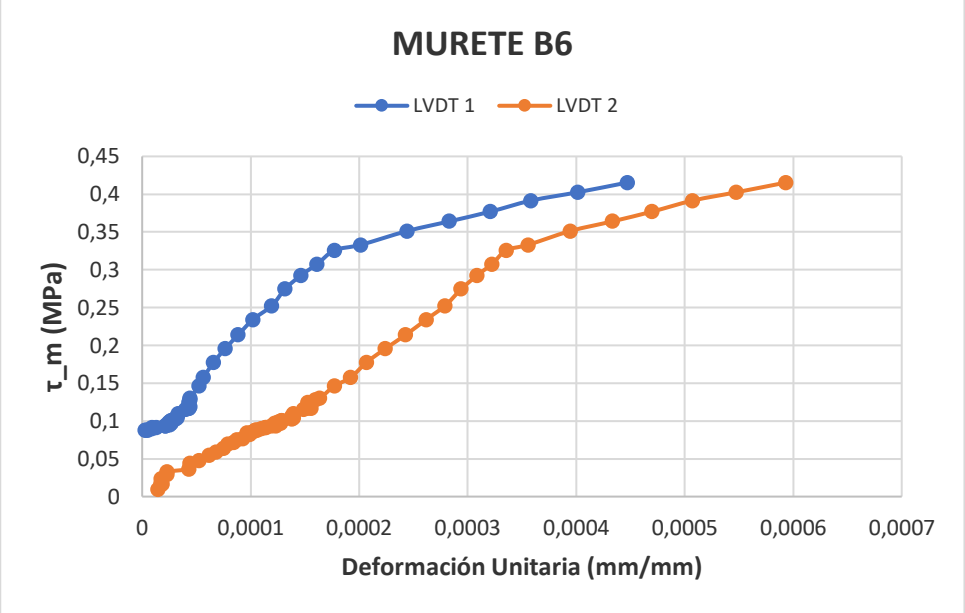

MURETE D9
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
Deformación Unitaria (mm/mm)

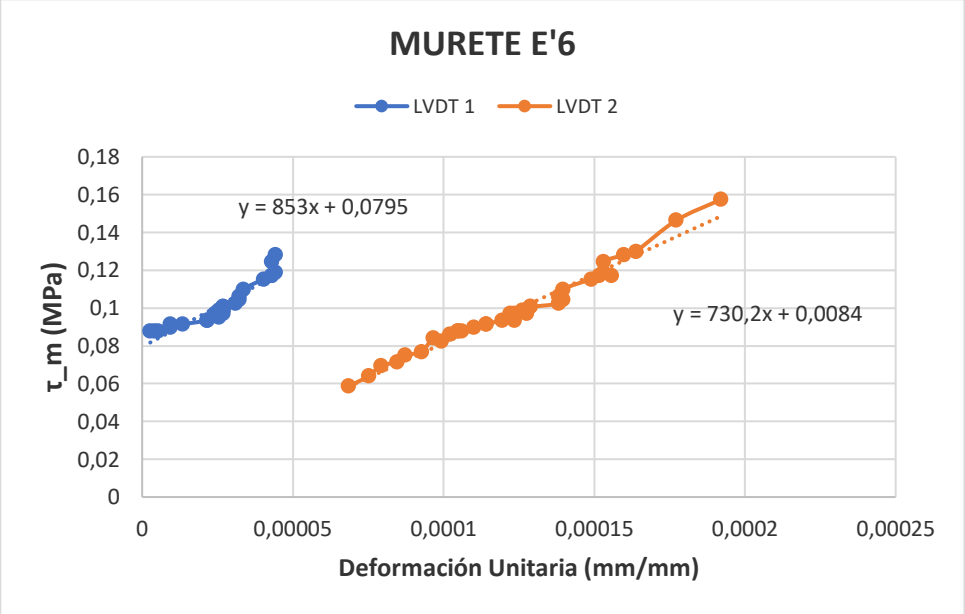

MURETE D9
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
y = 1726,2x + 0,0667
y = 4013,6x + 0,1879
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
Deformación Unitaria (mm/mm)

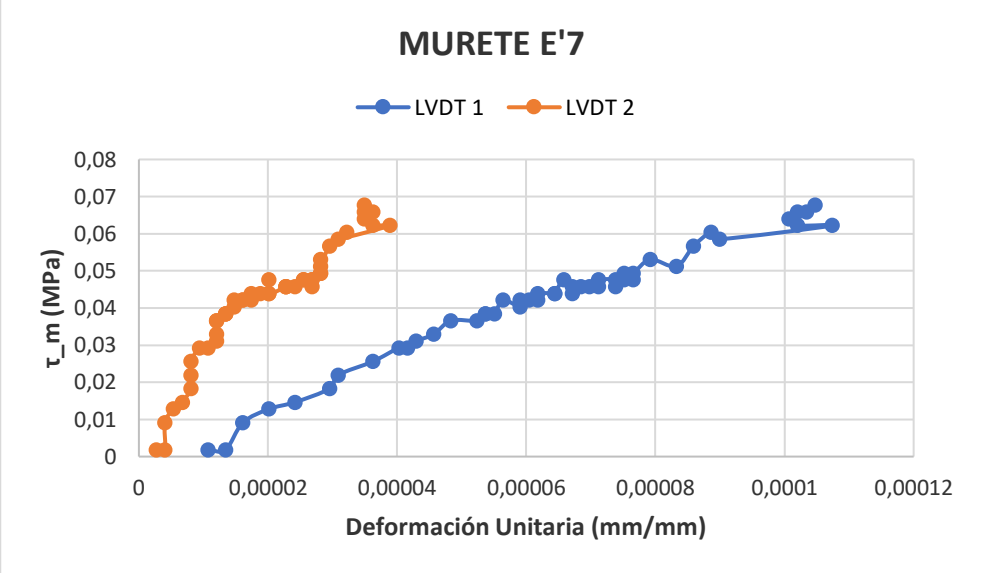


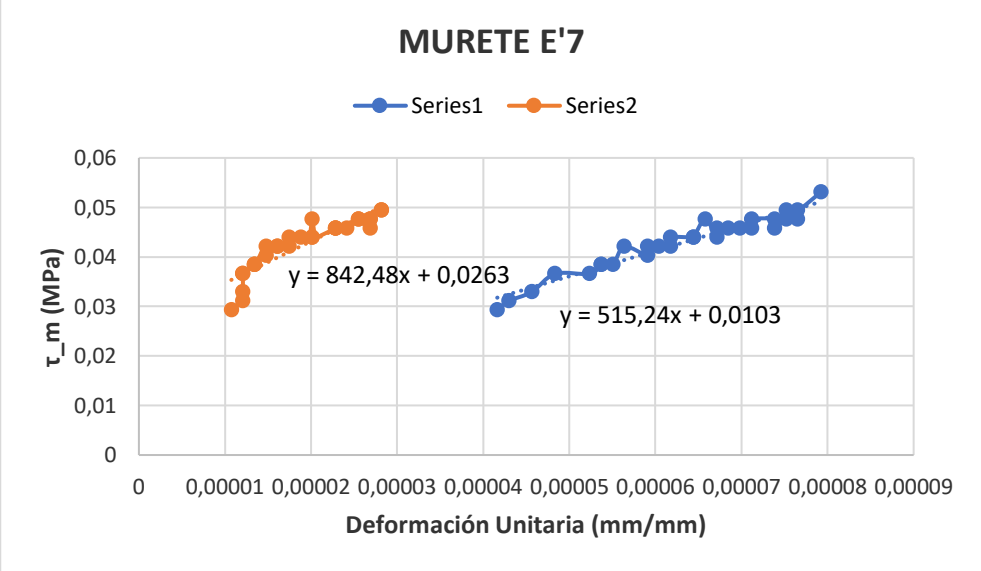

MURETE D10
Series1
Series2
0,4
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
τ_m (MPa)
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
Deformación Unitaria (mm/mm)

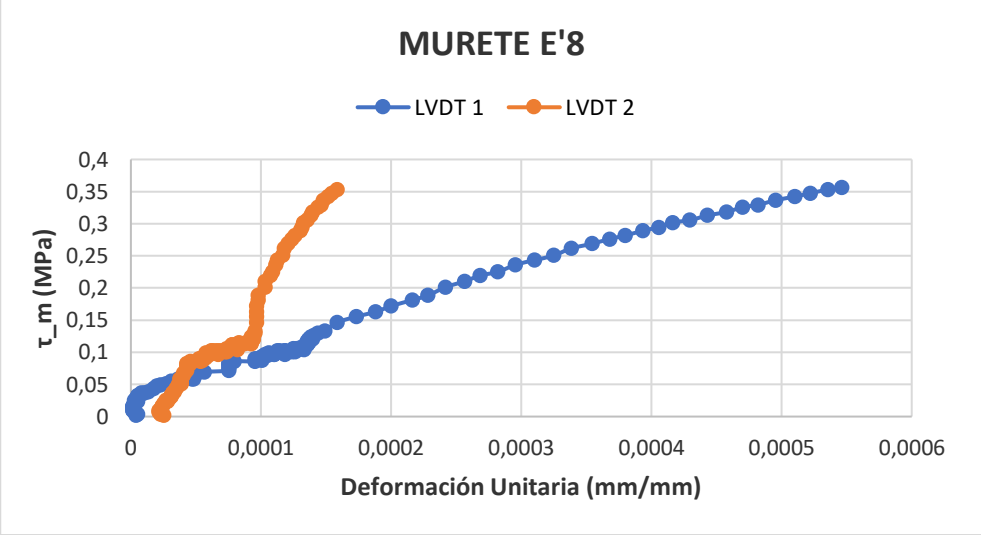

MURETE D10
Series1
Series2
y = 4210x - 0,1207
y = 2368,2x - 0,1911
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
τ_m (MPa)
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
0,00016
Deformación Unitaria (mm/mm)

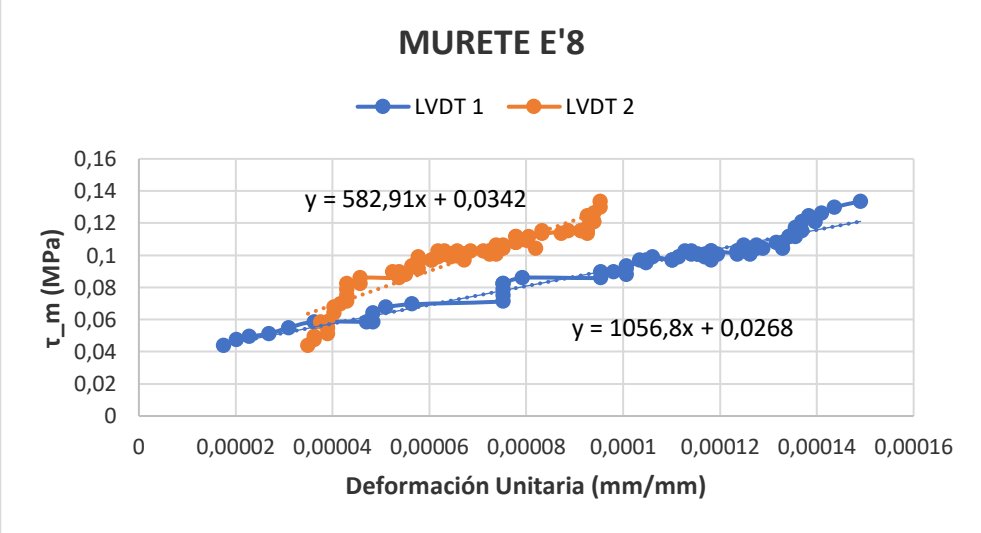

MURETE B6
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,45
0,4
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
Deformación Unitaria (mm/mm)

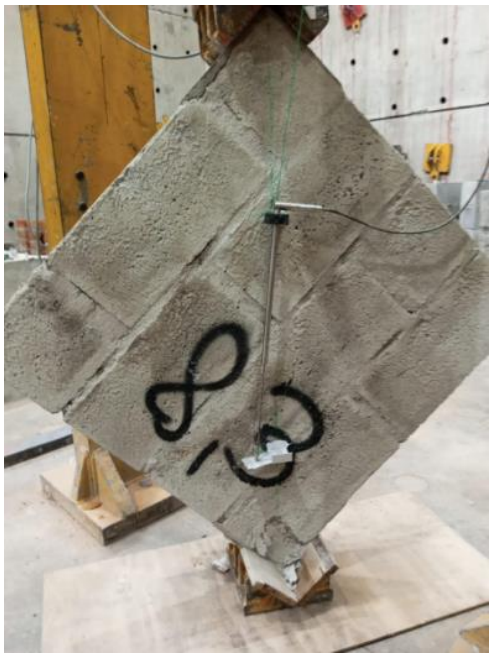

MURETE E'6
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,18
0,16
0,14
0,12
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0
y = 853x + 0,0795
y = 730,2x + 0,0084
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
Deformación Unitaria (mm/mm)

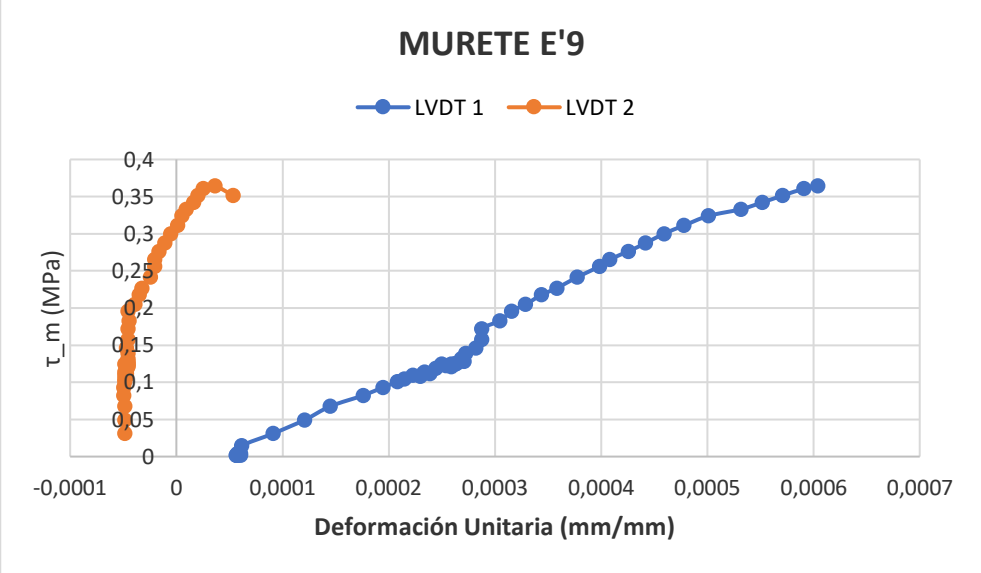

MURETE E'7
LVDT 1
LVDT 2
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
τ_m (MPa)
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
Deformación Unitaria (mm/mm)

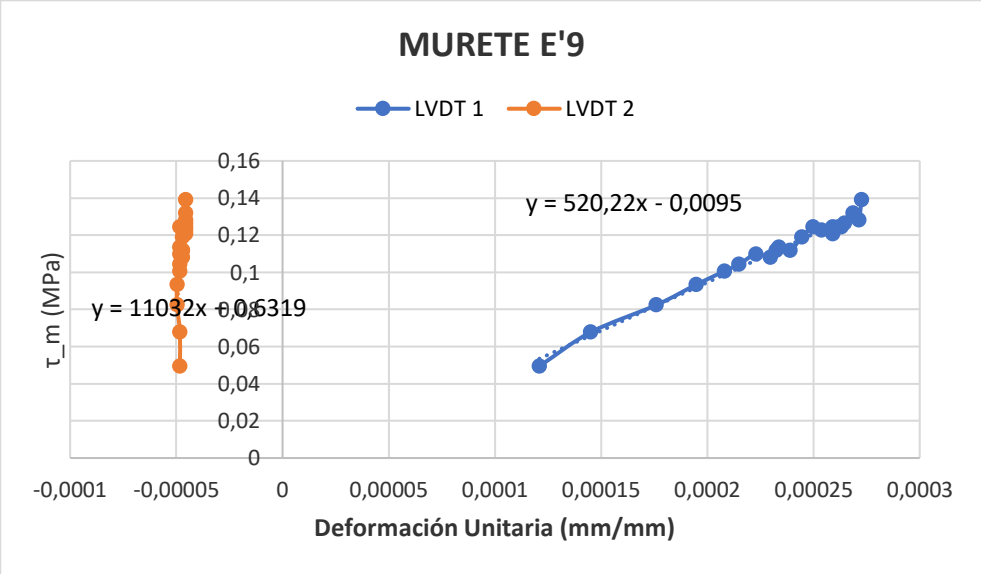

MURETE E'7
Series1
Series2
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
τ_m (MPa)
y = 842,48x + 0,0263
y = 515,24x + 0,0103
0
0,00001
0,00002
0,00003
0,00004
0,00005
0,00006
0,00007
0,00008
0,00009
Deformación Unitaria (mm/mm)

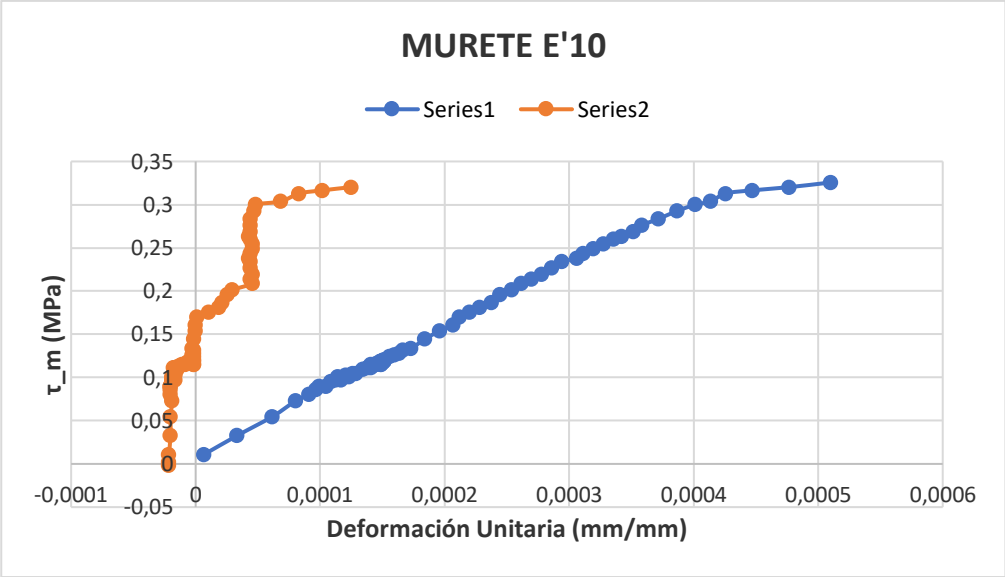

MURETE E'8
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,4
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)

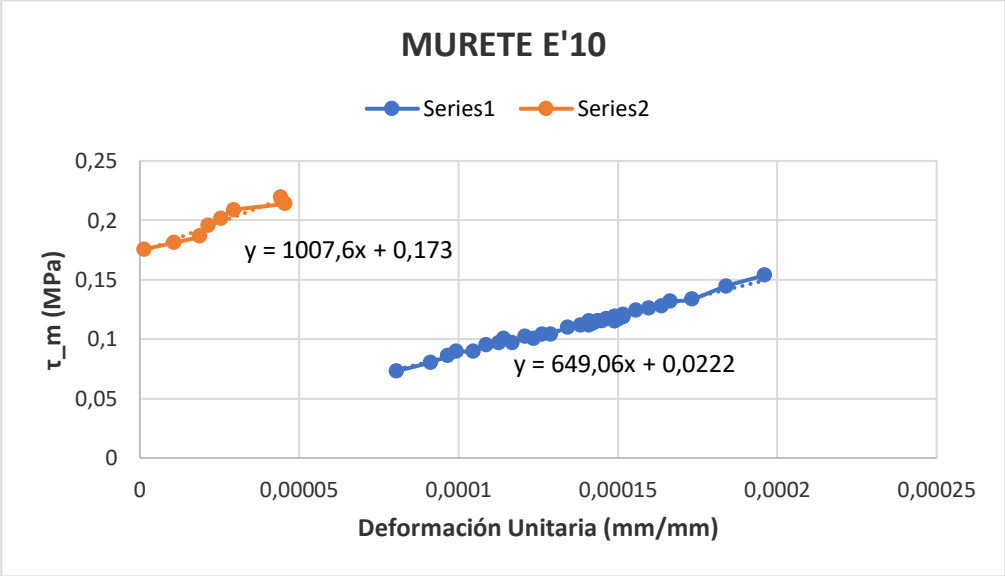

MURETE E'8
LVDT 1
LVDT 2
y = 582,91x + 0,0342
y = 1056,8x + 0,0268
τ_m (MPa)
0,16
0,14
0,12
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0
0
0,00002
0,00004
0,00006
0,00008
0,0001
0,00012
0,00014
0,00016
Deformación Unitaria (mm/mm)




MURETE E'9
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
0,4
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
-0,0001
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
0,0007
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE E'9
LVDT 1
LVDT 2
τ_m (MPa)
y = 520,22x - 0,0095
y = 11032x + 0,6319
0,16
0,14
0,12
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0
-0,0001
-0,00005
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
0,0003
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE E'10
Series1
Series2
τ_m (MPa)
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
-0,05
-0,0001
0
0,0001
0,0002
0,0003
0,0004
0,0005
0,0006
Deformación Unitaria (mm/mm)


MURETE E'10
Series1
Series2
τ_m (MPa)
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
y = 1007,6x + 0,173
y = 649,06x + 0,0222
0
0,00005
0,0001
0,00015
0,0002
0,00025
Deformación Unitaria (mm/mm)